

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П. О. СУХОГО»
ПАО «ОАК» ОКБ СУХОГО
ТАИЗСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (ЙЕМЕНСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Сборник научных трудов

**В двух частях
Часть 2**

**Гомель
ГГТУ им. П. О. Сухого
2023**

УДК 621.01(063)

ББК 34.4

C56

Рецензенты: доктор технических наук, профессор *М. И. Михайлов* (ГГТУ им. П. О. Сухого), доктор технических наук, доцент *А. А. Бойко* (ГГТУ им. П. О. Сухого), доктор технических наук, доцент *И. А. Мурашко* (ГГТУ им. П. О. Сухого), доктор технических наук, профессор *В. П. Кудин* (ГГТУ им. П. О. Сухого), доктор технических наук, профессор *Н. В. Грунтович* (ГГТУ им. П. О. Сухого), доктор технических наук, доцент *А. В. Овсянник* (ГГТУ им. П. О. Сухого), доктор геолого-минералогических наук, профессор *В. Д. Порошин* (ГГТУ им. П. О. Сухого), доктор физико-математических наук, профессор *О. Н. Шабловский* (ГГТУ им. П. О. Сухого)

Редакционная коллегия:

канд. физ.-мат. наук, доц. *А. А. Бабич*

канд. техн. наук, доц. *И. И. Суторьма*

канд. техн. наук, доц. *В. В. Тодарев*

канд. техн. наук, доц. *Г. В. Петришин*

канд. техн. наук, доц. *Ж. В. Кадолич*

канд. техн. наук, доц. *Н. А. Демяненко*

канд. экон. наук, доц. *Н. В. Сычёва*

канд. экон. наук, доц. *И. В. Ермონина*

Под общей редакцией д-ра техн. наук, доц. *А. А. Бойко*

Современные проблемы машиноведения : сб. науч. тр. В 2 ч. Ч. 2 /
С56 М-во образования Респ. Беларусь [и др.] ; под общ. ред. А. А. Бойко. –
Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – 349 с.

ISBN 978-985-535-542-8.

Представлены новейшие результаты научных исследований в области аддитивных технологий; наноматериалов в машиностроении; компьютерного моделирования технических, механических и биомеханических систем; мехатроники; энергосберегающих технологий и альтернативной энергетики; разработки нефтяных и газовых месторождений; физических и математических методов исследования сложных систем; проблем экономики, организации и управления производством.

Для научных и инженерно-технических работников промышленных предприятий и научно-исследовательских учреждений.

УДК 621.01(063)

ББК 34.4

ISBN 978-985-535-542-8 (ч. 2)

ISBN 978-985-535-541-1

© Оформление. Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ V. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ
И АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

<i>Кирдищев Д. В.</i> Проблемные вопросы вибродиагностирования топливной аппаратуры дизельных двигателей во время работы	9
<i>Грунтович Н. В., Петров И. В., Жобборов Т. К.</i> Оценка риска при техническом диагностировании электродвигателей	12
<i>Грунтович Н. В., Петров И. В., Жобборов Т. К., Турсунов Д. А.</i> Повышение надежности и точности технического диагностирования асинхронных двигателей	15
<i>Грунтович Н. В., Жук Е. А., Жобборов Т. К., Исмоилов И. К.</i> Повышение надежности и точности технического диагностирования силовых маслонаполненных трансформаторов	18
<i>Узбеков М. О., Насретдинова Ф. Н., Умурзакова Г. Р., Абуллаев А. А.</i> Оценка энергоэффективности многономенклатурного производства в условиях внедрения мероприятий по энергосбережению	21
<i>Узбеков М. О., Насретдинова Ф. Н., Абуллаев А. А.</i> Оценка энергетической эффективности цементного производства	24
<i>Isozoda D. T., Makhsumov I. B.</i> Creating a Map of the Solar Energy Potential of the Republic of Tajikistan	27
<i>Зализный Д. И., Кроль Д. Г., Рудченко Ю. А., Сучков Д. В.</i> Исследование характеристик электрического поля в силовых кабелях и соединительных муфтах для погружных нефтедобывающих систем	31
<i>Коршунов К. Е., Капанский А. А.</i> Аналитическая система «Статистика» как инструмент организации учета энергопотребления на предприятиях со сложно разветвленной структурой	35
<i>Малашенко М. П., Жуковец С. Г., Панасик В. А., Гончаренко Ю. В.</i> Исследование структуры суточного потребления газа по балансовой подгруппе Министерства промышленности Региональной системы газоснабжения	38
<i>Малашенко М. П., Алфёрова Т. В., Жуковец С. Г., Панасик В. А.</i> Анализ технологических показателей газового печного оборудования	41
<i>Малашенко М. П.</i> Интеграция БелАЭС в Объединенную энергосистему и потребление природного газа предприятиями Министерства промышленности на технологические цели	44
<i>Грунтович Н. В., Мороз Д. Р.</i> Исследования суточных режимов потребления газа укрупненной балансовой группы «Промышленность» Региональной системы газоснабжения	48
<i>Савкова Т. Н., Селиверстов Г. И., Колесник Ю. Н., Рудченко Г. А.</i> Оценка погрешности метода определения рассеиваемой мощности светодиодов с помощью калориметра	52
<i>Погуляев М. Н., Рябков М. В.</i> Улучшение гармонического состава выходного тока устройства нагружения резервных электрогенераторов	55
<i>Погуляев М. Н., Дорощенко И. В.</i> Анализ работы устройства нагружения резервных электрогенераторов на статических преобразователях	58

<i>Павлов В. В., Капанский А. А.</i> Исследование степени влияния статического напора сети на изменение активной мощности потребления насоса.....	61
<i>Бикмулин А. В., Кикоть Н. Е., Проскурин В. М., Андреев Ю. В.</i> Измерение тепловыделения при горении дизельного топлива методом градиентной теплотрии.....	64
<i>Кикоть Н. Е., Бикмулин А. В.</i> Измерение плотности теплового потока методом градиентной теплотрии при кипении на поверхностях различной формы.....	67
<i>Маслов В. А., Селезнёва М. Д.</i> Экспериментальное исследование теплообмена в тандеме круговых цилиндров.....	70
<i>Романюк В. Н., Бобич А. А.</i> Оценка термодинамической эффективности энергосистемы Беларуси	73
<i>Янчук В. В., Романюк В. Н.</i> Повышение эффективности ТЭЦ за счет регенеративного использования сбросных потоков теплоты на примере цикла ПТ-60	76
<i>Овсянник А. В., Ключинский В. П., Овсянник Н. В.</i> Техничко-экономический анализ полигенерационных турбоустановок на оксиде углерода.....	78
<i>Бобич А. А.</i> Оценка термодинамической эффективности ТЭЦ.....	82
<i>Шакин В. М., Добродей А. О.</i> Моделирование перенапряжений в распределительных электрических сетях	85
<i>Каминский М. В., Добродей А. О.</i> Моделирование перенапряжений.....	89
<i>Шаповалов А. В., Кидун Н. М., Никулина Т. Н., Чернявская В. В.</i> Анализ исследований максимальных тепловых потоков в термосифонах с циркуляцией промежуточного теплоносителя	92

СЕКЦИЯ VI. ГЕОЛОГИЯ И РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

<i>Колодко В. А., Колодко А. С.</i> Исследование функции Бакли–Леверетта в программном пакете MathCAD.....	96
<i>Степанкин И. Н., Гутман Р. Е., Жуковский А. М., Кравченко А. Ю., Ходьков Е. Н., Василенко А. А.</i> К вопросу оценки сжимаемости низкопористых известняков.....	99
<i>Минаков А. В., Карсеко К. С.</i> Анализ и пути решения проблематики, связанной с выпадением конденсата в продуктивных пластах газоконденсатных залежей.....	103
<i>Златина В. Ю., Атвиновская Т. В.</i> Анализ эффективности применения современных буровых растворов для повышения качества бурения надсолевого комплекса в структурной зоне Припятского прогиба	108
<i>Невзорова А. Б.</i> Влияние изменений климата на состояние котлованов-отстойников буровых сточных вод.....	110
<i>Линевич Ю. В., Матвеев Д. С., Грибова Н. Н., Невзорова А. Б.</i> Моделирование процессов бурения на тренажере-иммитаторе с технологией виртуальной реальности	113
<i>Чекан А. О., Демяненко Н. А.</i> Результаты и перспективы применения химического заводнения в условиях Припятского прогиба	115
<i>Чекан А. О., Демяненко Н. А.</i> Обоснование объектов для многоэтапного нестационарного циклического заводнения пластов по геолого-физическим особенностям коллекторов.....	119

<i>Гутман Р. Е., Шиленкова В. Н.</i> Практическое применение геомеханики на примере отложений I–III пачки Речицкого месторождения	124
<i>Дивович А. Г.</i> Разработка экспериментальной модели для исследования реологических свойств жидкостей разрыва в условиях геометрии компоновок гидравлического разрыва пласта	128
<i>Майлат Я. А.</i> Новые подходы к созданию трещин гидравлического разрыва пласта в гидродинамических моделях	130
<i>Марковский А. П., Конюшенко А. С., Грабченков В. Н., Климов Т. А.</i> Опыт применения наземного микросейсмического мониторинга гидроразрыва пласта на месторождениях Припятского прогиба	134
<i>Дегтярёв Ф. В., Шенец Д. А.</i> Определение примесных компонентов в кварцевом песке для гидроразрыва пласта методом рентгеновской дифракции ...	138
<i>Попкова Ю. И., Петрикевич П. А.</i> К вопросу применения низколегированных насосно-компрессорных труб в условиях нагнетательных скважин РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»	142
<i>Кученёв В. О.</i> Анализ результатов испытаний коррозионной стойкости отдельных марок трубных сталей для эксплуатации трубопроводов системы нефтегазосбора НГДУ «Речицанефть»	146
<i>Горбаченко В. С.</i> Перспективы применения длинноходовых приводов штангового глубинного насоса	148
<i>Юдашкин В. В.</i> Создание 3D-модели местности методом аэрофотограмметрии совместно с наземным лазерным сканированием	152
<i>Абрамович О. К.</i> Роль космоструктурного картирования отдельных площадей в пределах активных на неотектоническом этапе глубинных разломов при проведении нефтепоисковых работ в Припятской и Оршанской впадинах	155
<i>Асвинов Р. В., Асвинова П. В.</i> Перспективы нефтегазоносности пород кристаллического фундамента Припятского прогиба	158
<i>Даниленко В. В.</i> Особенности фациальной изменчивости нефтеперспективных межсолевых отложений Южной структурной зоны Припятского прогиба	163
<i>Шарунов А. А., Рудько В. С., Козырева В. Л.</i> Особенности вскрытия в процессе проводки скважин подсолевого комплекса в сложных геологических условиях, обусловленных зоной стратиграфического несогласия (на примере Припятского НГБ)	166
<i>Чебурахин Ю. А.</i> Ошибки коммутации каналов в сейсморазведке. К чему приводят? Как исправить?	169
<i>Чаркина В. Н.</i> Опыт применения метода ядерно-магнитного каротажа в условиях Припятского прогиба	173
<i>Златина В. Ю., Санько В. Э., Шепелева И. С., Сошенко А. В.</i> Интерпретация данных электрического микросканера КарСар МС-В и кросс-дипольного акустического каротажа при контроле разработки Речицкого месторождения (на примере скважины № 601)	176
<i>Порошина А. Д., Постникова О. В.</i> Вторичные изменения карбонатных пород Непско-Ботубинской антеклизы и их влияние на коллекторские свойства продуктивных горизонтов	179
<i>Севастьянова С. А.</i> Исследование литологической неоднородности карбонатных природных резервуаров Тимано-Печорской провинции	182
<i>Цыганков А. О., Кудряшов А. А.</i> Совершенствование подходов в разработке коллекторов нетрадиционного типа в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»	185

<i>Набатов Н. И., Третьякова А. В.</i> Оценка совместимости минерализованных подземных вод с пластовыми рассолами Припятского прогиба	188
<i>Порошина С. Л., Асвиновская Т. В.</i> Оценка изменения концентраций йода и брома в попутных водах Березинского месторождения при их использовании в качестве гидроминерального сырья	192
<i>Порошин В. Д., Ракутько А. Г., Гримус С. И.</i> Оценка запасов и ресурсов промышленно-ценных компонентов в попутных водах нефтяных месторождений Беларуси	196
<i>Порошин В. Д., Порошина С. Л., Асвинова П. В.</i> Основные направления использования гидрохимических данных при анализе и контроле разработки нефтяных месторождений с засоленными коллекторами (на примере залежи III блока Березинского месторождения)	199
<i>Степанкин И. Н., Гутман Р. Е., Бочаров Н. В., Ткачев В. М.</i> Исследование влияния неоднородностей горной породы на ее механические свойства дюрOMETрическим методом	203
<i>Бочаров Н. В., Ткачев В. М., Степанкин И. Н., Гутман Р. Е.</i> Цифровая интерпретация геомеханической модели керна	206

СЕКЦИЯ VII. ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

<i>Шабловский О. Н., Кроль Д. Г., Концевой И. А.</i> Точечное возмущение линии роста дендрита в переохлажденном расплаве	210
<i>Serenkova I. A., Pankov A. A.</i> New Heavy Gauge Bosons Decaying to Pair of Electroweak Bosons at LHC and HL-LHC With Atlas	213
<i>Кроль Д. Г., Иноземцева Н. В.</i> Кинематические характеристики плоских шарнирных механизмов сложной структуры	217
<i>Тимошин Е. С., Тимошин С. И.</i> Спиновая структура нуклона в глубоконеупругом рассеянии (анти) нейтрино на поляризованных протонах и нейтронах	220
<i>Тимошин Е. С., Тимошин С. И.</i> Поляризация странных кварков в нейтринных экспериментах	223
<i>Ухарцева И. Ю., Кадолич Ж. В.</i> Электрофизический метод исследования коллоидных полимерных систем	227
<i>Симанович Н. М., Остриков О. М., Кульгейко М. П.</i> Особенности полей напряжений в области двойника серповидной формы, находящегося у поверхности твердого тела	230
<i>Лискович М. И.</i> Экспериментальное исследование условий, влияющих на образование прочного соединения покрытия и основы в процессе совместной вытяжки	233
<i>Serenkova I. A., Pankov A. A.</i> International Nuclear Data Centers Network and Prospects of ITS Use in Nuclear Power in Belarus	236
<i>Лашкевич В. И., Соловцова О. П.</i> Применение техники интегралов Меллина–Барнса в вычислениях вкладов в аномальные магнитные моменты лептонов	239
<i>Лапко О. А., Ключко У. В.</i> Статический расчет консольной балки, выполненный в SolidWorks	243

<i>Рюмцев А. А., Остриков О. М.</i> Методика расчета полей напряжений у криволинейной полосы сдвига типа чешуйчатого навала, находящегося у поверхности металлического стекла, в системе «полоса сдвига – трещина»	246
<i>Златина В. Ю., Гавриш В. Ю.</i> Метод функции Грина для задачи рассеяния на кулоновском потенциале	249
<i>Прач С. И., Прытков В. П.</i> Исследование способов снижения обрыва проволоки при волочении.....	253
<i>Столяров А. И., Клячкова П. С.</i> Численное моделирование напряженно-деформированного состояния артерии при раскрытии стента	257
<i>Селютин А. М.</i> Получение нефтекислотных смесей для повышения продуктивности нефтяных скважин посредством гидродинамической кавитации	259

СЕКЦИЯ VIII. ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИКИ, ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

<i>Брикач Г. Е.</i> Использование имитационного моделирования в задачах прогнозирования экономического состояния предприятий.....	263
<i>Ермони́на И. В.</i> Методические подходы для проведения социально-эколого-экономической оценки туристического потенциала лесного фонда для развития экологического туризма	267
<i>Шкабарина А. О.</i> Особенности формирования транспортно-логистического кластера в регионе	270
<i>Кожневников Е. А.</i> Внешнеэкономические аспекты коррекции логистической деятельности агропродовольственного подкомплекса Беларуси	274
<i>Трейтьякова Е. В.</i> Актуальные аспекты самозанятости населения в Республике Беларусь	278
<i>Ландова Н. К., Прокопнёва О. А.</i> Инновационный путь становления белорусских предприятий: пути и перспективы развития	281
<i>Карчевская Е. Н.</i> Методический инструментарий оценки информационного обеспечения МІСЕ-туризма.....	284
<i>Громыко Р. И., Митрахович А. П.</i> Маркетинговые стратегии на социально значимых рынках.....	287
<i>Морозова Е. А., Митрофанова Г. В.</i> Актуальные вопросы удаленного формата работы в организациях в современных условиях ведения бизнеса	289
<i>Шваякова О. В.</i> Органическое сельское хозяйство как фактор укрепления здоровья нации, инструмент макроэкономического развития.....	292
<i>Митрофанова Г. В., Прокопнёва О. А.</i> Анализ основных проблем инновационной деятельности в организациях Республики Беларусь	295
<i>Сидоркина В. А., Савченко Ю. В.</i> Анализ и его роль в управлении предприятием.....	298
<i>Savenko T. V.</i> Analysis of the People's Republic of China Place in International Ratings of Investment Attractiveness	301
<i>Царь О. Н., Ермони́на И. В.</i> Совершенствование системы материального стимулирования труда персонала промышленного предприятия	303
<i>Рачкова И. В.</i> Негативные тенденции социально-экономического развития Гомельской области	307
<i>Кацубо С. П.</i> О роли законодательства в совершенствовании инновационного развития и преобразований производственного потенциала	310

<i>Соловьёва Л. Л., Гудеева А. М.</i> Методика совершенствования сайта предприятий машиностроения.....	313
<i>Пономаренко Е. П.</i> Развитие теоретических аспектов анализа финансового состояния субъекта хозяйствования.....	316
<i>Filchuk T. G., Morakinyo O. A.</i> Possibilities of Marginal Costing as One of the Cost Management Tools at an Industrial Enterprise.....	319
<i>Атннша Р. А. А., Сычёва Н. В.</i> Основные принципы и критерии эффективного функционирования и развития бизнес-структур в государстве Ливия.....	322
<i>Морозова Е. А., Андриянчикова М. Н.</i> Факторы конкурентоспособности предприятия в современных условиях.....	325
<i>Шелупенко Я. С., Андриянчикова М. Н.</i> Рынок труда Республики Беларусь: проблемы и перспективы.....	328
<i>Волкова Ю. А.</i> Возможности кластерного развития машиностроительного комплекса Республики Беларусь.....	332
<i>Гришко Т. В., Сычёв А. В.</i> Стратегические аспекты управления рисками в системе менеджмента качества университета.....	334
<i>Рачкова И. В.</i> Концепция подхода «Good Governance» – «надлежащее управление».....	337
<i>Хроль Е. В., Беспалова Д. П., Затонская И. В.</i> Интеграционные технологии систем управления документацией и отчетности для малых предприятий.....	339
<i>Савченко Ю. В.</i> Экологический риск и его экономическая оценка.....	343
<i>Астраханцев С. Е.</i> Маркетинговое сопровождение НИР в инновационном режиме «Технологический толчок».....	346

СЕКЦИЯ 5. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.43.038.772

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ

Д. В. Кирдищев

*Брянский государственный аграрный университет, с. Кокино,
Российская Федерация*

Применение виброакустического компьютерного измерительного комплекса позволяет во время работы дизельного двигателя получить спектры вибрации в диапазоне от 5 до 500 Гц топливной аппаратуры при различных режимах работы. Рассмотрены практические результаты технического диагностирования топливных форсунок с использованием виброакустических характеристик. Приведен способ расшифровки спектров вибрации форсунок во время работы дизеля. При достоверной статистике дефектов и их признаков обеспечивается высокая надежность диагностирования и прогнозирования технического состояния различного оборудования.

Ключевые слова: топливная аппаратура, диагностирование, дизель, метод последовательного анализа, виброакустические характеристики.

PROBLEM QUESTIONS OF VIBRATION DIAGNOSTICS OF FUEL EQUIPMENT OF DIESEL ENGINES DURING OPERATION

D. V. Kirdishchev

Bryansk State Agrarian University, Kokino village, Russian Federation

The use of a vibroacoustic computer measuring system makes it possible to obtain vibration spectra in the range from 5 to 500 Hz of fuel equipment during operation of a diesel engine under various operating modes. The article discusses the practical results of technical diagnostics of fuel injectors using vibroacoustic characteristics. The principle of operation of a computer vibroacoustic measuring complex is presented. A method for decoding the vibration spectra of injectors during diesel operation is given. With reliable statistics of defects and their signs, high reliability of diagnosing and predicting the technical condition of various equipment is ensured.

Keywords: fuel equipment, diagnostics, diesel, sequential analysis method, vibroacoustic characteristics.

Топливная аппаратура дизельного двигателя представляет собой сложный узел, в состав которого входит множество прецизионных элементов с точно притертыми поверхностями, работающих в условиях с высокими механическими, гидродинамическими и тепловыми нагрузками. Низкий уровень технического обслуживания топливной аппаратуры приводит к большим потерям дизельного топлива [1, 2].

Средством, повышающим качество и эффективность технического обслуживания, ремонта и эксплуатации топливной аппаратуры (ТА), является техническое диагностирование. Техническое диагностирование, обеспечивая достоверное прогнозирование остаточного ресурса, повышает надежность ТА, что необходимо для нормальной эксплуатации дизеля и планирования его работы.

10 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

Виброакустический метод диагностирования основан на регистрации параметров упругих колебаний, возникающих в механизмах при соударении деталей во время функционирования.

Датчик виброускорения при помощи магнита крепился по очереди к корпусу каждой форсунки дизеля во время его работы. Сигнал с вибродатчика через усилитель заряда поступает в компьютер. После записи и преобразования Фурье на экране компьютера выводится изображение виброакустического сигнала во время работы форсунки в координатах «ось ординат – виброускорение», дБ, «ось абсцисс – частота вибрации», Гц (рис. 1).

Для получения экспериментального материала было обследовано более 10 дизельных двигателей с разным сроком эксплуатации: новые тракторы, тракторы с наработкой 300 ч работы и тракторы с временем наработки более 8000 ч без капитального ремонта.

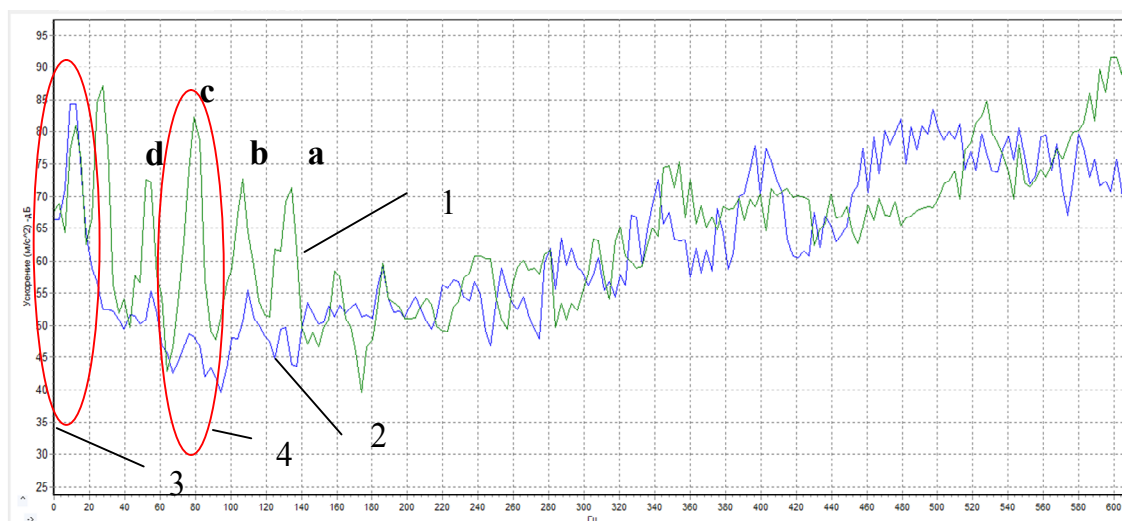


Рис. 1. Спектр вибрации дизельных форсунок Д-240 и ЯМ 238нд5 на 700 об/мин:
1 – зеленая кривая – первая форсунка двигателя Д-240 – 518 моточасов;
2 – синяя кривая – первая форсунка двигателя ЯМ 238 – 3 моточаса;
d – 48 Гц; c – 80 Гц; b – 115 Гц; a – 137 Гц

Вращение коленчатого вала через шестеренки передается топливному насосу при соотношении $n_{\text{нас}}/n_{\text{вал}} = 2$, т. е. за один оборот вала топливного насоса коленчатый вал делает два оборота. Топливный насос высокого давления создает давление 150–170 кг/см². Топливо под давлением через штуцер сетки по каналу проходит в кольцевую канавку распылителя и по трем каналам поступает в полость форсунки [5]. Форсунка испытывает первый гидроудар – a. Проведенные исследования показали, что уровень вибрации на частоте 137 Гц характеризует техническое состояние топливного насоса высокого давления. Топливо снизу давит на коническую поверхность иглы, а когда усилие от давления превышает силу затяжки пружины, игла поднимается. Уровень вибрации на частоте 115 Гц характеризует упругость пружины форсунки, при перемещении иглы вверх, заплечико иглы ударяет в торец корпуса форсунки. Это второй удар в корпусе форсунки – b.

Топливо через сопловое отверстие впрыскивается в камеру сгорания, а в камере сгорания происходит воспламенение топлива – детонация. Это третий удар в кор-

пуге форсунки – *c*. После поступления топлива в камеру сгорания игла под действием пружины возвращается в исходное состояние. Это четвертый удар в корпусе форсунки – *d*. Величина вибрации форсунки на частоте 48 Гц зависит от технического состояния пружины форсунки, а также от износа посадочного конуса иглы.

При 700 об/мин оборотная частота $f_0 = 700/60 = 11,66$ Гц Гц (рис. 1, позиция 3). Частота 23,3 Гц – это вторая оборотная частота. Остальные частоты не рассчитываются, а определены эмпирически на основании большого количества экспериментов: $f_a = 11,76 \cdot n_{\text{вал}}$ (137 Гц); $f_b = 9,176 \cdot n_{\text{вал}}$ (107 Гц); $f_c = 6,86 \cdot n_{\text{вал}}$ (80 Гц); $f_d = 4,72 \cdot n_{\text{вал}}$ (55 Гц).

Частота $f_c = 80$ Гц является частотой детонации в дизеле. Причем эта частота зависит от частоты вращения каленвала и не зависит от количества цилиндров. Двигатель Д-240 имеет 4 цилиндра, а двигатель ЯМ 238 – 8 цилиндров (рис. 1, позиция 4).

С точки зрения физики работы форсунки время T_a – топливо находится в ТНВД; T_b – топливо поступило в форсунку; T_c – топливо поступило в цилиндр; T_d – время опускания запорной иглы. Следовательно, $T_a < T_b < T_c < T_d$.

Известно соотношение частоты и времени периода $f_i = 1/T_i$, тогда $f_a > f_b > f_c > f_d$. Отсюда можно определить время срабатывания форсунки: $T_a = 1/137 = 0,0073$; $T_b = 1/107 = 0,009$; $T_c = 1/80 = 0,0125$; $T_d = 1/55 = 0,018$.

Дальнейшее развитие теории вибродиагностирования топливной аппаратуры изложено в статьях [2, 3]. Научная новизна выполненных исследований подтверждена патентом Российской Федерации [4]. Проведенные экспериментальные исследования показали, что по спектру вибрации можно составить диагностические модели дизельных двигателей Минского, Ярославского тракторных заводов и фирмы *Deutz*. Крайне сложно диагностировать двигатели фирмы *Deutz*. Встроенная система диагностирования дизеля фирмы *Deutz* контролирует только электронную часть топливной аппаратуры, а не состояние форсунки.

Л и т е р а т у р а

1. Грунтович, Н. В. Вибродиагностирование топливных форсунок на работающем двигателе / Н. В. Грунтович, Д. В. Кирдищев // Агротехника и энергообеспечение. – 2016. – Т. 2, № 4 (13). – С. 47–55.
2. Грунтович, Н. В. Техническое диагностирование форсунок дизелей во время их работы / Н. В. Грунтович, Д. В. Кирдищев // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 22–24 нояб. 2017 г. / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т ; редкол.: В. П. Чеботарев [и др.]. – Минск, 2017. – 457–460 с.
3. Грунтович, Н. В. Разработка диагностической модели дизельных форсунок по результатам вибродиагностирования / Н. В. Грунтович, Д. В. Кирдищев, В. Б. Попов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2017. – № 2 (69). – С. 18–24.
4. Способ определения технического состояния форсунок на работающем двигателе : пат. 2667738 Рос. Федерация, МПК С 2 / Грунтович Н. В., Грунтович Н. В., Кирдищев Д. В. – 24.09.18.

УДК 621.3.042:534.632

**ОЦЕНКА РИСКА ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

Н. В. Грунтович, И. В. Петров

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Т. К. Жобборов

Ферганский политехнический институт, Республика Узбекистан

Определены типовые дефекты подшипников качения, приведены формулы для вычисления частот вибрации подшипников, формулы вычисления вероятностей предотвращения отказа подшипников при наличии статистических данных. Приведена формула для вычисления степени риска с использованием текущих значений вибрации, заданных значений минимального и максимального уровня значений вибрации различных дефектов.

Ключевые слова: подшипники качения, дефекты, разноразмерность, риск, вероятность, предотвращение, обнаружение, устранение, максимальный уровень, минимальный уровень.

**INCREASING THE RELIABILITY AND ACCURACY OF TECHNICAL
DIAGNOSTICS OF POWER OIL FILLED TRANSFORMERS**

M. V. Hruntovich, I. V. Petrov,

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

T. K. Zhobborov

Fergana Polytechnic Institute, the Republic of Uzbekistan

Typical defects of rolling bearings are determined, formulas are given for calculating the vibration frequencies of bearings, formulas for calculating the probabilities of preventing failure of bearings in the presence of statistical data. A formula is given for calculating the degree of risk using the current vibration values, the specified values of the minimum and maximum levels of vibration values of various defects.

Keywords: rolling bearings, defects, dimensions, risk, probability, prevention, detection, elimination, maximum level, minimum level.

Опыт эксплуатации электрооборудования подсказывает, что с увеличением срока эксплуатации электродвигателей, силовых трансформаторов необходимо совершенствовать методику технического диагностирования.

В электродвигателях и их подшипниках возникают следующие дефекты: нарушение балансировки ротора, разноразмерность тел качения, низкий класс обработки колец, выбоины на наружном кольце, наклеп на кольцах, овальность внутреннего кольца, задиры на наружном кольце, овальность внутреннего кольца, износ тел качения и колец. Все эти дефекты возникают при нарушении условий эксплуатации и проявляются в спектре вибрации на определенных частотах. Например, при овальности внутреннего кольца вибрация подшипника качения увеличивается на второй обротной частоте. При разноразмерности тел качения вибрация возрастает на частоте:

$$f_c = \frac{f_p R_{\text{вн}}}{2(R_{\text{вн}} + r_t)} Z_t,$$

где f_p – частота вращения ротора, Гц; $R_{\text{вн}}$ – радиус внутреннего кольца, по которому перекачиваются тела качения, мм; r_t – радиус тел качения, мм; Z_t – количество тел качения в подшипнике, ед.

При износе тел качения вибрация изменяется на частоте:

$$f_s = \frac{f_p R_{\text{вн}}}{2r_t} Z_t K,$$

где $K = 3-50$ – коэффициент, который определяется от количества раковин на кольцах и телах качения в зоне контакта.

При длительной эксплуатации оборудования на кольцах и телах качения образуются микрораковины, при этом уровень вибрации увеличивается в области частот > 5000 Гц. С увеличением числа микрораковин и их площади амплитудный спектр смещается в область низких частот.

Следует заметить, какие бы способы обработки виброакустического сигнала не применяли, а именно – способ огибающей, вейвлет-преобразования, анализ прямого спектра вибрации, во всех случаях акустический сигнал регистрируется с погрешностями и с помехами.

Исследуя виброакустические характеристики новых подшипников качения, обратили внимание, что в диапазоне частот больше 1000 Гц уровень вибрации может значительно отличаться в зависимости от частоты. Например, в области 2000 Гц уровень вибрации может быть 75–85 дБ, а на частотах 3000 и 4000 Гц уровень вибрации может быть 55–65 дБ, или наоборот. В области 3000 Гц уровень вибрации может быть 70–80 дБ, а на частоте 2000 Гц и 4000 Гц – значительно ниже. Все это требовало объяснений. Во время эксплуатации подшипников качения износ внутреннего кольца, наружного кольца, тел качения происходит по-разному. Изготовление подшипников выполняется на разных станках и разными специалистами, следовательно, количество микрораковин может быть разным. Их количество будем моделировать, изменяя значение коэффициента $K = 3-50$ в формулах. Тогда для подшипника № 310 при частоте вращения вала двигателя 24,4 Гц определено:

– дефект наружного кольца (частота опрокидывания вала в подшипнике (рис. 1) составляет $f = 76$ Гц, $fK = 228-3800$ Гц;

– дефект внутреннего кольца (вибрация внутреннего кольца обусловлена разноразмерностью и гранностью тел качения) составляет $f = 123$ Гц, $fK = 369-6150$ Гц;

– дефекты тел качения (вибрация тел качения обусловлена разноразмерностью и гранностью тел качения) $fK = 957-15950$ Гц.

Для лучшего восприятия частотных зон подшипников на плоскости построим отрезки без масштаба с учетом частотного диапазона [1].

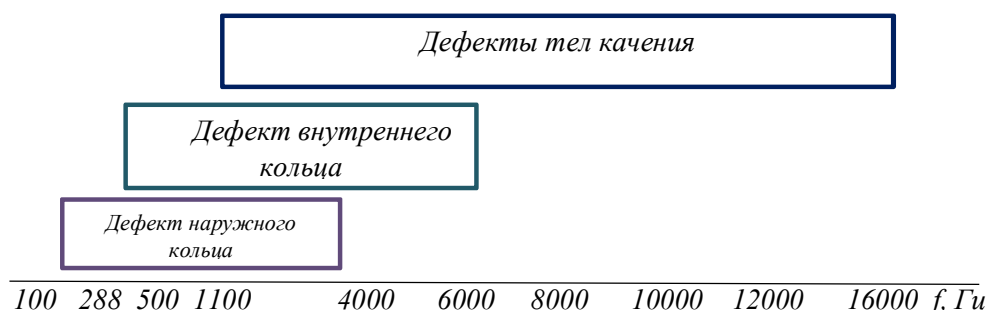


Рис. 1. Иллюстрация расшифровки частотных спектров вибрации подшипников качения на графике в зависимости от дефектов

Из представленного расчета и рисунка можно предположить, что в диапазоне частот 300–900 Гц амплитуда вибрации подшипника качения будет зависеть от количества микрораковин на наружном и внутреннем кольцах. В диапазоне 900–3800 Гц – на амплитудный спектр вибрации подшипника качения будет влиять дефекты тел качения внутреннего и наружного колец. После 4000–6000 Гц на спектры вибрации подшипника качения будут оказывать влияние дефекты внутреннего кольца и тел качения. После 6000 Гц основное влияние на амплитудный спектр вибрации подшипника качения будут оказывать дефекты тел качения. В виброакустических характеристиках подшипников качения наблюдается подобная динамика амплитудного спектра. Численное значение коэффициента K можно объяснить физическими процессами при работе подшипника качения. Во-первых, каждая условная точка на телах качения совершает движение между кольцами по гипоциклоиде [2]. Количество касаний этой условной точки наружного и внутреннего колец вычисляется из соотношения длин окружности колец и тел качения. Это, как правило, по внутреннему кольцу – более трех, а по наружному кольцу – более 5. Во-вторых, на взаимной контактной поверхности тел качения и колец может быть любое число микрораковин. Это дает основание принимать значение коэффициента $K = 50$ и более. Тогда степень риска или вероятность предотвращения повреждения P_{Π} подшипника качения можно вычислить по формуле

$$P_{\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{oi} P_{yi}}{n},$$

где P_{oi} – вероятность обнаружения i -го дефекта при техническом диагностировании; P_{yi} – вероятность успешного устранения i -го дефекта во время ремонта; n – количество возможных дефектов.

В настоящее время на предприятиях не ведется работа по учету и анализу дефектов как при их выявлении, так и при устранении. Поэтому уровень риска возникновения i -го дефекта P_i в подшипнике качения можно вычислить:

$$q_i = \frac{A_i - A_{\min i}}{A_{\max i} - A_{\min i}},$$

где A_i – текущий уровень вибрации дефекта на i -й частоте, дБ; $A_{\min i}$ – принятый минимальный уровень вибрации на i -й частоте, дБ; $A_{\max i}$ – принятый максимальный уровень вибрации на i -й частоте, дБ.

Литература

1. Vibration diagnostic of electric motor roller bearings / N. V. Hruntovich [et al.] // SES-2019 : E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 124. – P. 02008. [https:// doi. org / 10.1051/e3sconf/201912402008](https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912402008)
2. Грунтович, Н. В. Гипоциклоида частоты вибрации подшипников качения / Н. В. Грунтович, И. В. Петров, Д. В. Кирдищев // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : тез. докл. 3-й Междунар. конф. с элементами науч. шк., Тамбов, 25–27 апр. 2016 г. / Тамбов. гос. техн. ун-т, М-во образования и науки Рос. Федерации ; отв. ред. Т. И. Чернышова. – Тамбов, 2016. – Т. 2. – С. 288–289.

УДК 621.3.042:534.632

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ТОЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Н. В. Грунтович, И. В. Петров

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Т. К. Жобборов, Д. А. Турсунов

Ферганский политехнический институт, Республика Узбекистан

Изложены результаты экспериментальных исследований по технической диагностике асинхронных двигателей. Показана возможность выявления дефектов при расширении спектров вибрации до 5000 Гц или даже до 10000 Гц. Указывается на важность определения места установки вибродатчиков при вибродиагностировании подшипниковых опор. Предлагается установка вибродатчиков на лапы электродвигателя. Указываются основные причины низкого качества новых подшипников качения.

Ключевые слова: вибродиагностирование, асинхронные двигатели, спектры вибрации, частотный диапазон, диагностические стенды.

**INCREASING RELIABILITY AND ACCURACY OF TECHNICAL
DIAGNOSTICS OF ASYNCHRONOUS MOTORS**

M. V. Hruntovich, I. V. Petrov

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

T. K. Zhobborov, D. A. Tursunov

Fergana Polytechnic Institute, Republic of Uzbekistan

The results of experimental studies on technical diagnostics of asynchronous motors are presented. The possibility of detecting defects by expanding the vibration spectra up to 5000 Hz or even up to 10000 Hz is shown. The importance of determining the installation location of vibration sensors during vibration diagnostics of bearing supports is indicated. It is proposed to install vibration sensors on the legs of the electric motor. The main reasons for the low quality of new rolling bearings are indicated.

Keywords: vibration diagnostics, asynchronous motors, vibration spectra, frequency range, diagnostic stands.

Сложившаяся практика виброконтроля роторных механизмов по общему уровню вибрации в диапазоне частот 10–200 Гц, 10–1000 Гц, 10–2000 Гц не может обеспечить высокую достоверность выявления дефектов. Выполненные теоретические и

16 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

экспериментальные исследования убедительно показали, что для выявления возможных дефектов целесообразно выполнять анализ вибрации оборудования до 5000 Гц или даже до 10000 Гц.

На рис. 1 представлено два спектра вибрации корпуса асинхронного двигателя (АД) мощностью 160 кВт в частотном диапазоне 5–1000 Гц. Электродвигатель подключен к сети через частотный преобразователь, обороты ротора $n = 2980$ об/мин. На частоте 100 Гц вибрация составляет 76 дБ. Она обусловлена несимметрией фазного напряжения и несимметрией омического сопротивления фазных обмоток статора. Овальность внутреннего кольца подшипника качения исключается, так как электродвигатель – новый, а вибродатчик ускорения был установлен на корпусе электродвигателя.

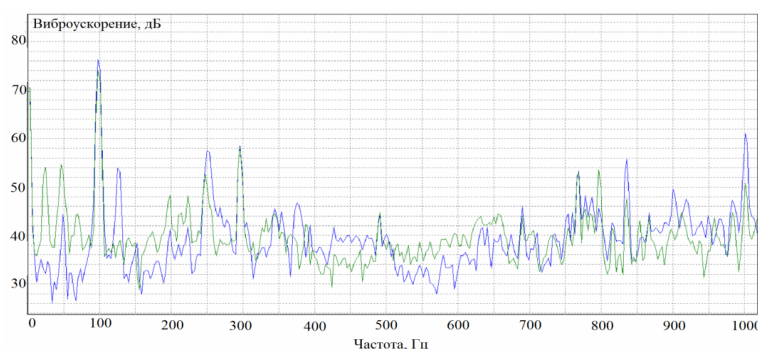


Рис. 1. Спектр вибрации корпуса асинхронного электродвигателя мощностью 160 кВт в частотном диапазоне 5–1000 Гц

На рис. 2 представлены два спектра вибрации этого же электродвигателя в частотном диапазоне до 10000 Гц. Синий спектр вибрации получен, когда вибродатчик крепился на корпусе ЭД на 3 ч. Зеленый спектр вибрации получен, когда вибродатчик крепился к корпусу ЭД на 10 ч со стороны полевого подшипника качения. Повышенная вибрация корпуса в частотном диапазоне 1700–2700 Гц обусловлена колебанием обмотки в пазах железа статора из-за расслабления расклиновки. Повышенная вибрация корпуса двигателя в диапазоне 3750–6500 Гц обусловлена высокочастотными помехами от частотного преобразователя. Можно предположить, что в двигателе неравно жесткая конструкция корпуса, так как вибрация корпуса на 10 ч (зеленый спектр) отличается от спектра вибрации корпуса на 3 ч (синий спектр).

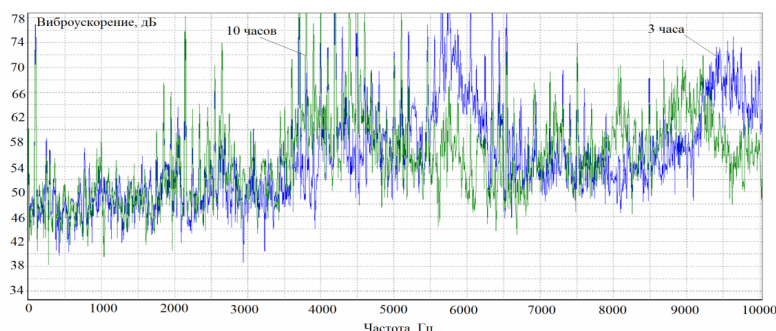


Рис. 2. Спектр вибрации корпуса асинхронного электродвигателя мощностью 160 кВт в частотном диапазоне 0–10000 Гц

Очень важно правильно определить место установки вибродатчика при измерении вибрации. В настоящее время многие специалисты допускают ошибки при выборе места установки датчика [1]. Согласно ГОСТ ИСО 10816-1-97, вибродатчик необходимо размещать в местах с максимальным акустическим сигналом. В данном стандарте приводится также пример размещения вибродатчиков при вибродиагностировании подшипниковых опор. Данные рекомендации справедливы только для подшипников скольжения. В подшипниках качения во время работы механизма – совсем другая эпюра сил возмущения. Поэтому вибродатчики при диагностировании подшипников качения необходимо ставить на лапу электродвигателя в зависимости от направления вращения ротора. Выполненное вибродиагностирование новых подшипников качения российского производства показало, что около 60 % новых подшипников могут быть низкого качества их-за разноразмерности тел качения, или низкого класса обработки поверхности колец. Поэтому целесообразно новые подшипники проверять на специальных диагностических стендах. Такие стенды эксплуатируются на ОАО «Могилевхимволокно», ОАО «Нафтан» и на других предприятиях. Очень важно использовать технологию замены смазки, не снимая подшипники качения. Как показывает опыт эксплуатации, после снятия подшипника для замены смазки ставится новый подшипник и не всегда хорошего качества. Исследования показали, что повышенная вибрация подшипника не всегда свидетельствует об его износе: 40 % подшипников качения снимается необоснованно. Достаточно заменить смазку и подшипник качения сможет работать 10000–15000 ч. Для определения технического состояния изоляции статорной обмотки высоковольтных двигателей сегодня измеряют коэффициент абсорбции и проводят высоковольтные испытания. Опасность высоковольтных испытаний состоит в том, что существует понятие «незавершенный пробой изоляции», что существенно снижает диэлектрические характеристики изоляции. Исследования показали, что для оценки степени старения высоковольтной изоляции целесообразно измерять частичные разряды в изоляции и контролировать изменение $\text{tg}\delta$ в зависимости от приложенного испытательного напряжения с моста переменного тока Р-5026.

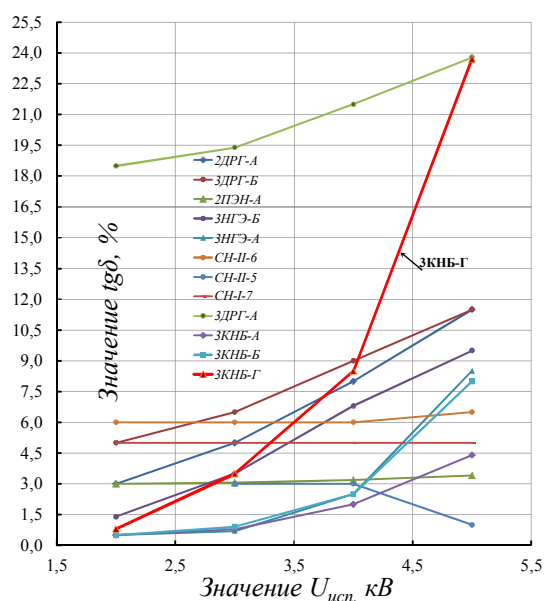


Рис. 3. Иллюстрация изменения $\text{tg}\delta$ в зависимости от технического состояния изоляции и приложенного испытательного напряжения

Как видно из рис. 3, самая плохая изоляция статорной обмотки – в двигателе ЗКНБ-Г.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 20816-1–2021. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях // Электротехн. интернет-портал elec.ru. – Режим жоступа: <https://www.elec.ru/>. – Дата доступа: 09.09.2022.
2. Грунтович, Н. В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учеб. пособие / Н. В. Грунтович. – Минск : Новое издание ; М. : ИНФА-М, 2013. – 271 с. : ил. – (Высш. образование: Бакалавриат).

УДК 621.3.042:534.632

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ТОЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Н. В. Грунтович, Е. А. Жук

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Т. К. Жобборов, И. К. Исmoilов

Ферганский политехнический институт, Республика Узбекистан

Кратко изложены типовые ошибки при диагностировании силовых трансформаторов. Приведены рекомендации для повышения достоверности выявления дефектов при техническом диагностировании маслонаполненных трансформаторов с применением виброконтроля, хроматографии и частичных разрядов.

Ключевые слова: динамическая стойкость, виброконтроль, хроматография, частичные разряды, термография, трансформаторы.

**INCREASING THE RELIABILITY AND ACCURACY OF TECHNICAL
DIAGNOSTICS OF POWER OIL FILLED TRANSFORMERS**

M. V. Hruntovich, E. A. Zhuk

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

T. K. Zhobborov, I. K. Ismoilov

Fergana Polytechnic Institute, Republic of Uzbekistan

Typical errors in diagnosing power transformers are briefly outlined. Recommendations are given to improve the reliability of detection of defects in the technical diagnostics of oil-filled transformers using vibration control, chromatography and partial discharges.

Keywords: dynamic resistance, vibrocontrol, chromatography, partial discharges, thermography, transformers.

Значительная часть силовых маслонаполненных трансформаторов отработала свой нормативный срок. Для повышения долговечности и безотказности трансформаторов необходимо совершенствовать теорию технической диагностики. Сложившаяся практика в Беларуси, России и Узбекистане оценивать динамическую стойкость обмоток и магнитопровода трансформаторов по общему уровню вибрации бака в диапазоне частот 10–1000 Гц не может обеспечить высокую достоверность

выявления дефектов. Выполненные многочисленные измерения вибрации трансформаторов на различных предприятиях показали, что вибрация бака может увеличиваться и до 5000 Гц при наличии различных дефектов.

В качестве иллюстрации приведены спектры вибрации автотрансформатора с нагрузкой 24 г. (рис. 1). Максимальная магнитоэлектрическая вибрация до 1000 Гц, как правило, составляет около 90 дБ (при $a_0 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$). В данном случае вибрация не превышает 75 дБ. Однако в частотном диапазоне свыше 2000 Гц уровень вибрации достигает на отдельных частотах 56 дБ при предельном значении 60 дБ. Режим загрузки автотрансформаторов – переменный, в течение одного часа он может измениться несколько раз.

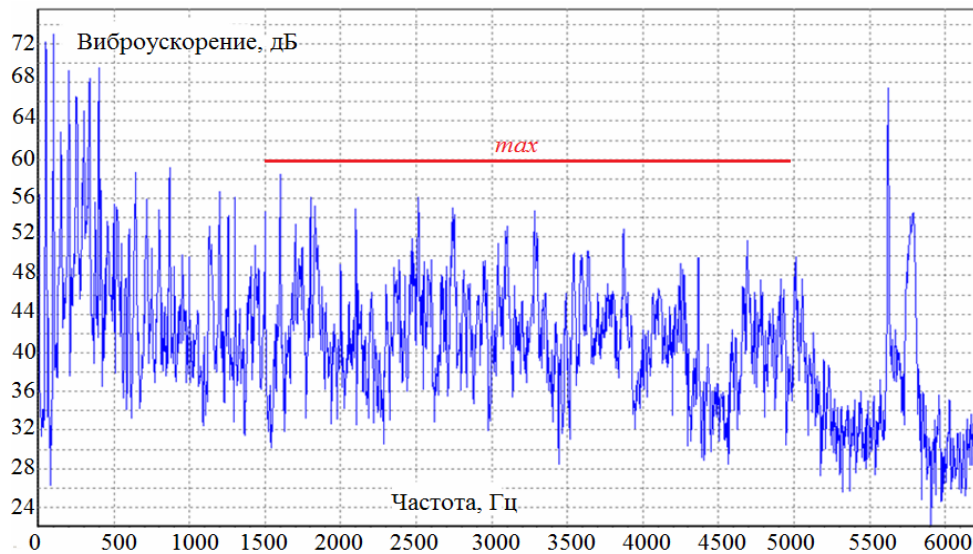


Рис. 1. Спектр вибрации автотрансформатора (середина, в зоне РПН фазы «В» (110 кВ)) в частотном диапазоне 5–1000 Гц

Хроматографический контроль горючих газов в масле целесообразно выполнять по двум и более разным методикам [1]. Если хроматография показывает, что в трансформаторе возможны дуговые разряды и локальный перегрев с температурой 700–900 °С, то в обязательном порядке нужно выполнить термографическое обследование трансформатора и измерить частичные разряды в баке и в высоковольтных вводах. Как показали исследования, при дуговых разрядах масло в трансформаторе горит локально в зоне дуги, при этом результаты хроматографии показывают локальный перегрев. Причем термографическое обследование трансформатора целесообразно выполнять не только с земли, но и люльки автомобиля или крыши здания. Необходимо измерять $\text{tg}\delta$ изоляции обмоток 6–10 кВ мостом Р-5026. При этом $\text{tg}\delta$ не должен увеличиваться. Выполнять подобные измерения обмоток и вводов 110–220 кВ нецелесообразно, так как полученный результат будет недостоверным. К сожалению, такие измерения в электрических сетях Беларуси выполняются регулярно.

Для оценки технического состояния высоковольтных вводов необходимо измерять частичные разряды стационарной системой или переносным зондом М4202 (Lemke-5) и тщательно провести температурное обследование. При разности температурного поля на вводах 10–15 °С необходимо организовать температурный мониторинг и контролировать частичные разряды переносным зондом.

20 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

Проведенные исследования показали, что существует 10 факторов, которые могут вызывать частичные разряды [3]:

1. Образование пузырьков масла при локальных перегревах и кипении масла.
2. Образование пузырьков масла при кавитации во время работы масляного насоса.
3. Возникновение полости в бумажной изоляции, обусловленное вибрацией при длительной эксплуатации трансформаторов и потерей динамической стойкости обмоток.
4. Появление механических примесей на узлах трансформатора и в масле в результате вибрации, при повышенной кислотности масла, после локальных перегревов.
5. На границе раздела двух сред (масло – узлы трансформаторов).
6. Локальное повышение вибрации при плохих контактных соединениях.
7. Концентрация электрических зарядов на заостренных деталях металлических узлов трансформаторов.
8. Увлажнение бумажной изоляции.
9. Воздействие солнечного электромагнитного излучения. По этой причине в Белорусской энергосистеме за последние 10 лет трансформаторы напряжения повреждались дважды.
10. Локальное повышение направленного электрического поля из-за электронизации масла во время работы маслонасосов.

С увеличением срока службы увеличивается вероятность возникновения электрической дуги внутри трансформатора. Применяемая токовая отсечка и дифференциальная защита не защищают трансформатор от электрической дуги внутри трансформатора. Во время лабораторных исследований было установлена зависимость между уровнем частичных разрядов и током утечки в шине заземления.

Было обследовано более 20 силовых трансформаторов. Установлена строгая закономерность между уровнем частичных разрядов и током утечки в шинах заземления. Поэтому для прогнозирования и предупреждения образования электрической дуги внутри трансформатора целесообразно контролировать ток утечки. При наличии тока утечки величиной в 50 А целесообразно провести физико-химическое испытание трансформаторного масла и измерение частичных разрядов в баке трансформатора. При регистрации частичных разрядов в баке 600–800 пКл и при загрязнении масла целесообразно выполнить регенерацию трансформаторного масла.

Л и т е р а т у р а

1. Грунтович, Н. В. Типовые ошибки при техническом диагностировании силовых маслонеполненных трансформаторов / Н. В. Грунтович, Н. В. Грунтович, Е. А. Жук // Вестн. Казан. гос. энергет. ун-та. 2021. – Т. 13. – № 4 (52). – С. 28–36.
2. Грунтович, Н. В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учеб. пособие / Н. В. Грунтович. – Минск : Новое издание ; М. : ИНФА-М, 2013. – 271 с. – (Высш. образование: Бакалавриат).
3. Грунтович, Н. В. Закономерности образования внутренней электрической дуги в силовых маслонеполненных трансформаторах / Н. В. Грунтович, Н. В. Грунтович // Энергет. стратегия. – 2022. – № 1 (85). – С. 21–24.

УДК 621.3.042:534.632

**ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ
ВНЕДРЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ**

М. О. Узбеков, Ф. Н. Насретдинова, Г. Р. Умурзакова, А. А. Абуллаев

Ферганский политехнический институт, Республика Узбекистан

На основе модели зависимости расхода электрической энергии от выпуска продукции для многономенклатурного производства выполнен расчет удельных расходов электрической энергии. В условиях модернизации системы освещения предложен способ прогнозирования энергоэффективности за счет корректировки исходной модели электропотребления на величину ожидаемой экономии. Исследовано влияние изменения производственной программы на результирующую энергоэффективность.

Ключевые слова: энергоэффективность, многономенклатурное производство, модель расхода электроэнергии, производственная программа, условно-постоянная составляющая расхода электроэнергии.

**EVALUATION OF THE ENERGY EFFICIENCY OF A MULTIPLE
PRODUCTION UNDER THE CONDITIONS OF THE INTRODUCTION
OF ENERGY SAVING MEASURES**

M. O. Uzbekov, F. N. Nasretdinova, G. R. Umurzakova, A. A. Abullaev

Fergana Polytechnic Institute, the Republic of Uzbekistan

Based on the model of the dependence of EE consumption on the output of products for a multi-product production, the calculation of the specific consumption of electrical energy was carried out. Under the conditions of modernization of the lighting system, a method is proposed for predicting energy efficiency by adjusting the initial model of power consumption by the amount of expected savings. The impact of changing the production program on the resulting energy efficiency has been studied.

Keywords: energy efficiency, multiple production, electricity consumption model, production program, conditional component of electricity consumption.

Для многономенклатурного производства СП ООО «Уз Ханву Инжиниринг» для решения задач нормирования и оценки энергетической эффективности (ЭЭФ) разработаны модели зависимости расхода электрической энергии (ЭЭ) от объема выпуска продукции вида:

$$W_{\text{уд. ЭЭ}} = w_{\text{уд. техн}} + W_{\text{усл.-пост}} / \Pi, \text{ кВт} \cdot \text{ч/ед. продукции}, \quad (1)$$

где $W_{\text{усл.-пост}}$ – условно-постоянная составляющая потребления ЭЭ, не зависящая от объема выпускаемой продукции, кВт·ч; $w_{\text{уд. техн}}$ – технологический удельный расход энергоресурса на выпуск единицы продукции.

Поскольку СП ООО «Уз Ханву Инжиниринг» специализируется на выпуске комплектующих изделий и запасных частей для автомобильной промышленности различного ассортимента и ассортимент достаточно широкий, различная трудоемкость и материалоемкость выпускаемых изделий, то произведен пересчет объемов выпуска каждого вида продукции через трудоемкость к условным единицам.

На основании рассчитанных значений выпуска продукции и фактического расхода ЭЭ сформированы ряды «выпуск продукции – расход ЭЭ» ($\Pi_i - W_i$) за трехлет-

22 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

ний период. На основе метода наименьших квадратов построена квартальная модель расхода ЭЭ (рис. 1):

$$W_{\text{уд}} = 0,93 + 100215/\Pi, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{усл. ед.}$$

Задачи, решаемые с использованием однофакторной модели потребления ЭЭ в зависимости от объема выпуска продукции [1–6]:

- анализ энергоэффективности существующих режимов производства;
- расчет плановой потребности ЭЭ в условиях изменяющейся производственной программы;
- оценка потенциала повышения ЭЭФ за счет роста загрузки технологического оборудования и наращивания объемов выпуска продукции;
- оценка эффективности внедрения энергосберегающих мероприятий.

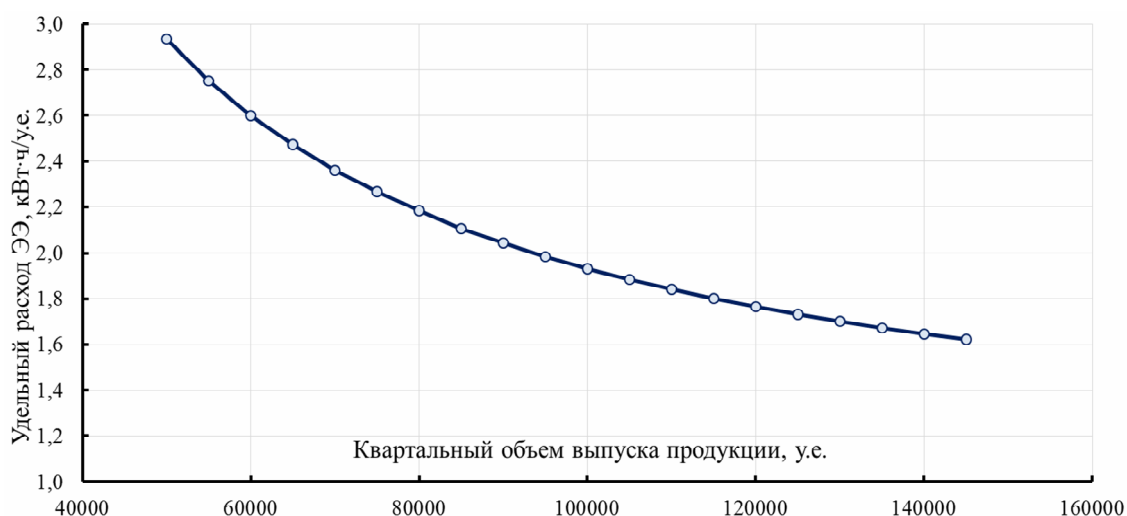


Рис. 1. Графическая интерпретация результатов моделирования зависимости удельного расхода электроэнергии для производства комплектующих изделий и запасных частей для автомобильной промышленности ООО «Уз Ханву Инжиниринг»

Рассмотрим, как внедрение современной системы освещения повлияет на ЭЭФ производства в условиях изменения производственной программы. По оценкам специалистов – энергоаудиторов, модернизация системы освещения позволит сэкономить 3507,5 кВт · ч ЭЭ в квартал. Поскольку затраты ЭЭ на освещение входят в состав условно-постоянной расхода ЭЭ, значит, произойдет снижение условно-постоянной расхода ЭЭ и она составит 96707,5 кВт · ч в квартал. Рассчитаем, как изменится ЭЭФ производства для различных объемов выпуска продукции (см. таблицу и рис. 2). Соответственно модель удельного расхода ЭЭ от квартального объема выпуска продукции должна быть скорректирована с учетом эффекта и будет иметь вид: $W_{\text{уд}} = 0,93 + 96707,5 / \Pi, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{усл. ед.}$

Оценка изменения энергоэффективности производства в условиях изменения производственной программы и внедрения мероприятия по энергосбережению

Квартальный объем выпуска продукции, П, усл. ед.	Удельный расход ЭЭ $W_1 = 0,93 + 100215/П$, кВт · ч/усл. ед.	Удельный расход ЭЭ $W_2 = 0,93 + 96707,5/П$, кВт · ч/усл. ед.	$\Delta ЭЭФ = (W_2 - W_1) / W_1 \cdot 100 \%$,
50000	2,93	2,86	-2,39
60000	2,60	2,54	-2,25
70000	2,36	2,31	-2,12
80000	2,18	2,14	-2,01
90000	2,04	2,00	-1,91
100000	1,93	1,90	-1,82
110000	1,84	1,81	-1,73
120000	1,77	1,74	-1,66
130000	1,70	1,67	-1,59
140000	1,65	1,62	-1,52
145000	1,62	1,60	-1,49

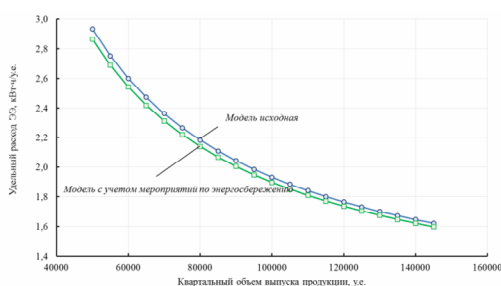


Рис. 2. Модели до и после внедрения мероприятия по энергоэффективности

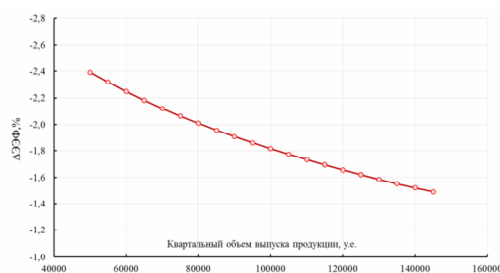


Рис. 3. Результирующее изменение энергоэффективности, %

Как видно из результатов расчета удельных расходов ЭЭ (см. таблицу и рис. 2), энергетическая эффективность производства изменится. Однако эффект от модернизации системы освещения будет изменяться в диапазоне от $-2,39$ до $-1,49$ % для различной производственной программы предприятия. В условиях низких объемов выпуска продукции эффект проявляется сильнее. В нашем случае он составит $-2,39$ %. Поэтому в условиях низкой загрузки производства следует обратить внимание на мероприятия, воздействующие на условно-постоянную составляющую расхода ЭЭ. При высокой загрузке производства необходимо искать мероприятия, воздействующие на технологическую составляющую расхода ЭЭ.

Литература

1. Токочакова, Н. В. Расчетно-статистические модели режимов потребления электроэнергии как основа нормирования и оценки энергетической эффективности / Н. В. Токочакова, Д. Р. Мороз // Энергоэффективность. – 2006. – № 1. – С. 14–15.
2. Использование методов математического моделирования для решения практических задач оценки энергоэффективности / Д. Р. Мороз [и др.] // Энергия и менеджмент. – 2017. – № 3 (96). – С. 7–11.

24 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

3. Токочакова, Н. В. Управление энергоэффективностью промышленных потребителей на основе моделирования режимов электропотребления / Н. В. Токочакова // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ. – 2006. – № 3. – С. 67–75.
4. Токочакова, Н. В. Показатели энергетической эффективности промышленных потребителей / Н. В. Токочакова, Д. Р. Мороз // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2006. – № 3 (26). – С. 66–75.
5. Грунтович, Н. В. Проблемные зоны системы управления энергоэффективностью промышленных потребителей республики / Н. В. Грунтович, Н. В. Токочакова // Энергоэффективность. – 2008. – № 3. – С. 6–10.
6. Токочакова, Н. В. Моделирование режимов потребления электрической энергии для задач управления энергетической эффективностью промышленных потребителей / Н. В. Токочакова, Д. Р. Мороз, А. С. Фиков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 2 (15). – С. 107–114.

УДК 621.3.042:534.632

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

М. О. Узбеков, Ф. Н. Насретдинова, А. А. Абуллаев

Ферганский политехнический институт, Республика Узбекистан

На основе модели зависимости расхода электрической энергии от выпуска продукции произведена оценка структуры потребляемой электрической энергии для цементного производства. Для различной загрузки производства представлена оценка веса условно-постоянной составляющей электропотребления и ее влияние на энергоэффективность производства.

Ключевые слова: энергоэффективность, цементное производство, моделирование расхода электроэнергии, производственная программа, условно-постоянная составляющая расхода электроэнергии.

ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT OF CEMENT PRODUCTION

M. O. Uzbekov, F. N. Nasretdinova, A. A. Abullaev

Fergana Polytechnic Institute, the Republic of Uzbekistan

Based on the model of dependence of EE consumption on output, an assessment was made of the structure of consumed electrical energy for cement production. For different loading of production, the weight of the conditionally constant component of power consumption and its impact on the energy efficiency of production were estimated.

Keywords: energy efficiency, cement production, modeling of electricity consumption, production program, conditional component of electricity consumption.

В 2020 г. Законодательной палатой Олий Мажлиса Республики Узбекистан принят в новой редакции Закон «О рациональном использовании энергии». Одними из основных направлений государственной политики в области рационального использования энергии являются:

- оптимизация режимов производства и потребления энергии, организация ее учета;
- введение показателей энергоэффективности и энергосбережения в нормативные документы на энергопроизводящие и энергопотребляющие оборудование и продукцию;
- организация обследований энергоэффективности и энергосбережения на предприятиях, учреждениях и организациях.

В условиях высокого уровня организации учета потребляемых энергоресурсов

Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика 25

и выпускаемой продукции появляется возможность формирования современного научно-методического обеспечения, позволяющего объективно оценивать существующий уровень энергоэффективности (ЭЭФ) производства и прогнозировать его изменение в условиях модернизации и внедрения мероприятий по энергосбережению. В этой связи следует учесть опыт научной школы по технической диагностике и энергоэффективности ГГТУ им. П. О. Сухого [1–5].

Для промышленных потребителей с простой (или сводящейся к ней) зависимостью расхода энергоресурса от объема выпуска продукции рассматривается возможность оценки ЭЭФ производства и структуры потребляемой электрической энергии (ЭЭ) с использованием однофакторной модели «потребляемый энергоресурс – объем выпуска продукции» вида

$$W = w_{\text{уд}}\Pi + W_{\text{усл.-пост}}, \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}, \quad (1)$$

где W – расход ЭЭ за данный отрезок времени, зависящий от вида производства, цеха, технологической линии и т. д.; $w_{\text{уд}}$ – переменная часть расхода ЭЭ на единицу продукции, в основном зависящая от нагрузки, тыс. кВт · ч; Π – объем продукции за соответствующее время, ед. измерения продукции; $W_{\text{усл.-пост}}$ – постоянная часть расхода ЭЭ в основном, не зависящая от нагрузки, тыс. кВт · ч.

Именно наличие в заводском, цеховом электропотреблении условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ привело к тому, что в общем виде зависимость общезаводского удельного расхода ЭЭ $W_{\text{уд}}$ от объема выпуска продукции имеет гиперболическую зависимость:

$$W_{\text{уд}} = w_{\text{уд}} + W_{\text{усл.-пост}}/\Pi, \text{ кВт} \cdot \text{ч/ед. измерения продукции}. \quad (2)$$

Исследования по оценке ЭЭФ цементного завода г. Ферганы произведены на основе месячных статистических данных по выпуску цемента и месячному объему потребленной ЭЭ. Ставилась задача разработать однофакторную модель зависимости расхода ЭЭ на выпуск цемента марки М-400 и с использованием модели оценить структуру потребления ЭЭ, а именно – выделить технологический расход ЭЭ и вес условно-постоянной составляющей в общем электропотреблении для различной загрузки производства.

Важность условно-постоянной составляющей затрат энергоресурса (части расхода энергоресурса, не зависящей от загрузки производства) признают и энергетики промышленных производств, и энергоаудиторы. В публикациях, посвященных вопросам управления энергетической эффективностью (ЭЭФ) современных производств, показано, что наличие условно-постоянной составляющей в расходе энергоресурса определяет [2, 5]:

- регулировочную способность по энергоэффективности за счет изменения объема выпуска продукции (горизонтальное регулирование);
- текущее состояние энергоэффективности;
- эффективность внедряемых мероприятий по энергосбережению.

Собрана статистика по месячным объемам выпуска цемента и соответствующего расхода ЭЭ за четырехлетний период. Оценка степени тесноты связи между объемом выпуска продукции и расходам ЭЭ показала достаточно высокий коэффициент корреляции, который составил $R = 0,98$. По месячным данным построена однофакторная модель зависимости расхода ЭЭ от выпуска продукции (рис. 1):

$$W = w_{\text{уд. техн}} \Pi + W_{\text{усл.-пост}} = 74,7 + 2412908,5/\Pi, \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (3)$$

26 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

Таким образом, удельный технологический расход ЭЭ на производство цемента марки М-400 составляет 74,7 кВт · ч /т, а условно-постоянная составляющая расхода ЭЭ – 2412908,5 кВт · ч.

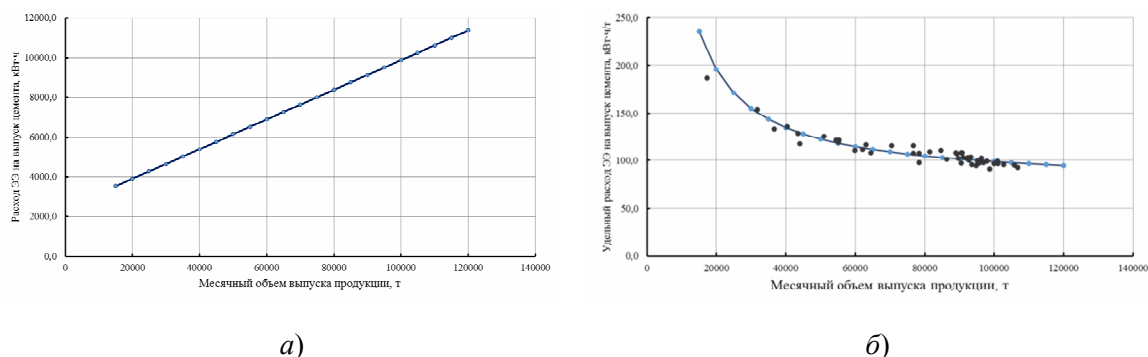


Рис. 1. Модели общего (а) и удельного расхода (б) ЭЭ на производство цемента М400 Ферганского цементного завода от объема выпуска продукции

На основе рассчитанной модели произведем оценку структуры потребленной ЭЭ для различной загрузки производства (см. таблицу).

Как видно из таблицы, вес условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ цементного производства возрастает до 68,3 % при низкой загрузке производства 15000 т в месяц и снижается до 21,2 % в условиях наращивания объема выпуска продукции. Соответственно наибольший расход ЭЭ – 235,6 кВт · ч/т будет при минимальном объеме выпуска продукции. Для минимального объема производства цемента говорить об эффективности производства не приходится. С другой стороны, при максимальном объеме выпуска продукции снижается вес условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ в общем электропотреблении и снижается до минимума удельный расход ЭЭ – 94,8 кВт · ч /т, что повышает ЭЭФ цементного производства.

Оценка структуры потребления электроэнергии для различной производственной программы выпуска продукции

$P_{\text{мес}}, \text{ т}$	Расход ЭЭ, тыс. кВт · ч	Удельный расход ЭЭ, кВт · ч /т	Технологический расход ЭЭ, $W_{\text{тех}} \text{ ЭЭ}$, тыс. кВт · ч	Вес технологической составляющей расхода ЭЭ в общем расходе, $W_{\text{тех}}/W_{\text{сум}} \cdot 100, \%$	Условно-постоянная расхода ЭЭ, тыс. кВт · ч	Вес условно-постоянной составляющей расхода ТЭ в общем расходе $W_{\text{усл-пост}}/W_{\text{сум}} \cdot 100, \%$
15000	3533,4	235,6	1120,5	31,7	2412,91	68,3
20000	3906,9	195,3	1494,0	38,2	2412,91	61,8
25000	4280,4	171,2	1867,5	43,6	2412,91	56,4
30000	4653,9	155,1	2241,0	48,2	2412,91	51,8
35000	5027,4	143,6	2614,5	52,0	2412,91	48,0
40000	5400,9	135,0	2988,0	55,3	2412,91	44,7

Окончание

П _{мес} , т	Расход ЭЭ, тыс. кВт · ч	Удель- ный расход ЭЭ, кВт · ч / т	Технологи- ческий расход ЭЭ, $W_{тех}ЭЭ$, тыс. кВт · ч	Вес технологи- ческой состав- ляющей расхода ЭЭ в общем расходе, $W_{техн}/W_{сум} \cdot 100, \%$	Условно- постоян- ная расхода ЭЭ, тыс. кВт · ч	Вес условно- постоянной составляющей расхода ТЭ в общем расходе $W_{усль.пост} /$ $W_{сум} \cdot 100, \%$
45000	5774,4	128,3	3361,5	58,2	2412,91	41,8
50000	6147,9	123,0	3735,0	60,8	2412,91	39,2
....
110000	10629,9	96,6	8217,0	77,3	2412,91	22,7
115000	11003,4	95,7	8590,5	78,1	2412,91	21,9
120000	11376,9	94,8	8964,0	78,8	2412,91	21,2

Литература

1. Токочакова, Н. В. Показатели энергетической эффективности промышленных потребителей / Н. В. Токочакова, Д. Р. Мороз // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2006. – № 3 (26). – С. 66–75.
2. Using models of energy consumption from influencing factors to assess the current state and energy efficiency forecasting / Moroz, D. [et al.] // EDP Sciences : In E3S Web of Conferences. – Vol. 220. – P. 01024.
3. Грунтович, Н. В. Влияние структуры потребления ТЭР предприятия на эффективность внедрения мероприятий по энергосбережению / Н. В. Грунтович, Е. Л. Шенец // Энергетика. Изв. вузов и энергет. об-ний СНГ. – 2014. – № 2. – С. 58–66.
4. Мороз, Д. Р. Развитие методического обеспечения для диагностирования энергетической эффективности / Д. Р. Мороз, С. Г. Жуковец, Е. Л. Шенец // Энергия и менеджмент. – 2017. – № 1 (94). – С. 8–13.
5. Использование методов математического моделирования для решения практических задач оценки энергоэффективности / Д. Р. Мороз [и др.] // Энергия и менеджмент. – 2017. – № 3 (96). – С. 7–11.

UDC 620.921

CREATING A MAP OF THE SOLAR ENERGY POTENTIAL OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

D. T. Isozoda, I. B. Makhsumov

Tajik Power Engineering Institute, Kushoniyon district, Tajikistan

The article presents data on the solar energy resources of the main settlements of Tajikistan, their energy potential is determined. To obtain accurate data on wind speed and total daily solar radiation on the territory of the republic, NASA data and the RESTscreen Expert program were used. With the help of the Solar Atlas web resource, a preliminary map of solar energy supply to the territory of the Republic of Tajikistan was created.

Keywords: renewable energy, solar radiation, solar potential map.

The role of green energy and its production in the modern world are becoming day

28 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

by day key trends for maintaining a clean environment. The Republic of Tajikistan, located in Central Asia, due to its geographical location, has a significant energy potential of renewable energy sources. However, the introduction of green energy facilities is proceeding at a slow pace. Despite the huge hydropower potential, which is estimated at 527 billion kWh/year, the Republic of Tajikistan cannot fully provide the country with electricity in winter [1]. Large-scale use of renewable energy could cover the energy deficit in the winter. The Government of the Republic of Tajikistan has adopted a new path for the development of rural electrification through alternative sources of electricity, the essence of which is the transition of the energy sector to the use of regional renewable energy sources (RES), including non-traditional resources [2]. To implement the above, the Government of the Republic adopted a number of laws on programs for short-term, medium-term and long-term implementation, development and use of alternative energy sources (solar, wind, biomass, small hydropower and others) [2].

About 10 million people live in developing Tajikistan, more than 3% of whom have practically no access to centralized electric networks. Alternative energy sources can provide hard to reach mountain settlements with a cheaper type of energy than the construction of hydroelectric power plants and long transmission lines, which can also help the country's economic development.

The global source of energy for any territory, including the Republic of Tajikistan, is the Sun. Solar radiation is considered a basic element of the climate as a source of all types of renewable energy. According to its natural and climatic conditions and geographical location, Tajikistan is one of the most promising territories in Central Asia for the use of solar energy [3]. According to local experts, the solar potential of Tajikistan is estimated at about 25 billion kWh/year, which could provide 10–20% of the national energy demand. The total value of solar radiation in a clear sky is 700–800 W/m² or 7,500–8,000 MJ/m² [3]. The total duration of solar study ranges from 2100 to 3170 hours/year.

The results of measurements of some local meteorological stations show the following values of the total duration of sunshine in the republic:

– meteorological station “Fedchenko Glacier” – 2116 hours at an altitude of 4169 m in the Pamirs;

– meteorological station “Dekhauz” – 2097 hours at an altitude of 2500 m in the upper reaches of the Zarafshan river;

– meteorological station “Pyanj” – 3000 hours in the southern part of Tajikistan;

– meteorological station “Karakul” – 3166 hours in the Eastern Pamirs.

In these territories, it is most expedient to use solar power plants. Local experts believe that the intensity of direct solar radiation is estimated from 10.3 kWh/m² (June–July) to 5.9 kWh/m² (December–January). To cover the deficit of thermal and electrical energy, the use of solar radiation is the most relevant direction not only today, but also in the near future [3].

NASA data and the RESTscreen Expert program were studied to identify promising areas for the use of solar energy. With the help of the Solar Atlas web resource, a preliminary map of solar energy supply to the territory of the Republic of Tajikistan was

created.

In table Table 1 shows the total monthly solar radiation in the main settlements of Tajikistan in W/m^2 . The theoretical value of solar radiation entering a horizontal area on a clear day at the middle latitude of Tajikistan ($39^\circ N$) is shown in Table 2.

Table 1

Total monthly solar radiation in some settlements of Tajikistan, W/m^2

Settlements	Months											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Dushanbe	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77
Khujand	87	114	164	229	290	330	322	290	243	164	100	65
Bokhtar	80	115	153	213	277	333	322	290	232	165	110	73
Kulyab	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77
Regar	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77
Javan	87	122	156	209	275	326	330	294	244	168	112	77
Shahritus	80	115	153	213	277	333	322	290	232	165	110	73
Nurek	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77
Kanibadam	87	114	164	229	290	330	322	290	243	164	100	65
Ura-Tube	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77
Penjikent	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77
Khorog	96	137	187	320	304	350	340	305	258	172	114	86
Dangara	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77
Jirgatal	96	137	187	320	304	350	340	305	258	172	114	86
Komsomolabad	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77
Garm	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77
(Spita-men)	87	114	164	229	290	330	322	290	243	164	100	65
Isfara	87	122	156	209	275	327	330	294	244	168	112	77

Table 2

Theoretical parameters of solar irradiation of a horizontal area on the Earth's surface at the latitude of Tajikistan

The amount of solar irradiation	Months											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$MJ/m^2.day$	13	15	20	25	27	28	26	25	19	15	12	11
$W/m^2.av.day$	150	174	231	289	312	324	301	289	220	174	139	127

Global horizontal irradiance (GHI) is the most important parameter for calculating the energy output and evaluating the efficiency of photovoltaic (PV) technologies with flat solar modules. The solar resource map (Fig. 1) provides a summary of the estimated solar energy available for power generation and other energy applications. It is a long-term

30 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

average of the annual daily sum of global horizontal exposure (GHI) [4, 5].

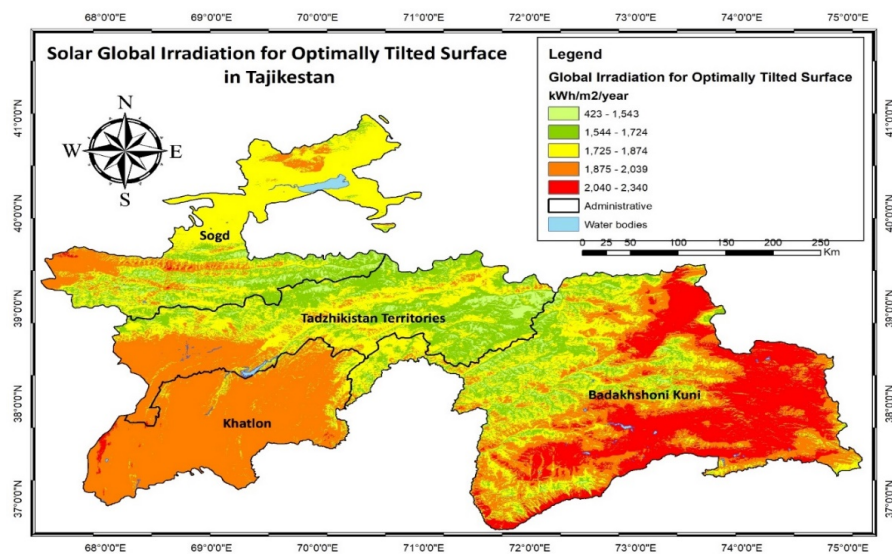


Fig. 1. Map of solar global irradiance to determine the optimal tilt of solar modules

Direct normal irradiation is the most important parameter for calculating the energy yield and evaluating the efficiency of concentrating solar energy (CSP) and solar photovoltaic (GHI) technologies. DNI is also important for calculating the global irradiance received by tilted or solar-tracking PV modules. The map (Fig. 2) provides a summary of the estimated solar energy available for power generation and other energy applications [4, 5].

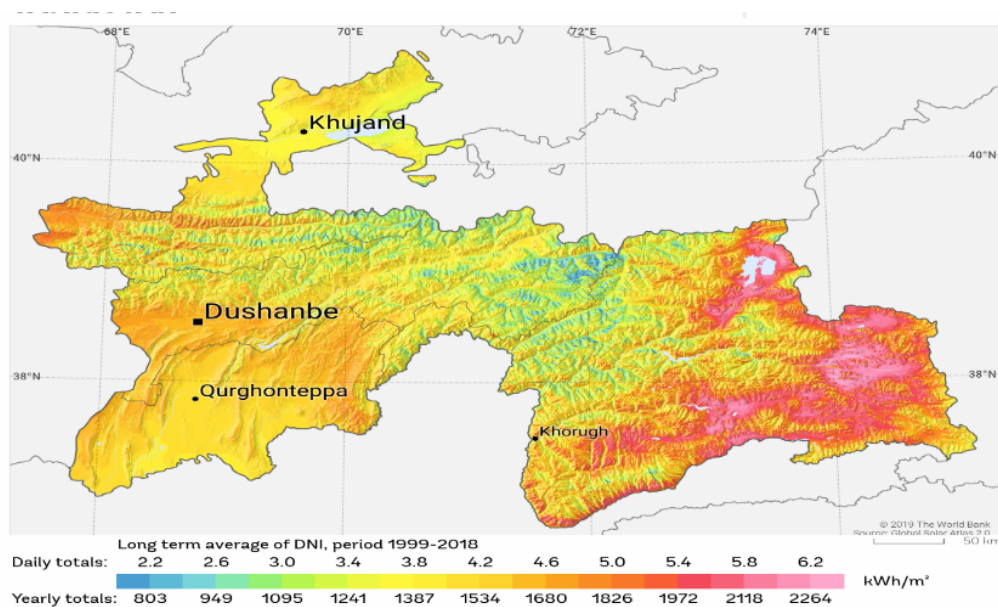


Fig. 2. Normal direct solar radiation on the territory of Tajikistan

Thus, the potential of solar energy in Tajikistan is very high and its use will be able

to provide uninterrupted electricity and heat supply to objects and settlements of the republic at any time of the year. But this requires energy programs both at the state and local levels. It is necessary to educate the public about the benefits of clean energy, using the media and special courses in educational institutions. For such a sunny republic as Tajikistan, there is a great need for solar energy specialists who could design, install and operate solar installations not only at the household level for individual use, but also for more energy-intensive facilities and enterprises. Using environmentally friendly solar energy, we will preserve the natural resources of the republic and create comfortable living conditions for the local population.

References

1. Кирпичникова, И. М. Перспективы использования возобновляемых источников энергии в республике Таджикистан / И. М. Кирпичникова, И. Б. Махсумов // Материалы X науч. конф. аспирантов и докторантов ЮУрГУ. – Челябинск, 2018.
2. Киргизов, А. К. Развитие и оптимизация режимов электроэнергетической системы с распределенными возобновляемыми источниками энергии методами искусственного интеллекта (на примере Республики Таджикистан) : автореф. дис ... канд. техн. наук / А. К. Киргизов. – Новосибирск : НГТУ, 2017. – 9 с.
3. Исмоилов, Ф. О. Комплексное использование возобновляемых источников энергии для электроснабжения автономных потребителей Республики Таджикистана : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ф. О. Исмоилов. – М. : МЭИ, 2012. – 38 с.
4. Кирпичникова, И. М. Методика оценки потенциала солнечной энергетики в Республике Таджикистан / И. М. Кирпичникова, И. Б. Махсумов, Ю. Нуроллахи // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2020. – № 3. – С. 25–34.
5. Global Solar Atlas. – Mode of access: <http://globalsolaratlas.info/downloads/Tajikistan>. – Date of access: 07.04.2018.

УДК 621.315.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В СИЛОВЫХ КАБЕЛЯХ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ МУФТАХ ДЛЯ ПОГРУЖНЫХ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ СИСТЕМ

Д. И. Зализный, Д. Г. Кроль, Ю. А. Рудченко, Д. В. Сучков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Исследовано влияние электрического поля на пробой кабельных муфт, применяемых в системах электроснабжения погружных насосов нефтедобывающих станций ОАО «Белоруснефть». Получены картины напряженности поля в кабельной муфте в продольном и поперечном направлениях.

Ключевые слова: нефтедобывающая станция, погружная система, силовой кабель, соединительная муфта, электрическое поле, пробой изоляции.

ANALYSIS OF THE ELECTRIC FIELD CHARACTERISTICS IN POWER CABLES AND CONNECTING COUPLINGS FOR SUBMERSIBLE OIL PRODUCING SYSTEMS

D. I. Zalizny, D. G. Krol, Yu. A. Rudchenko, D. V. Suchkov

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The influence of the electric field on the breakdown of cable boxes used in the power supply systems of submersible pumps at oil-producing stations of the Belorusneft has been studied. The pictures

of the field strength in the cable box in the longitudinal and transverse directions are obtained.

Keywords: oil producing station, submersible system, power cable, coupling, electric field, insulation breakdown.

В Республике Беларусь предприятиями ОАО «Белоруснефть» осуществляется добыча нефти в скважинах глубиной около 3 км. При этом периодически возникают нарушения в работе электрической части погружных систем, что приводит к остановке станции и соответственно к материальному ущербу для ОАО «Белоруснефть». Одними из самых распространенных видов отказов являются короткие замыкания в силовых кабелях вблизи соединительных муфт. Причины этих отказов точно не известны, и указанная проблема существует уже много лет.

В научной литературе постоянно рассматриваются результаты исследований по тематике отказов кабельных муфт. Так, в [1] основными причинами отказов соединительных муфт указаны ошибки персонала в процессе монтажа муфт и влияние частичных разрядов. В [2] предлагается применять слои усиливающей изоляции для снижения локальной напряженности поля в кабелях на напряжение 110 кВ.

В [3] приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований гармонического состава напряжений и токов в силовых кабелях погружных систем ОАО «Белоруснефть». Для обследуемой станции эти результаты показали, что существенных искажений кривых напряжений и токов, способных оказать критическое влияние на работу муфты, нет.

Цель исследований – определение уровня напряженности электрического поля вблизи соединительной муфты погружной системы нефтедобывающей станции и его влияния на целостность изоляции.

Схема электроснабжения погружных насосов нефтедобывающих станций ОАО «Белоруснефть» состоит из последовательно соединенных преобразователя частоты, частотного фильтра, трехфазного повышающего трансформатора, силового кабеля марки КПпБП-120 3х16, соединительной муфты и кабельного удлинителя, каждая жила которого заключена в свинцовый экран. Значение напряжения, подаваемого на силовой кабель, составляет около 1 кВ, частота напряжения может изменяться от 40 до 60 Гц. Нейтраль силового трансформатора изолирована от земли, а броня силового кабеля заземлена.

В лабораторных условиях кафедры «Электроснабжение» была собрана испытательная установка, состоящая из трех однофазных повышающих трансформаторов, соединенных в схему трехфазного трансформатора.

Трехфазная система напряжений с линейным значением около 2 кВ (в реальных условиях в скважине – около 1 кВ) подавалась на исследуемые образцы кабелей и соединительных муфт. Для измерения напряженности электрического поля применялся прибор ПЗ-50.

Получены следующие результаты измерений.

На поверхности заземленной брони напряженность электрического поля (далее – просто поля) составила около 0,1 кВ/м, т. е. практически отсутствовала.

Для исследования формы и значений поля внутри кабеля были выполнены измерения непосредственно на поверхности его изоляции при снятой броне.

Измерения выполнялись для кабелей марки КПпБП-120 3х16 двух разных производителей. Результаты измерений были практически одинаковыми для обоих кабелей. Характерная полученная картина поля вокруг кабеля показана на рис. 1.

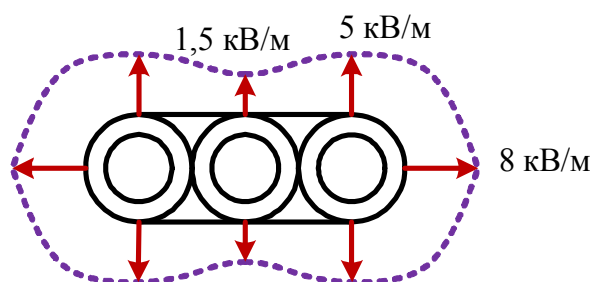


Рис. 1. Характерная картина электрического поля вблизи изоляции кабеля КПнБП-120 3 × 16

Поскольку кабель имеет плоское расположение жил, напряженность поля вокруг его изоляции неравномерна. Она минимальна в центре средней жилы и максимальна по краям кабеля. Абсолютные значения напряженности поля не превысили 11 кВ/м, что является пренебрежимо малым значением для новой изоляции из сополимера пропилена, нормируемая электрическая прочность которого составляет не менее 35000 кВ/м (35 кВ/мм).

Для исследований на кафедру «Электроснабжение» были предоставлены два образца отрезков мест соединения силового кабеля и кабельного удлинителя длиной около 60 см. Один образец был новым, а второй – после извлечения из скважины. Конструкция имеющихся образцов показана на рис. 2.

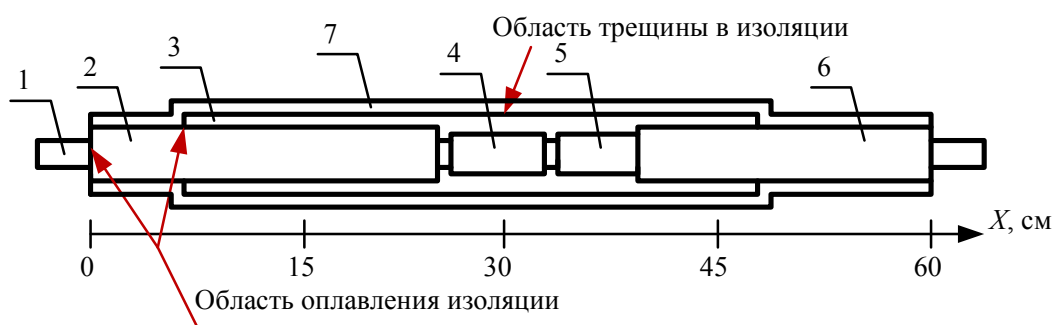


Рис. 2. Конструкция образца с соединительной муфтой:

- 1 – жила кабеля; 2 – изоляция жилы кабеля; 3 – изоляция соединительной муфты; 4 – соединительная гильза; 5 – изоляция кабельного удлинителя; 6 – броня на жилах кабельного удлинителя; 7 – поясная броня

Изоляция соединительной муфты состоит из двух слоев: фторопластовая лента (многослойная намотка) и стандартная ПВХ-изолянта (несколько слоев намотки).

При осмотре отработавшего образца выявлены следующие особенности: слой ПВХ-изолянта практически полностью разрушен; на фторопластовой изоляции в области соединительной гильзы на крайней жиле имеется сквозная трещина, а на других жилах – повреждения этой изоляции в той же области; в месте обрыва изоляции кабеля при переходе на соединительную гильзу изоляция намотана неравномерно; изоляция кабеля серьезно оплавлена, начиная с места окончания намотки фторопластовой ленты; в соединительной гильзе с одной стороны видно разуплотнение с проникшими туда загрязнениями.

С помощью прибора ПЗ-50 получены графики изменения напряженности поля вдоль оси X , показанной на рис. 2. Наибольшая напряженность поля наблюдалась при размещении оси диполя датчика электрического поля перпендикулярно оси муфты и вертикально вплотную к краю кабеля. Результаты измерений для данного случая приведены на рис. 3.

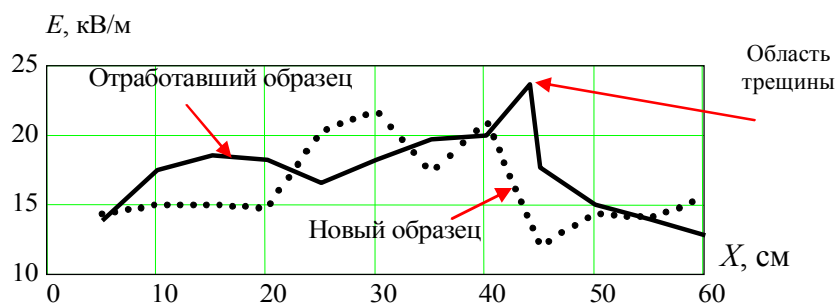


Рис. 3. График напряженности электрического поля вдоль места соединения силового кабеля и кабельного удлинителя

В процессе исследований выяснилось, что на результаты измерений существенно влияла толщина изоляции муфты, изменявшаяся неравномерно. По этой причине методическая погрешность измерений достаточно высока. Тем не менее выявлена тенденция некоторого повышения напряженности поля вблизи соединительной гильзы и максимального его значения в области обнаруженной трещины. Абсолютные значения напряженности поля крайне малы даже при испытательном напряжении 2 кВ. При напряжении 1 кВ, которое подается в реальных установках, естественно, значения напряженности поля снизятся приблизительно вдвое.

Таким образом, можно сделать следующие выводы: получены картины напряженности поля в кабельной муфте в продольном и поперечном направлениях (рис. 1 и 3). Обнаружены дефекты изоляции соединительной муфты кабельной линии после ее работы в нефтедобывающей скважине. Выявлено, что напряженность поля является сопутствующим фактором при развитии пробоев изоляции в кабельных муфтах. С целью определения главного фактора, влияющего на целостность изоляции, требуются дальнейшие исследования соединительных муфт по оценке влияния тепловых процессов, качества монтажа и внешней среды.

Литература

1. Кучерявая, И. Н. Причины выхода из строя муфт кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на среднее и высокое напряжение / И. Н. Кучерявая // Гидроэнергетика Украины. – 2017. – № 12. – С. 63–80.
2. Селезнев, Д. А. Применение резистивно-емкостного принципа регулирования электрического поля кабельных муфт на 110 кВ / Д. А. Селезнев, Г. В. Грешняков // Науч.-техн. ведомости СПбПУ. Естеств. и инженер. науки. – 2020. – Т. 26, № 1. – С. 5–14.
3. Влияние преобразователей частоты на изоляцию силовых кабелей нефтедобывающих станций / Д. И. Зализный [и др.] // Энергетика. Изв. вузов и энергет. об-ний СНГ. – 2011. – № 1. – С. 17–23.

УДК 621.311

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА «СТАТИСТИКА» КАК ИНСТРУМЕНТ
ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕТА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СО СЛОЖНО РАЗВЕТВЛЕННОЙ
СТРУКТУРОЙ**

К. Е. Коршунов, А. А. Капанский

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

В современных условиях высокоэффективная работа промышленных предприятий невозможна без использования сетевых информационных систем, позволяющих связать в единый согласованный механизм работу всех производственных служб. Развитие систем электронного документооборота и рост информационных потоков на предприятиях в последние годы способствовали развитию различных программных комплексов, позволяющих решать ежедневные прикладные задачи. Однако программы, отвечающие потребностям инженерных служб, должны не только решать локальные задачи, но и интегрироваться в информационную инфраструктуру предприятия и иметь возможность взаимодействия с электронными ресурсами государственных органов и служб в части предоставления отчетности.

Ключевые слова: аналитическая система, инновационная экономика, предприятие, ведение учета.

**ANALYTICAL SYSTEM «STATISTICS» AS A TOOL
FOR ORGANIZING ENERGY CONSUMPTION ACCOUNTING
AT ENTERPRISES WITH A COMPLEX-BRANCHED STRUCTURE**

K. E. Korshunov, A. A. Kapanski

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

In modern conditions, the highly-efficient proceed of industrial enterprises doesn't seem without us age of network information systems, which make it possible to bind performance of all production services into a solid coordinated mechanism. In recent years the development of electronic document management systems and the growth of information flows in enterprises have contributed to the development of various software systems that allow solving daily applied objectives. However, the software that meet the demands of engineering services should not only solve local problems, but also been integrated into enterprise's information infrastructure and be enable to interact with the information resources of state services in the reporting field.

Keywords: analytical system, innovative economy, enterprise, keeping records.

Создание инновационной экономики не представляется возможным без повсеместного использования информационных систем на основе программно-аппаратных комплексов. Для решения прикладных задач учета энергопотребления в промышленности наблюдается тенденция развития электронного управления, происходит внедрение CAD-систем и CALS-технологий, систем распознавания и обработки данных на основе облачных технологий.

Повышение эффективности производственных процессов достигается внедрением системы менеджмента качества ISO 9001, а для решения технических задач в области контроля, управления и сбережения энергоресурсов – системы энергетического менеджмента. Совершенствование нормативно-правовой базы, переход на электронный документооборот, расширение спектра затрагиваемых вопросов, учи-

36 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

тывающих финансовые, операционные, организационные и технологические изменения, предполагает постепенный пересмотр традиционных способов взаимодействия структурных подразделений.

Организационные преобразования процессов управления промышленных предприятий в сфере решения технических задач требуют реализации и внедрения системного подхода, объединяющего в единый механизм работу различных структурных подразделений. Формирование единой структуры взаимодействия отдельных элементов системы является длительным и сложным процессом. Очевидно, что такой процесс, предусматривающий модернизацию инженерной инфраструктуры на предприятиях путем перехода к формированию комплекса «Новая индустрия 2040», заложенного в базовых понятиях Стратегии «Наука и технологии 2018–2040», невозможен без использования программных комплексов, идентифицирующих отдельные предприятия, организации или их структуры в виде некоторого моделируемого класса.

Для организаций, имеющих разветвленную структуру подразделений, филиалов и дочерних предприятий, процесс составления сводной отчетности должен учитывать их юридическую принадлежность, а также принятую систему взаимных расчетов. При формировании отчетов по всей структуре предприятия и обработке большого объема данных ответственным специалистам легко допустить ошибку при проведении расчетов или при группировке многочисленных пунктов таблиц и ячеек. Для качественного выполнения целого комплекса задач учета энергопотребления на предприятиях, имеющих сложную, разветвленную структуру, предложена модель информационного обмена, представленная на рис. 1.

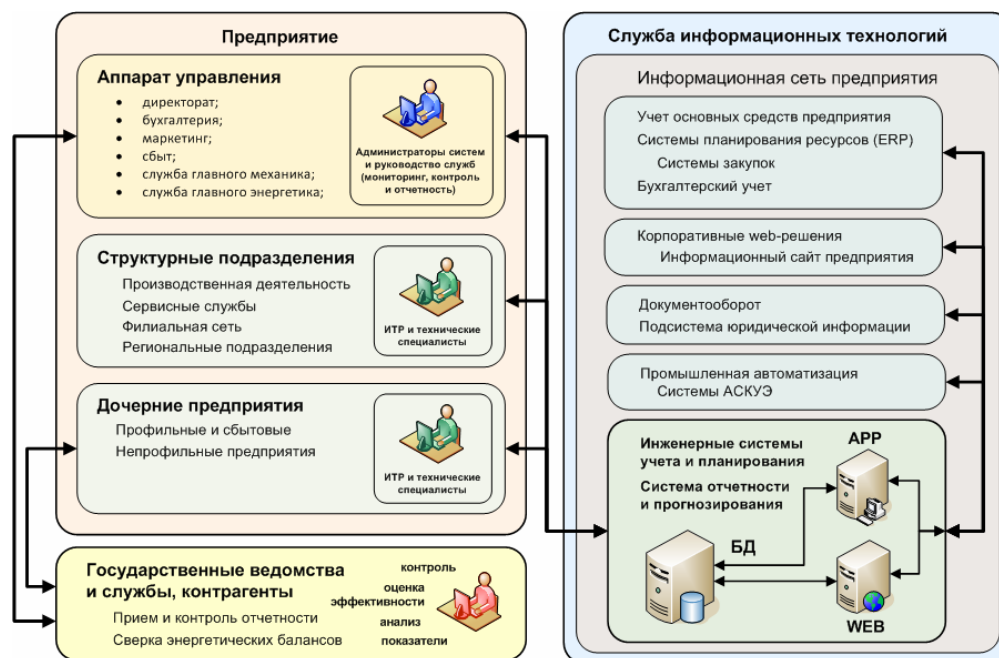


Рис. 1. Принципиальная схема информационного обмена

Одним из важнейших элементов приведенной на рис. 1 структуры является разрабатываемая аналитическая система (АС) «Статистика», служащая для целого комплекса актуальных задач, позволяющих повысить уровень энергоуправления, а именно:

- заполнение и проверка статистических, ведомственных и отраслевых отчетов;
- централизованный сбор и контроль данных (отчетов);
- автоматизированное формирование сводной отчетности предприятия;
- ведение учета потребления ТЭР по направлениям (на производство продукции, выполняемые работы/услуги);
- ведение журнала теплотворных способностей по видам потребляемого топлива;
- ежемесячный учет выработки/генерации тепловой и электрической энергии;
- сверка балансов отпуска/поставок ТЭР.

В аналитической системе «Статистика» реализуется общий принцип проверки достоверности данных. Пользователи выбирают отчетный период, вводят данные и подписывают их внутренней подписью системы. Далее данные проверяются «администраторами» АС. Если не были выявлены ошибки, данные считаются действительными, в противном случае производится «разблокировка данных» и отчет корректируется пользователями.

Таким образом, разрабатываемый программный комплекс является оптимальным с позиции степени сложности, удобства использования и качества. Внутренняя логика аналитической системы за счет проработанной архитектуры позволяет гибко описывать сложные производственные структуры и их связь с итоговыми статистическими отчетами. В условиях информационного развития промышленного и энергетического сектора Республики Беларусь и Российской Федерации авторы видят единственно правильным решением создание общей программно-информационной платформы на предприятии с возможностью интеграции различных программных модулей, которые позволят эффективно работать с ежегодно растущим потоком информации и учитывать изменение организационных и научно-методических подходов при решении инженерно-технических задач.

Л и т е р а т у р а

1. Коршунов, Е. А. Программные средства для информатизации вспомогательных производственных процессов инженерно-технических служб предприятия / Е. А. Коршунов, А. С. Фиков, А. А. Капанский // Энергоэффективность. – 2020. – № 4. – С. 18–21.
2. Патапенко, Д. Н. Автоматизация сбора и контроля данных периодической отчетности с помощью специализированного программного обеспечения / Д. Н. Патапенко, Е. А. Коршунов, А. А. Капанский // Энергоэффективность. – 2020. – № 9. – С. 30–32.
3. Грунтович, Н. В. Экспертные системы управления энергоэффективностью и энергетической безопасностью / Н. В. Грунтович // Энергоэффективность. – 2014. – № 4. – С. 26–30.
4. Karanski, A. Optimize the cost of paying for electricity in the water supply system by using accumulating tanks / A. Karanski, N. Hruntovich, S. Bakhur // EDV Sciences : In E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 178. – P. 01065.
5. Грачева, Е. И. Анализ и оценка экономии электроэнергии в системах внутриводского электроснабжения / Е. И. Грачева, А. Н. Горлов, З. М. Шакурова // Изв. высших учеб. заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22 (2). – С. 65–74. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-2-65-74>
6. Грачева, Е. И. Применение аналитического метода расчета надежности элементов систем электроснабжения на основе вероятностных моделей / Е. И. Грачева, А. Р. Сафин, Р. Р. Садыков // Надежность и безопасность энергетики. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 48–52.
7. Fedorov, O. V. Expeditious forecasting of power consumption / O. V. Fedorov // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. – 2017. – С. 1–4.

УДК 622.691.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СУТОЧНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ
ГАЗА ПО БАЛАНСОВОЙ ПОДГРУППЕ МИНИСТЕРСТВА
ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
ГАЗОСНАБЖЕНИЯ**

М. П. Малашенко

РУП «Белинвестэнергосбережение», г. Минск, Республика Беларусь

С. Г. Жуковец, В. А. Панасик, Ю. В. Гончаренко

Учреждение образования Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Изложены результаты исследования структуры суточного потребления газа за пятилетний период предприятий Министерства промышленности Региональной системы газоснабжения. Определен вид структурного поля «суточный расход газа – среднесуточная температура наружного воздуха» и схожесть вида полей за шестилетний период. Разработаны модели $b_{сут} = F(t_{сут})$ областей для включенного и отключенного состояния системы отопления.

Ключевые слова: структурное поле, потребление газа, промышленные предприятия, моделирование, прогнозирование.

**STUDY OF THE STRUCTURE OF DAILY GAS CONSUMPTION
FOR THE BALANCE SUB-GROUP OF THE MINISTRY
OF INDUSTRY REGIONAL GAS SUPPLY SYSTEM**

M. P. Malashenko

RUE “Belinvestenergoberezhnie”, Minsk, the Republic of Belarus

S. G. Zhukovets, V. A. Panasik, Y. V. Hancharenka

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The results of a study of the structure of daily gas consumption over a five-year period of enterprises of the Ministry of Industry of the regional gas supply system are presented. The type of the structural field daily gas flow rate-average daily temperature of the outside air and the similarity of the type of fields over a six-year period are determined. Models $b_{day} = F(t_{day})$ of the areas of the switched on and off states of the heating system were developed.

Keywords: structural field, gas consumption, industrial enterprises, modeling, forecasting.

Подгруппа Министерства промышленности (далее – «Минпром»), входящая в состав укрупненной балансовой группы «Промышленность» Региональной системы газоснабжения (РСГС), включает в свой состав 27 промышленных предприятий. На долю потребления газа подгруппы «Минпром» приходится от 34 до 40 % потребления газа в группе «Промышленность». Для подгруппы «Минпром» было установлено, что коэффициент корреляции между суточным потреблением газа и среднесуточной температурой наружного воздуха « $b_{сут} - t_{сут}$ » имеет такие значения за шестилетний период (табл. 1), которые указывают на средний характер взаимосвязи между исследуемыми признаками.

Коэффициенты корреляции между среднесуточной температурой наружного воздуха и суточным потреблением газа подгруппы «Минпром»

Подгруппа укрупненной балансовой группы «Промышленность» РСГС	Коэффициенты корреляции между суточным потреблением газа и среднесуточной температурой наружного воздуха, $R(b_{сут} - t_{сут})$					
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Подгруппа «Минпром»	-0,76	-0,77	-0,64	-0,39	-0,63	-0,67

Для построения полей « $b_{сут} - t_{сут}$ » среднесуточная температура наружного воздуха пересчитана в градусы по Кельвину, что позволило уйти от отрицательных значений температур, и далее отнормирована относительно нулевого значения в К, что позволило перейти к относительным значениям температуры. Суточные значения объема потребления газа также представлены в относительных единицах. За базисное значение суточного расхода газа по подгруппе «Минпром» принято среднесуточное значение на годовом интервале времени. В результате появилась возможность проводить анализ и сравнение структурных полей « $b_{сут} - t_{сут}$ » по различным укрупненным балансовым группам Гомельской РСГС, а также сохранять конфиденциальность информации.

Поле « $b_{сут} - t_{сут}$ » для подгруппы «Минпром» представлено на рис. 1.

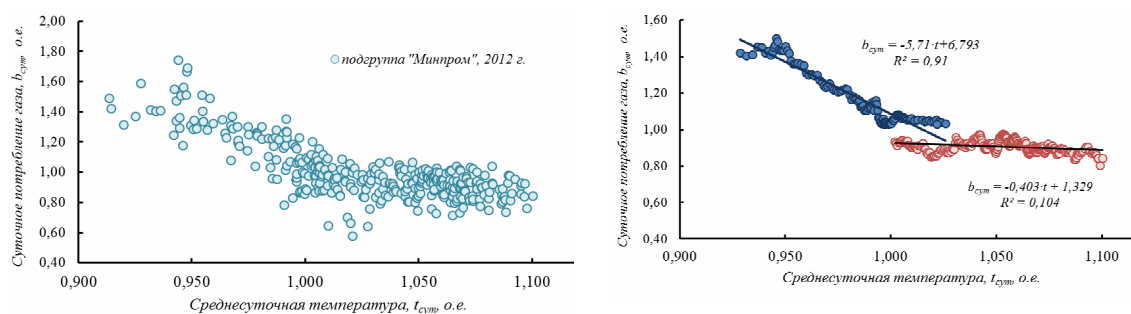


Рис. 1. Структурное поле « $b_{сут} - t_{сут}$ » балансовой подгруппы Министерства промышленности за 2012 г.

Полученные структурные поля сточного расхода газа от среднесуточной температуры наружного воздуха по подгруппе «Минпром» можно отнести к однородному виду без четкого расслоения на две области, соответствующие включенному или отключенному состоянию системы отопления. Установлена зависимость роста суточного потребления газа при снижении температуры наружного воздуха, но при значительном вертикальном разбросе $b_{сут}$, соответствующих одному и тому же значению температуры наружного воздуха. В табл. 2 представлены характеристики моделей, описывающих структурные поля « $b_{сут} - t_{сут}$ » подгруппы «Минпром» за шестилетний период.

Анализ результатов моделирования позволил установить следующие закономерности:

– для моделей области включенного состояния системы отопления (отрицательные температуры наружного воздуха) коэффициент детерминации R^2 высокий и находится в пределах 0,91–0,95. В тоже самое время коэффициент детерминации для моделей летнего периода очень низкий: $R^2 = 0,002 \div 0,104$, что объяснимо только зна-

40 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

чительным разбросом суточного потребления газа $b_{сут}$, не зависящего от температуры наружного воздуха (система отопления отключена, суточный расход формирует только технологическая составляющая, активно ведутся ремонтные работы);

– сезонный коэффициент «а», характеризующий крутизну модели при снижении температуры наружного воздуха для области отопительного периода, неустойчив и находится в диапазоне от 3,68 до –13,79, так как «теплые» зимы периодически чередуются с «холодными» зимами. Поэтому в более суровые зимы сезонный коэффициент более высокий. Это 2014, 2016, 2017 гг.;

– сезонный коэффициент «а» для области отключенного состояния системы отопления очень мал и находится в диапазоне от –0,279 до –0,465, что может объясняться значительным разбросом $b_{сут}$, относительно среднесуточного потребления газа за период. Однако в целом зависимость роста потребления газа при снижении температуры наружного воздуха подтверждается отрицательным значением сезонного коэффициента «а».

– если условно-постоянная расхода газа в отопительном периоде соизмерима со значением сезонного коэффициента «а», то в области отключенного состояния системы отопления условно-постоянная составляющая, не зависящая от температуры наружного воздуха, в 3–4 раза превышает значение сезонного коэффициента.

Схожесть вида структурных полей « $b_{сут} - t_{сут}$ » подгруппы «Минпром» за различные годы проводилось с помощью коэффициентов корреляции между рядами значений $b_{сут}$. Установлен средний характер связи между данными $b_{сут}$ за различные годы, что позволяет сделать заключение о схожести вида структурных полей (табл. 3).

Таблица 2

Результаты построения моделей суточного расхода газа от среднесуточной температуры наружного воздуха для подгруппы «Минпром»

Год	Отопительный период $b_{сут} = -at + b_{усл.-пост}$			Система отопления отключена $b_{сут} = -at + b_{усл.-пост}$		
	Вид уравнения	Сезонный коэффициент а	Условно-постоянная, не зависящая от температуры $b_{усл.-пост}$	Вид уравнения	Сезонный коэффициент а	Условно-постоянная, не зависящая от температуры $b_{усл.-пост}$
2012	$b_{сут} = -5,71 \cdot t + 6,793$ $R^2 = 0,91$	-5,71	6,793	$b_{сут} = -0,403 \cdot t + 1,329$ $R^2 = 0,104$	-0,403	1,329
2013	$b_{сут} = -7,02 \cdot t + 8,2$ $R^2 = 0,901$	-7,02	8,2	$b_{сут} = -0,329 \cdot t + 1,22$ $R^2 = 0,04$	-0,329	1,22
2014	$b_{сут} = -11,242 \cdot t + 12,229$ $R^2 = 0,925$	-11,24	12,23	$b_{сут} = -0,275 \cdot t + 1,208$ $R^2 = 0,059$	-0,275	1,208
2015	$b_{сут} = -3,68 \cdot t + 4,78$ $R^2 = 0,632$	-3,68	4,78	$b_{сут} = -0,369 \cdot t + 1,374$ $R^2 = 0,068$	-0,369	1,374
2016	$b_{сут} = -13,794 \cdot t + 14,751$ $R^2 = 0,918$	-13,79	14,75	$b_{сут} = 0,054 \cdot t + 0,87$ $R^2 = 0,002$	0,054	0,87
2017	$b_{сут} = -10,73 \cdot t + 11,73$ $R^2 = 0,95$	-10,73	11,73	$b_{сут} = -0,465 \cdot t + 1,415$ $R^2 = 0,068$	-0,465	1,415

**Результаты оценки схожести вида структурных полей
« $b_{сут} - t_{сут}$ » подгруппы Министерства промышленности за пятилетний период**

Подгруппа «Минпром»	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
2012 г.	1	0,7087	0,6877	0,44143	0,60912
2013 г.		1	0,6407	0,44275	0,63043
2014 г.			1	0,49634	0,59296
2015 г.				1	0,39619
2016 г.					1
2017 г.					

В целом анализ структурных полей суточного расхода газа для подгруппы «Минпром» указывает на необходимость учета не только температурного фактора при прогнозировании расхода газа, но и других факторов, связанных с промышленным производством, таких как объем выпуска продукции, состав сырья, старение технологического оборудования и др.

Литература

1. Мороз, Д. Р. Региональная система газоснабжения с позиций системного анализа и закономерности ее функционирования / Д. Р. Мороз, Н. В. Грунтович // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ. – 2018. – Т. 61, № 4. – С. 359–371. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-4-359-371>
2. The study of structural fields of daily gas consumption of the balance groups of the regional gas supply system // D. Moroz [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 178. – P. 01066. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017801066> HSTED-2020

УДК 622.691.5

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ГАЗОВОГО ПЕЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

М. П. Малашенко,

РУП «Белинвестэнергосбережение», г. Минск, Республика Беларусь

Т. В. Алфёрова, С. Г. Жуковец, В. А. Панасик

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Сформирована информационная база данных по газовому печному оборудованию группы промышленных предприятий, выполнен анализ технологических показателей. Произведена оценка потенциала замещения природного газа электрической энергией печного оборудования при учете КПД исследуемых печей, их загрузки, износа, года ввода печей в эксплуатацию.

Ключевые слова: интеграция, атомная станция, электрические нагрузки, газовые печи, система показателей, износ оборудования, замещение газа.

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL INDICATORS OF GAS FURNACE EQUIPMENT

M. P. Malashenko

RUE "Belinvestenergoberezhnie", Minsk, the Republic of Belarus

T. V. Alferova, S. G. Zhukovets, V. A. Panasik

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

An information database on gas furnace equipment of a group of industrial enterprises has been formed, and an analysis of technological indicators has been carried out. An assessment was made of the potential for replacing natural gas with electric energy of furnace equipment, taking into account the efficiency of the furnaces under study, their load, wear, and the year the furnaces were put into operation.

Keywords: integration, nuclear plant, electric loads, gas furnaces, measurement system, equipment wear, gas substitution.

С вводом в эксплуатацию БелАЭС возникнет проблема ее эффективной режимной интеграции в баланс энергосистемы (без снижения экономичности и надежности функционирования энергосистемы республики) главным образом в части прохождения ночных провалов нагрузок. Для обеспечения эффективной интеграции АЭС в энергосистему требуется реализация следующих задач:

- увеличение потребления электрической энергии в отраслях экономики и населением;
- выравнивание суточного графика потребления электрической энергии.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 1 марта 2016 г. № 169 утвержден Комплексный план развития электроэнергетической сферы до 2025 г. с учетом ввода Белорусской атомной электростанции. Прямое преобразование электрической энергии в тепловую экономически невыгодно. Поэтому необходимо искать новые пути, методы, технологии, позволяющие снижать потребление импортируемого углеводородного топлива, повышать конкурентность нашей продукции и максимально использовать в технологических процессах электрическую энергию.

Одним из таких направлений является поэтапный переход от технологий, где используется природный газ, – термообработка металла, гальваническое производство, на технологии с использованием электрической энергии.

Произведена оценка потенциала замещения природного газа электрической энергией печного оборудования, что обусловлено необходимостью промышленных потребителей, использующих газовое печное оборудование, ежегодно формировать заявку на природный газ, оценивать и прогнозировать свою энергетическую эффективность в условиях изменения множества факторов, таких как объемы производства продукции, изменение качества сырья, изменение температуры наружного воздуха, выгорание футеровки печного оборудования, внедрение мероприятий по энергосбережению, рост тарифов на природный газ и другие факторы.

Первоначально все печное оборудование (информация по подчиненности) закодировано по принадлежности к предприятию и по региону Беларуси. Для рассмотрения оборудования приняты 10 основных показателей, характеризующих участие в технологическом процессе (далее – техпроцесс) печного оборудования: код предприятия; наименование техпроцесса; марка печи; сменность ее работы; количество технологических циклов в неделю; состав средней партии обрабатываемых деталей;

Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика 43

обрабатываемые заготовки; количество обработанных в 2020 г. деталей; использовано природного газа, млн. м³; удельный расход газа на тонну продукции в 2020 г., кг у. т./т.

Принято 12 показателей, характеризующих состояние термической газовой печи: тип печи; марка печи; мощность печи, кВт; коэффициент полезного действия (КПД) печи, %; фактическая годовая загрузка печи, %; тип футеровки печи; тип горелки; количество горелок, шт.; наличие автоматики техпроцесса; уровень износа печи, %; год ввода печи в эксплуатацию; год проведения капитального ремонта или модернизации.

Рассмотрим основные показатели газового печного оборудования (ПП). На рис. 1 представлена диаграмма КПД газовых печей. Как видно из диаграммы, 34 печи (или 40,4 %) работают с КПД от 50 до 90 %, и 23 печи (27,4 %) работают с КПД от 30 % до 50 % и еще 23 печи имеют КПД от 10 до 30 %. По сведениям технологов предприятий, 41 % печного оборудования имеет загрузку свыше 90 %, и 43 % печного оборудования загружено от 50 до 90 % (рис. 2). Анализ степени износа газовых печей показал, что 38 % выборки имеет степень износа свыше 50 % (рис. 3). Данное печное оборудование должно рассматриваться, в первую очередь, как объект реконструкции или полной замены (если позволяет технология) на электрические печи. Из диаграммы 4 видно, что 57 % газовых печей вводилось в эксплуатацию до 90-х гг. прошлого столетия. То есть данное оборудование однозначно не является энергоэффективным.

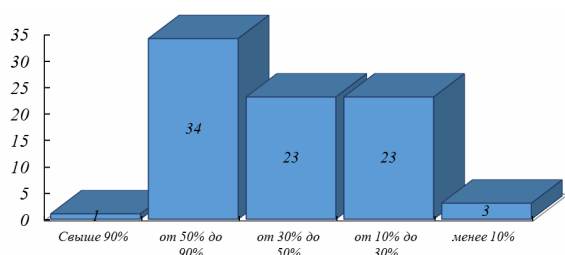


Рис. 1. КПД газовых печей исследуемой группы предприятий

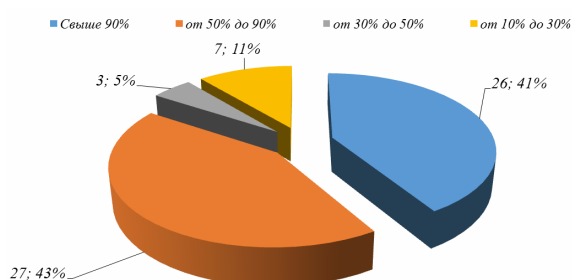


Рис. 2. Загрузка газовых печей

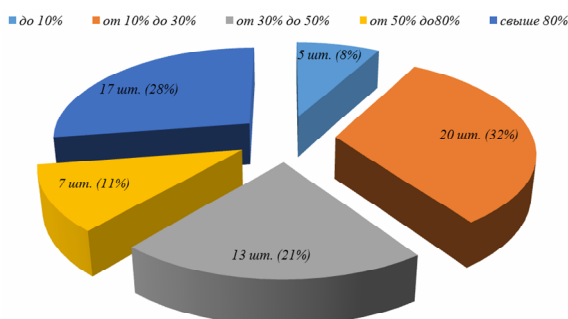


Рис. 3. Износ газовых печей

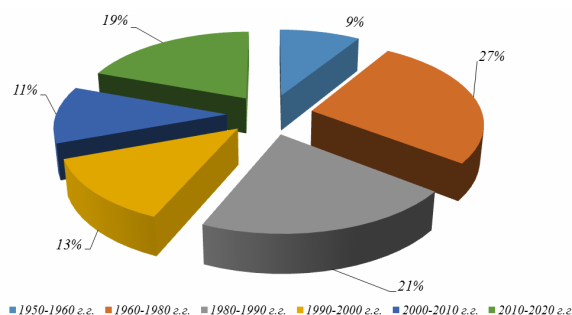


Рис. 4. Год ввода печей в эксплуатацию

44 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

Исходя из приведенной структуры износа, КПД, года выпуска газовых печей, можно сказать, что она является характерной для всех газовых печей в секторах металлургии и машиностроения для Республики Беларусь в целом. Согласно аналитическим данным, суммарное потребление природного газа для технологических целей (а это как раз только печное оборудование) составило 260000 т у. т. за 2020 г. Таким образом, возможно оценочно определить мощность электрических печей, которые заместят газовые. Также с учетом сформированной базы данных по 12 показателям, характеризующим состояние термической газовой печи, возможно определить приоритетность и очередность их замены на электрические.

Для определения основных показателей в расчете принят годовой фонд рабочего времени 4000 ч/год, удельный расход условного топлива на производство электрической энергии – 280 г у. т./кВт · ч, КПД электрических печей – в 2 раза выше, чем КПД заменяемых газовых печей.

Результаты укрупненного расчета возможных к замене печей и приоритетности по годам приведены в таблице.

Результаты укрупненного расчета возможных к замене печей и приоритетности по годам

Период ввода, год	Доля замены, %	Потребление природного газа, т у. т./год	Потребление электрической энергии после замещения, тыс. кВт · ч/год	Расчетная установленная мощность, МВт
1	3,6	9286	16582	4,15
2	8,3	21667	38690	9,67
3	15,5	40238	71854	17,96
4	23,8	61905	110544	27,64
5	1,2	3095	5527	1,38
<i>Итого</i>	–	136190	243197	60,80

Таким образом, перспективной замене подлежит 52,4 % парка газового печного оборудования, при этом объем сокращения импортируемого природного газа составит 136,2 тыс. т у. т., объем увеличения потребления электрической энергии – 243,2 млн кВт · ч, суммарная установленная мощность – 60,8 МВт.

УДК 622.691.5

ИНТЕГРАЦИЯ БелАЭС В ОБЪЕДИНЕННУЮ ЭНЕРГОСИСТЕМУ И ПОТРЕБЛЕНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРЕДПРИЯТИЯМИ МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ

М. П. Малащенко

РУП «Белинвестэнергосбережение», г. Минск, Республика Беларусь

Интеграция АЭС во многом изменит структуру баланса электрических мощностей ОЭС Беларуси. Если проблема регулирования суточного графика нагрузок особенно остро встает в отопительный период, то с вводом АЭС мощностью 2400 МВт проблема суточного регулирования будет наблюдаться и в межотопительный период. Приводятся допол-

нительные мероприятия по регулированию суточного графика ОЭС Беларуси. Предлагается поэтапный переход от технологий, где используется природный газ, на технологии с использованием электрической энергии.

Ключевые слова: энергосистема, график нагрузки, регулирование, замещение газа, технологическое оборудование.

INTEGRATION OF BELNPP INTO IPS AND CONSUMPTION OF NATURAL GAS BY ENTERPRISES OF THE MINISTRY OF INDUSTRY FOR TECHNOLOGICAL PURPOSES

M. P. Malashenko

RUE “Belinvestenergoberezhnie”, Minsk, the Republic of Belarus

The integration of NPPs will largely change the structure of the balance of electric capacities of the IPS of Belarus. If the problem of regulating the daily load schedule becomes particularly acute during the heating period, then with the commissioning of a 2400 MW nuclear power plant, the problem of daily regulation will also be observed in the non-heating period. Additional measures are given to regulate the daily schedule of the IPS of Belarus. It is proposed to phase out technologies that use natural gas to technologies using electrical energy.

Keywords: power system, load schedule, regulation, gas replacement, technological equipment.

На стадии принятия решения о целесообразности строительства Белорусской атомной электростанции (далее – БелАЭС) принимались прогнозные объемы потребления электроэнергии в республике в 2020 г. в объеме 47 млрд кВт · ч в год, определенные с учетом прогнозируемого роста экономики республики. Максимум электропотребления планировался на уровне 8970 МВт.

При таких условиях были спрогнозированы графики нагрузки энергосистемы и определена требуемая установленная мощность генерирующих источников по среднему уровню 11900 МВт, а по максимальному – 12960 МВт. Исходя из полученных прогнозных показателей, определялась структура генерирующих мощностей в энергосистеме с учетом сооружения БелАЭС.

Величина использования установленной мощности определяется в основном уровнем потребления электрической и тепловой энергии. До ввода в эксплуатацию БелАЭС коэффициент неравномерности суточного графика нагрузки составлял около 0,61–0,64. Конфигурация суточных графиков нагрузки изменяется в зависимости от времени года.

Одной из основных проблем обеспечения баланса мощностей Объединенной энергосистемы (ОЭС) Беларуси является прохождение ночных минимумов нагрузок в отопительный период. Это вызвано тем, что значительную долю (50 %) в структуре графика покрытия максимального электропотребления в этот период составляют теплоэлектроцентрали (ТЭЦ).

В связи с тем, что регулировочного диапазона конденсационных электрических станций (КЭС) недостаточно, к регулированию нагрузки в ночные часы подключаются все ТЭЦ, разгружаясь ниже теплового графика вплоть до технического минимума.

Обеспечение баланса электрических мощностей ОЭС Беларуси в ночные часы отопительного периода с учетом ввода белорусской АЭС без реализации дополнительных технических мероприятий потребует останова всех конденсационных энергоблоков, а в отдельные периоды и ряда теплофикационных. Такая мера по условию надежности и безопасности работы электростанций не может быть принята, поэтому

46 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

для потребления избытков электроэнергии должны применяться методы регулирования в сочетании с тарифной политикой.

Интеграция АЭС во многом изменит структуру баланса электрических мощностей ОЭС Беларуси. Так, значительно сократится доля конденсационных энергоисточников. Если в 2019 г. их доля в структуре покрытия максимума электропотребления составляла около 31 %, то с полным вводом БелАЭС в эксплуатацию данная величина составит около 17 %. Данное обстоятельство негативно скажется на возможности обеспечения баланса электрических мощностей ОЭС Беларуси в ночные часы. До 2020 г. за счет конденсационных энергоисточников обеспечивается около 57 % необходимого регулировочного диапазона ОЭС Беларуси, а с вводом АЭС данная величина составит не более 30 %.

При этом, если в настоящее время проблема регулирования суточного графика нагрузок особенно остро встает в отопительный период, когда в структуре баланса электрических мощностей высока доля ТЭЦ, обладающих меньшим регулировочным диапазоном по сравнению с КЭС, то с вводом АЭС мощностью 2400 МВт, существенно увеличивающей базовую составляющую графика нагрузок энергосистемы, проблема суточного регулирования будет наблюдаться и в межотопительный период.

Небаланс электрических мощностей при этом в ночные часы отопительного периода будет составлять до 1100 МВт (рис. 1), межотопительного – до 750 МВт.

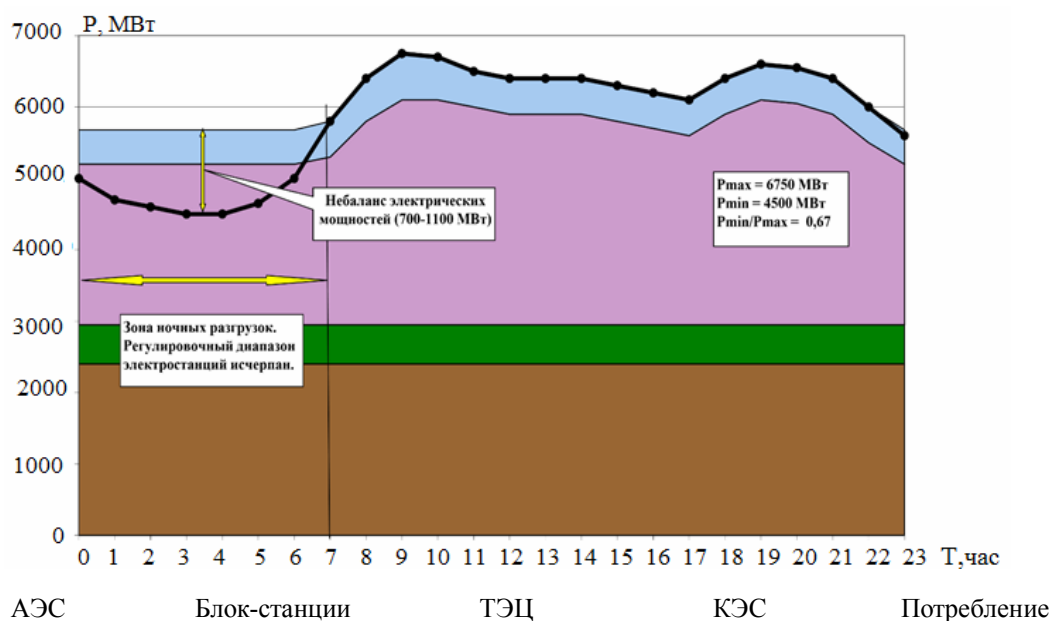


Рис. 1. Типовой (прогнозный) график покрытия электропотребления ОЭС Беларуси в зимний рабочий день 2022 г.

Без реализации дополнительных организационных и технических мероприятий обеспечение баланса электрических мощностей в ночные часы после ввода БелАЭС без отключения генерирующих единиц будет невозможно. Определены дополнительные мероприятия по регулированию суточного графика: применение электрокотельных для выработки тепловой энергии в ночные часы отопительного периода; организация теплоснабжения вновь вводимых жилых районов за счет электрифицированного обогрева; использование пиковых газовых турбин; применение для потребительских блок-станций дифференцированного по зонам суток тарифа на элек-

троэнергию; полномасштабный перевод всех потребителей на дифференцированный по зонам суток тариф на электроэнергию; увеличение потребления электрической энергии в реальном секторе экономики.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 1 марта 2016 г. № 169 утвержден Комплексный план развития электроэнергетической сферы до 2025 г. с учетом ввода Белорусской атомной электростанции. План направлен на обеспечение технической возможности интеграции БелАЭС в энергосистему страны. Указанным Постановлением утвержден Межотраслевой комплекс мер по увеличению потребления электрической энергии до 2025 г., который предусматривает модернизацию, реконструкцию, строительство новых объектов и предприятий реального сектора экономики посредством 148 проектов, которые позволят увеличить электропотребление на 2,8 млрд кВт · ч. Данным Постановлением предусматривается также ввод в эксплуатацию электрокотлов суммарной установленной электрической мощностью 1200 МВт на крупных ТЭЦ и КЭС, строительство пиково-резервных энергоисточников электрической мощностью 800 МВт.

Необходимо отметить, что Комплекс предусматривает перечень конкретных организаций с конкретным увеличением потребления электрической энергии (ЭЭ) и датой реализации проекта. Вместе с тем в комплексе не рассмотрены новые технологии (в том числе и действующие), которые экономически целесообразно внедрять как для интеграции БелАЭС, так и для реального сектора экономики.

Одним из таких направлений является поэтапный переход от технологий, где используется природный газ, на технологии с использованием электрической энергии.

Потребление природного газа Министерства промышленности, как в целом по предприятиям, так и по сектору «непосредственно в качестве топлива», характеризуется устойчивой постоянностью/равномерностью по годам и по данным Белстата [1] за 2016–2020 гг. составляет 442,1–489,9 млн м³, в том числе непосредственно в качестве топлива – 254–273 млн м³, что свидетельствует о наличии постоянного потребителя энергоресурсов в указанном сегменте и необходимости рассмотрения проблемы замещения импортируемого природного газа собственными энергоресурсами – ЭЭ.

Таким образом, мотивацией к проведению оценки структуры печного оборудования Министерства промышленности Республики Беларусь по основным показателям их функционирования является решение комплекса государственных задач:

1. Интеграция БелАЭС в энергосистему с применением современных технологий, позволяющих повысить конкурентоспособность реального сектора экономики.

2. Сокращение республикой потребления импортируемого природного газа, нестабильного в стратегической перспективе по цене энергоресурса.

3. Плановая (экономически обоснованная) замена существующих газовых печей на электрические с учетом повышения качества конечной продукции, сокращения времени технологического процесса.

Л и т е р а т у р а

1. Энергетический баланс Республики Беларусь : стат. сб. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2021. – 178 с.

УДК 620.9-62-93

**ИССЛЕДОВАНИЯ СУТОЧНЫХ РЕЖИМОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ГАЗА
УКРУПНЕННОЙ БАЛАНСОВОЙ ГРУППЫ «ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»
РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ**

Н. В. Грунтович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Д. Р. Мороз

Министерство энергетики Республики Беларусь, г. Минск

Исследования суточных режимов потребления газа выполнены на основе структурных полей «суточный расход газа – среднесуточная температура наружного воздуха» для группы «Промышленность». Установлен устойчивый вид структурных полей с низкой зависимостью роста суточного потребления газа при снижении температуры наружного воздуха при значительном вертикальном разбросе $b_{сут}$, соответствующих одному и тому же значению температуры наружного воздуха. Структурное поле имеет область низкого потребления газа, что определяется снижением загрузки технологического оборудования, или выводом его в ремонт. Разработаны модели суточного расхода газа от температуры наружного воздуха.

Ключевые слова: структурное поле, режим, потребление газа, сезонный коэффициент, условно-постоянная составляющая, моделирование.

**STUDY OF DAILY REGIMES OF GAS CONSUMPTION
OF THE ENHANCED BALANCE GROUP “INDUSTRY”
OF THE REGIONAL GAS SUPPLY SYSTEM**

N. V. Hruntovich

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

D. R. Moroz

Ministry of Energy of the Republic of Belarus

Studies of daily gas consumption regimes were carried out on the basis of the structural fields “daily gas consumption – average daily outdoor temperature” for the industry group. A stable type of structural fields with a low dependence of the growth of daily gas consumption with a decrease in the outside air temperature with a significant vertical spread of b_{day} , corresponding to the same value of the outside air temperature has been established. The structural field has an area of low gas consumption, which is determined by a decrease in the load of process equipment, or its withdrawal for repair. Models of daily gas consumption depending on the outside air temperature have been developed.

Keywords: structural field, mode, gas consumption, seasonal coefficient, conditional component, modeling.

Структурные поля « $b_{сут} - t_{сут}$ » по укрупненной балансовой группе (УБГ) «Промышленность» могут быть представлены видом с низкой зависимостью роста суточного потребления газа при снижении температуры наружного воздуха при значительном вертикальном разбросе $b_{сут}$, соответствующих одному и тому же значению температуры наружного воздуха. Структурное поле имеет две или несколько областей, соответствующих как рабочему состоянию технологического оборудования, так

и области его невысокой загрузки, или ремонту и практически не зависимой от среднесуточной температуры наружного воздуха (рис. 1). Результаты моделирования суточного расхода газа от температуры наружного воздуха для суточных режимов 2015 г. представлены на рис. 2 двумя видами моделей: модели $b_{сут} = -at + b_{усл.-пост}$ (1) и $b_{сут7} = -at_{ср.сут7} + b_{усл.-пост}$ (2). Выполним анализ результатов моделирования (см. таблицу). Из рис. 1 видно, что виды структурных полей устойчивы за шестилетний период. Если рассмотреть результаты моделирования 2015 г., то видно, что у моделей, построенных по сглаженным данным, высокий коэффициент детерминации: $R^2 = 0,892$.

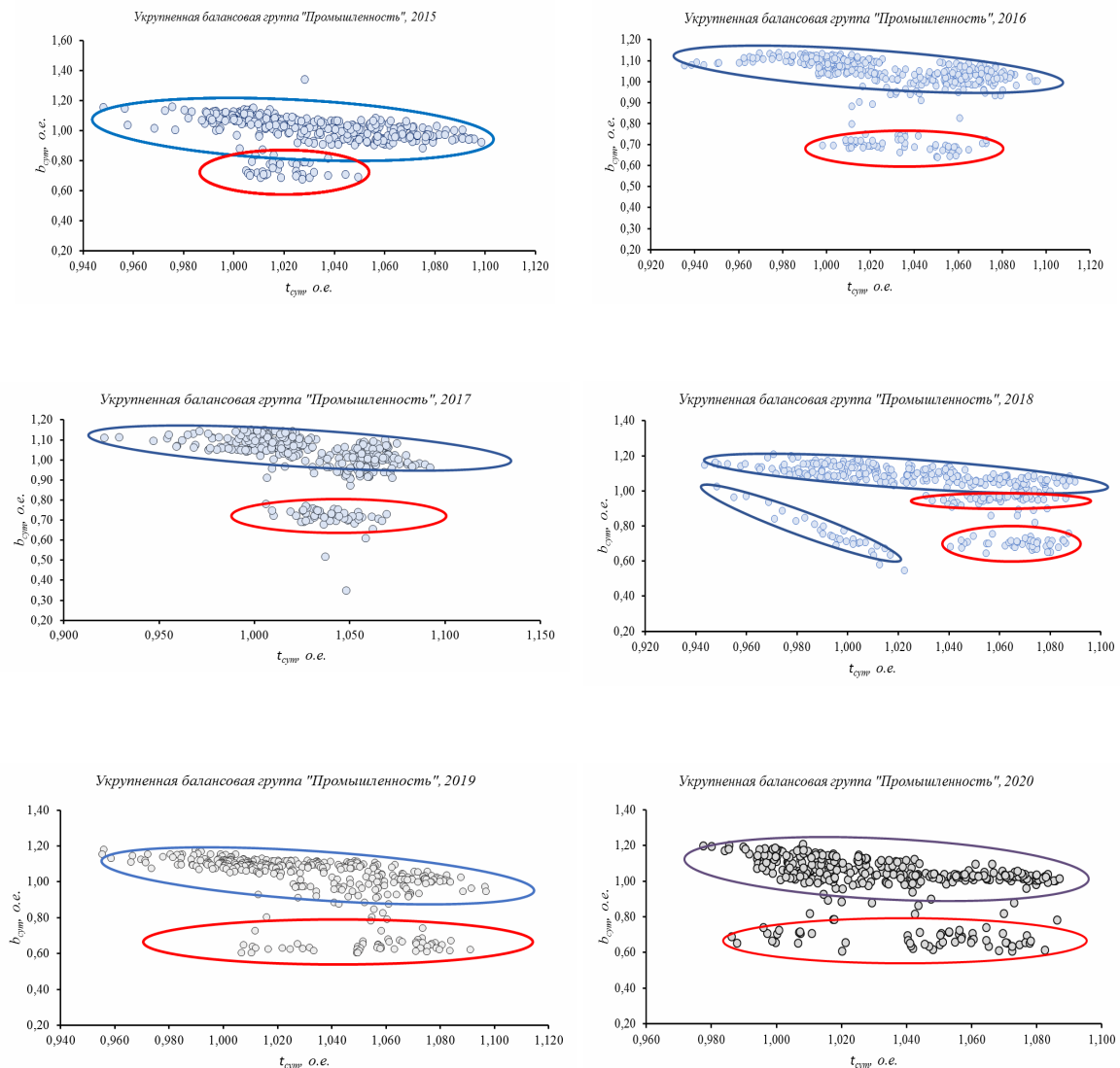


Рис. 1. Структурные поля « $b_{сут} - t_{сут}$ » укрупненной балансовой группы «Промышленность» Гродненской РСГС за 2015–2020 гг.

В структурном поле можно выделить одну емкую область, объединяющую до 90 % суток за рассматриваемый период. Вторая область с низкими значениями суточного расхода газа соответствует дням, когда на технологическом оборудовании производятся ремонтные работы, или холостой ход оборудования. Эта область не

50 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

привязана к температурному графику, и может находиться как в зоне отрицательных, так и положительных температур. В 2018 г. областей с минимальным суточным расходом газа – три, причем одна область появилась в зимний период, а две – в летний. Для рабочей и емкой области отмечается низкий сезонный коэффициент «а», который в 2015 г. составил –1,4, как для областей отключенного состояния системы отопления (см. таблицу). Схожие закономерности можно обнаружить для структурных полей суточного расхода газа от температуры наружного воздуха для 2016–2020 гг. (рис. 4.2–4.6). Попытки представить структурное поле « $b_{сут} - t_{сут}$ » двумя областями, соответствующими работе системы отопления, не дали улучшения качества моделей. В 2016–2020 гг. у всех моделей, построенных по сглаженным данным, отмечается высокий коэффициент детерминации. Для моделей основной (рабочей области) R^2 составил: 2015 г. – 0,892; 2016 г. – 0,811; 2017 г. – 0,699; 2018 г. – 0,804; 2019 г. – 0,732; 2020 г. – 0,67.

Основным фактором, определяющим суточное потребление газа, является технология.

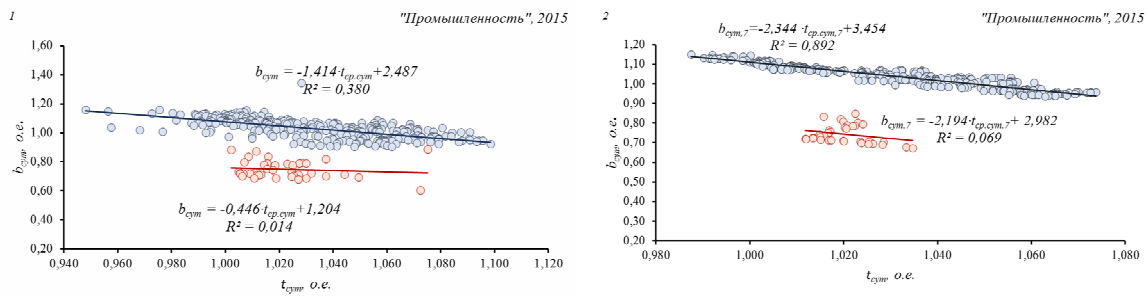


Рис. 2. Модели $b_{сут} = F(t_{ср-сут})$ укрупненной балансовой группы «Промышленность» Гродненской РСГС по данным 2015 г.:
1 – модели построенные по суточным несглаженным данным;
2 – модели на основе сглаженных (7 суток) данных

Результаты построения моделей суточного расхода газа от среднесуточной температуры наружного воздуха для укрупненной балансовой группы «Промышленность» Гродненской РСГС

Год	Отопительный период $B_{сут} = -at + b_{усл.-пост}$			Система отопления отключена $B_{сут} = -at + b_{усл.-пост}$		
	Вид уравнения	Сезонный коэффициент a	Условно-постоянная, не зависящая от температуры $b_{усл.-пост}$	Вид уравнения	Сезонный коэффициент a	Условно-постоянная, не зависящая от температуры $b_{усл.-пост}$
2020	$b_{сут, 7} = -17,299 \cdot t_{ср. сут, 7} + 19,09$ $R^2 = 0,921$	-17,3	19,1	$b_{сут, 7} = 3,292 \cdot t_{ср. сут, 7} - 2,908$ $R^2 = 0,06$	3,3	-2,91

Год	Отопительный период $B_{сут} = -at + b_{усл.-пост}$			Система отопления отключена $B_{сут} = -at + b_{усл.-пост}$		
	Вид уравнения	Сезонный коэффициент a	Условно-постоянная, не зависящая от температуры $b_{усл.-пост}$	Вид уравнения	Сезонный коэффициент a	Условно-постоянная, не зависящая от температуры $b_{усл.-пост}$
2015	$b_{сут, 7} = -2,344 \cdot t_{ср.сут, 7} + 3,454$ $R^2 = 0,892$	-2,34	3,5	$b_{сут, 7} = -2,194 \cdot t_{ср.сут, 7} + 2,982$ $R^2 = 0,069$	-2,2	2,98
2016	$b_{сут, 7} = -1,617 \cdot t_{ср.сут, 7} + 2,718$ $R^2 = 0,811$	-1,62	2,72	$b_{сут, 7} = -1,000 \cdot t_{ср.сут, 7} + 1,723$ $R^2 = 0,685$	-1,0	1,7
2017	$b_{сут, 7} = -2,005 \cdot t_{ср.сут, 7} + 3,109$ $R^2 = 0,699$	-2,01	3,1	$b_{сут, 7} = -2,020 \cdot t_{ср.сут, 7} + 2,823$ $R^2 = 0,379$	-2,0	2,8
2018	$b_{сут, 7} = -1,484 \cdot t_{ср.сут, 7} + 2,615$ $R^2 = 0,804$ $b_{сут, 7} = -6,089 \cdot t_{ср.сут, 7} + 6,807$ $R^2 = 0,974$	-1,5	2,62 6,81	$b_{сут, 7} = 2,099 \cdot t_{ср.сут, 7} - 1,265$ $R^2 = 0,491$ $b_{сут, 7} = 0,612 \cdot t_{ср.сут, 7} + 0,049$ $R^2 = 0,071$	2,1 0,6	-1,3 0,05
2019	$b_{сут, 7} = 2,09 \cdot t_{ср.сут, 7} + 3,23$ $R^2 = 0,732$	-2,1	3,2	$b_{сут, 7} = 0,562 \cdot t_{ср.сут, 7} + 0,065$ $R^2 = 0,012$	0,6	0,07
2020	$b_{сут, 7} = 2,412 \cdot t_{ср.сут, 7} + 3,553$ $R^2 = 0,67$	-2,4	3,66	$b_{сут, 7} = -3,742 \cdot t_{ср.сут, 7} + 4,593$ $R^2 = 0,4$	-3,7	4,6

Литература

1. Мороз, Д. Р. Региональная система газоснабжения с позиций системного анализа и закономерности ее функционирования / Д. Р. Мороз, Н. В. Грунтович // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ. – 2018. – Т. 61, № 4. – С. 359–371. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-4-359-371>
2. The study of structural fields of daily gas consumption of the balance groups of the regional gas supply system / D. Moroz [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 178. – P. 01066. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017801066> HSTED-2020

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССЕИВАЕМОЙ МОЩНОСТИ СВЕТОДИОДОВ С ПОМОЩЬЮ КАЛОРИМЕТРА

Т. Н. Савкова, Г. И. Селиверстов, Ю. Н. Колесник, Г. А. Рудченко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Для разработанного метода определения рассеиваемой мощности светодиодов с помощью калориметра проведена оценка погрешности величины рассеиваемой мощности для светодиодного модуля ARL-50W6000. Проведено сравнение погрешностей с аналогичными методами для подтверждения практической значимости полученного результата.

Ключевые слова: рассеиваемая мощность, погрешность, калориметр, светодиоды.

ESTIMATION OF THE ERROR OF THE METHOD FOR DETERMINING THE DISSIPATED POWER OF LEDS USING A CALORIMETER

T. N. Savkova, G. I. Seliverstov, Y. N. Kolesnik, G. A. Rudchenko

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

For the developed method of determining the dissipated power of LEDs using a calorimeter, the error of the power dissipation value for the ARL-50W6000 LED module was estimated. The errors were compared with similar methods to confirm the practical significance of the obtained result.

Keywords: power dissipation, error, calorimeter, LEDs.

Для определения погрешности метода определения рассеиваемой мощности светодиодов (СД) и светодиодных модулей (СДМ) [1–2] произведен расчет погрешности на примере мощного светодиодного модуля – ARL-50W6000. СДМ устанавливали в калориметр (рис. 1) на алюминиевый радиатор 3 цилиндрической формы, который погружали в дистиллированную воду 2. Корпус 1 калориметра был выполнен из плотного пеноплекса. Измерение температуры проводилось откалиброванными термомпарами 9, установленными на излучающую поверхность 7 СДМ 4, радиатор 3, в дистиллированной воде 2, на внутреннюю и внешнюю поверхности калориметра. Съёмную крышку 5 калориметра закрепляли так, чтобы излучающая поверхность 7 СДМ 4 полностью совпадала с технологическими отверстиями для вывода энергии светового излучения 6 мощных СДМ 4, а мешалка 8, закрепленная на ее поверхности, была погружена в воду 2 для ее перемешивания. С помощью блока стабилизации питания устанавливали и поддерживали постоянную потребляемую СДМ мощность, равную 50 Вт. Одновременно с включением блока стабилизации питания измеряли термомпарами температуру всех элементов калориметра и СДМ, а также окружающей среды. При увеличении температуры СДМ излишки жидкости удаляются из калориметра с помощью патрубка 11 и собираются в мерном закрытом сосуде 10, что позволяет поддерживать постоянный уровень жидкости в калориметре и с большей точностью учитывать тепловыделение. Измерения проводились в течение 0,5 ч. На основе полученных данных определялась рассеиваемая мощность СДМ.

Для оценки погрешности (неопределенности) при определении рассеиваемой мощности СД с помощью калориметра, измерения температуры на поверхности СДМ, окружающей среды и в различных точках калориметра воспользовались ха-

Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика 53

рактеристиками цифрового прибора – TESTO 735-2 с термопарами Pt100 с погрешностью измерений $\pm 0,2\%$ и разрешением $0,001\text{ }^\circ\text{C}$. Результаты расчетов, выполненных на основе результатов измерений, представлены в табл. 1.

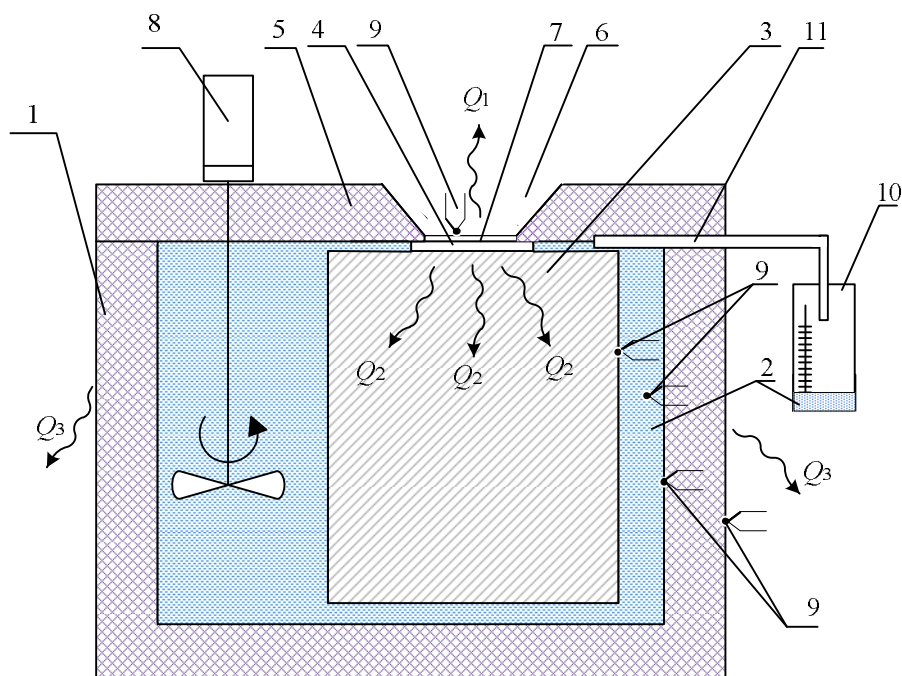


Рис. 1. Принципиальная схема интегрального калориметра

Таблица 1

Результаты расчетов средних значений температуры на поверхности светодиода ARL-50W6000 и в различных точках калориметра

Номер измерения	Расчетные значения средних температур					Средняя энергия тепловых потерь СДМ		
	$\bar{T}_1, ^\circ\text{C}$	$\bar{T}_2, ^\circ\text{C}$	$\bar{T}_3, ^\circ\text{C}$	$\bar{T}_4, ^\circ\text{C}$	$\bar{T}_5, ^\circ\text{C}$	$\bar{T}_A, ^\circ\text{C}$	$\bar{T}_0, ^\circ\text{C}$	$\bar{Q}, \text{кДж}$
1	33,551	31,447	30,008	30,505	26,003	155,503	24,005	62,450
2	33,549	31,448	30,002	30,501	25,996	155,501	24,001	
3	33,552	31,453	29,997	29,498	25,998	155,498	23,998	
4	33,553	31,452	29,999	29,495	26,001	155,497	23,997	
5	33,548	31,451	30,005	29,499	25,997	155,499	23,996	
6	33,547	31,449	29,989	30,502	26,005	155,502	24,003	
Среднее значение	33,550	31,450	30,300	30,300	26,000	155,500	24,000	

В табл. 1 приведены следующие параметры: \bar{T}_1 – среднее значение температуры подложки СДМ 4; \bar{T}_2 – среднее значение температуры радиатора 3; \bar{T}_3 – среднее зна-

54 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

чение температуры дистиллированной воды 2; \bar{T}_4 – среднее значение температуры на внутренней поверхности корпуса 1 калориметра; \bar{T}_5 – среднее значение температуры на внешней поверхности корпуса 1 калориметра; \bar{T}_A – среднее значение температуры излучающей поверхности 7 СДМ 4; \bar{T}_0 – среднее значение окружающей среды.

Учитывая погрешности измерения массы и площади элементов калориметра и времени измерения, энергия тепловых потерь определялась по выражению

$$Q = \bar{Q} \pm \Delta Q = 62448,460 \pm 228,760 \text{ Дж.}$$

Так как измерения проводились в течение 0,5 ч, то рассеиваемая мощность составила величину, равную $P = 34,694 \pm 0,127$ Вт, а излучаемая $P_{\text{из}} = 15,44$ Вт.

Общая погрешность величины рассеиваемой мощности составила 0,46 %. Результаты вычислений средней энергии тепловых потерь СДМ ARL-50W6000 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты вычисления средней энергии тепловых потерь ARL-50W6000

Параметр средней энергии	Среднее значение количество тепла за 1 ч, Дж	Средняя мощность тепловых потерь P, Вт	Средняя мощность тепловых потерь в процентах от подводимой мощности к ARL-50W6000
\bar{Q}_1	1962,543	1,091	0,0217
\bar{Q}_2	56605,712	31,441	62,732
\bar{Q}_3	3880,220	2,162	4,301
\bar{Q}	62448,460	34,694	69,220

В табл. 2 приведены следующие параметры: \bar{Q}_1 – средняя тепловая энергия, испускаемая с поверхности СДМ; \bar{Q}_2 – средняя тепловая энергия, полученная калориметром; \bar{Q}_3 – средняя энергия, отданная калориметром в окружающую среду.

При использовании приборов для измерения температуры с разрешением 0,05 °С общая погрешность от величины рассеиваемой мощности составила 3,74 %, а с разрешением 0,1 и 1 °С – соответственно 9,24 и 45,4 %.

В результате определения рассеиваемой мощности с помощью калориметра при потребляемой мощности СДМ типа ARL-50W6000 50,13 Вт средняя мощность тепловых потерь составила $34,69 \pm 0,127$ Вт, а излучаемая мощность – 15,43 Вт с разрешением измерительных приборов 0,001.

Определение рассеиваемой мощности ARL-50W6000 при нормальных условиях окружающей среды для сравнения проводилось по измеренным мощностям излучения и потребления на спектрометрическом комплексе с интегрирующей сферой DTF-320-201 Республиканского научно-производственного предприятия «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси». В результате измерений при потребляемой мощности 50,13 Вт излучаемая мощность составила 15,28 Вт, а средняя мощность тепловых потерь – 30,85 Вт с погрешностью измерения $3,1 \pm 4,0$ %.

Таким образом, для определения рассеиваемой мощности с помощью калориметра следует использовать измерительные приборы с разрешением не более 0,05 °С и погрешность измерений в этом случае будет менее 3,7 %.

Литература

1. Савкова, Т. Н. Калориметрический способ определения тепловых характеристик мощных СД / Т. Н. Савкова, А. И. Кравченко, Ю. Н. Колесник // Естеств. и техн. науки. – 2016. – № 11. – С. 152–155.
2. Savkova, T. Colorimetric method of determining the temperature of the active region of high-power leds / T. Savkova, A. Kravchenko, S. Kukhareno, Y. Kalesnik // Danish scientific journal. – 2018. – Vol. 2, N 18. – P. 32–36.

УДК 621.314

**УЛУЧШЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА
ВЫХОДНОГО ТОКА УСТРОЙСТВА НАГРУЖЕНИЯ РЕЗЕРВНЫХ
ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ**

М. Н. Погуляев, М. В. Рябков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Представлены результаты исследований устройства нагружения резервных синхронных электрогенераторов, выполненных с использованием транзисторного инвертора. Показано, что использование широтно-импульсной модуляции выходного напряжения позволяет уменьшить коэффициент несинусоидальности выходного тока с 21 до 2,0 %.

Ключевые слова: резервный электрогенератор, устройство нагружения, транзисторный инвертор, управляемый выпрямитель.

**IMPROVING THE HARMONIC COMPOSITION
OF THE OUTPUT CURRENT OF THE LOADING DEVICE
OF RESERVE GENERATORS**

M. N. Pogulyaev, M. V. Ryabkov

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The results of studies of the loading device of backup synchronous generators made using a transistor inverter are presented. It is shown that the use of pulse-width modulation of the output voltage makes it possible to reduce the coefficient of non-sinusoidality of the output current from 22–27% to 5.0–6.0%.

Keywords: backup power generator, load device, transistor converter, controlled rectifier.

Поддержать резервные генераторные установки в рабочем состоянии позволяют периодические их испытания под нагрузкой. Задачей таких испытаний является проверка их работоспособности и соответствия основных технических характеристик паспортным значениям. В последнее время при проведении испытаний электрогенераторов все большее внимание начинают уделять устройствам нагружения (УН), выполненным на основе статических полупроводниковых преобразователях, в которых управляемый выпрямитель (УВ) и ведомый сетью инвертор выполнены на тиристорах [1–3]. Основной недостаток таких устройств заключается в том, что выходной ток имеет практически прямоугольную форму, т. е. они являются источником высших гармоник. Наличие высших гармоник приводит к искажению питающего

синусоидального напряжения, появлению дополнительных потерь мощности в стали трансформаторов и электрических машин. Коэффициент гармоник для маломощных сетей при этом может превысить допустимое значение в 8 %, нормированное ГОСТ 30824.4.30–2013 и ГОСТ 32144–2013 для сетей 0,38 кВ.

Для уменьшения коэффициента гармоник и влияния высших гармоник на сеть предложено вместо тиристорного использовать транзисторный инвертор (ТИ) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ-модуляцией) и согласующий трансформатор Т (рис. 1).

Цель данной работы – провести анализ гармонических составляющих выходных напряжений и токов при использовании в устройстве нагружения резервных электрогенераторов (РЭГ) инвертора с ШИМ-модуляцией.

Для проведения такого анализа была разработана имитационная модель УН с широтно-импульсной регулированием выходных параметров в программе MatLab с пакетами расширения SimPowerSystems и Simulink. Ввиду ограниченного объема имитационная модель здесь не приводится.

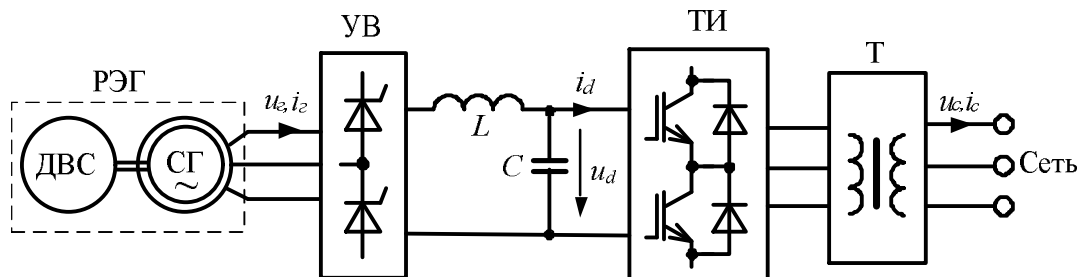


Рис. 1. Функциональная схема устройства нагружения с транзисторным инвертором

В процессе имитационного моделирования нагружения синхронного генератора мощностью 8,1 кВА для различных значениях углов управления УВ и коэффициентов модуляции ШИМ-инвертора были получены и проанализированы временные диаграммы выходных напряжений и токов, проведен их спектральный анализ и рассчитаны значения коэффициентов несинусоидальности. На рис. 2 представлены временные диаграммы выходного тока и их спектральный состав, полученные при номинальных значениях коэффициента мощности и тока нагрузки генератора для устройств нагружения с инвертором на тиристорах (рис. 2, а) и на транзисторах (рис. 2, б).

Как видно из рис. 2, ток на выходе устройства нагружения с инвертором на тиристорах имеет форму близкую к прямоугольной (рис. 2, а) и поэтому имеет достаточно высокий суммарный коэффициент гармонических составляющих (коэффициент несинусоидальности), достигающий значения 21,0 %. Форма выходного тока для устройств нагружения с инвертором на транзисторах (рис. 2, б) является практически синусоидальной с минимальным содержанием высших гармоник. Суммарный коэффициент гармонических составляющих выходного тока составляет всего 2,01 %, что существенно улучшает качество рекуперированной электроэнергии.

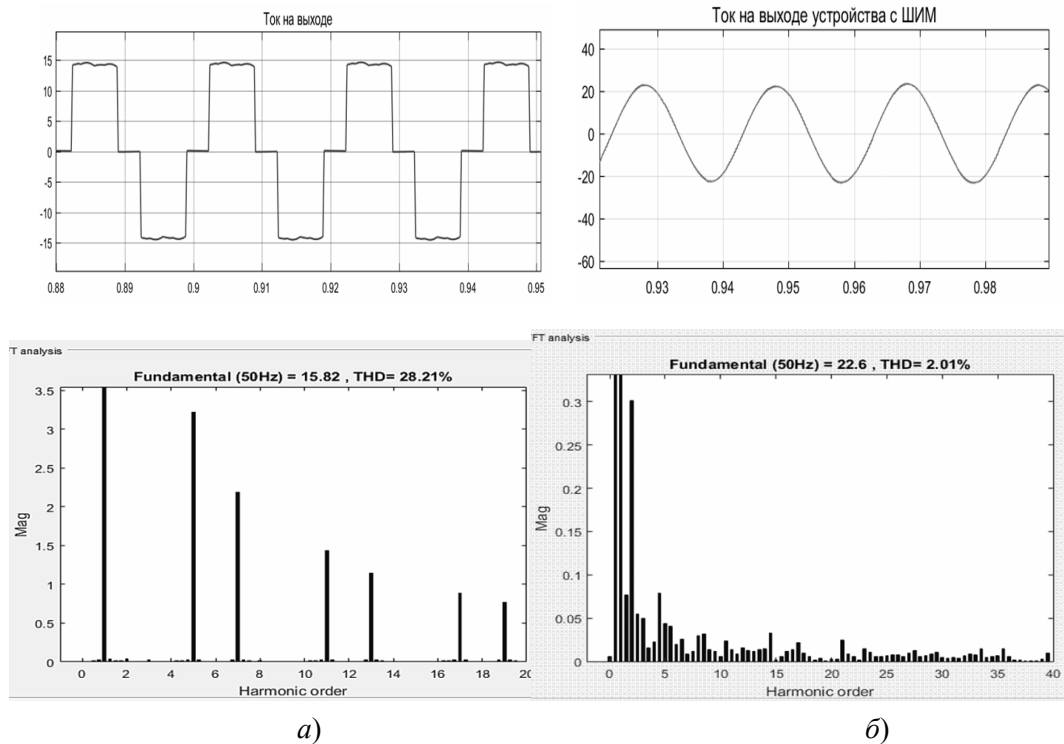


Рис. 2. Временные диаграммы тока на выходе устройства нагружения с инверторами: а – на тиристорах; б – на транзисторах

Таким образом, полученные при численном моделировании результаты подтверждают, что использование ШИМ-инвертора в нагружающем устройстве действительно позволяет улучшить гармонический состав выходного тока и уменьшить его влияние на питающую сеть.

Литература

1. Энергосберегающие электромеханические стенды для испытания автономных дизель-генераторов / М. Н. Погуляев [и др.] // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2013. – Т. 8, № 1. – С. 106–110.
2. Погуляев, М. Н. Энергосберегающее устройство нагружения резервных электрогенераторов / М. Н. Погуляев, А. А. Смахтин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 2017 г. / Белорус.-Рос. ун-т. – Могилев, 2017. – С. 399–401.
3. Погуляев, М. Н. Анализ гармонических составляющих выходных напряжения и тока устройства нагружения резервных электрогенераторов / М. Н. Погуляев, А. А. Чигринец // Современные проблемы машиноведения : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф., (науч. чтения, посвящ. 125-летию со дня рождения П. О. Сухого), Гомель, 22 окт. 2020 г. / М-во образования Респ. Беларусь. Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Фил. ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого»; под ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2020. – С. 179–182.

УДК 621.314

АНАЛИЗ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА НАГРУЖЕНИЯ РЕЗЕРВНЫХ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ НА СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

М. Н. Погуляев, И. В. Дорощенко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Представлены результаты исследований устройства нагружения резервных синхронных электрогенераторов, выполненного с использованием тиристорных преобразователей. Показано, что такое устройство, в отличие от известных, является энергосберегающим и позволяет регулировать коэффициент мощности и величину нагрузки генератора. Численным моделированием установлены диапазоны регулирования коэффициента мощности (0,5–0,9) и уровня нагрузки 10–110 % от номинальной мощности электрогенератора.

Ключевые слова: резервный электрогенератор, устройство нагружения, тиристорный преобразователь, управляемый выпрямитель.

ANALYSIS OF THE OPERATION OF THE LOADING DEVICE OF RESERVE STATIC POWER GENERATORS

M. N. Pogulyaev, I. V. Doroshchenko

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The results of studies of the loading device of backup synchronous electric generators made using thyristor converters are presented. It is shown that such a device, unlike the known ones, is energy-saving and allows you to adjust the power factor and the load of the generator. Numerical modeling has established ranges for regulating the power factor (0.5–0.9) and the load level of 10–110% of the rated power of the electric generator.

Keywords: backup power generator, load device, thyristor converter, controlled rectifier.

Современная тенденция развития энергетики состоит в стремлении к повышению надежности энергоснабжения потребителей. Аварии, случающиеся в электрической сети, приводят к перерывам электропитания, что может повлечь за собой опасность для жизни людей, нарушение функционирования объектов жизнеобеспечения, значительный ущерб производственной деятельности. Избежать таких последствий позволяет электропитание наиболее ответственных потребителей от резервных электрогенераторов (РЭГ). При этом важно постоянно поддерживать их высокую степень готовности к работе. Достигается это периодическими испытаниями РЭГ под нагрузкой. Резервные электрогенераторные установки построены в основном по схеме: «приводной бензиновый или дизельный двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – синхронный электрогенератор (СГ) – система управления». Согласно требованиям стандартов и технических условий устройство нагружения (УН) должно создавать нагрузку в пределах от 10 до 110 % номинальной мощности генератора при номинальном коэффициенте мощности 0,8 [1]. Кроме того, УН должно имитировать пуск асинхронного короткозамкнутого двигателя, при котором коэффициент мощности может снижаться до 0,5. Учитывая общие тенденции в рациональном использовании энергоресурсов, важным требованием, предъявляемым к нагружающим устройствам в настоящее время, является их способность рекуперировать энергию испытуемого объекта в сеть [2].

Существующие устройства нагружения электрогенераторов не в полной мере удовлетворяют данным требованиям [3]. В работе [4] предложено нагружающее устройство, выполненное на основе статических полупроводниковых преобразователей, в которых управляемый выпрямитель (УВ) и ведомый сетью инвертор (ВИ) выполнены на тиристорах (рис. 1). Такое УН позволяют плавно регулировать величину нагрузки и коэффициента мощности, а также рекуперировать вырабатываемую испытуемым генератором электроэнергию с переменным напряжением и частотой в промышленную сеть. Однако функционирование такого устройства еще недостаточно изучена как в практическом, так и теоретическом плане.

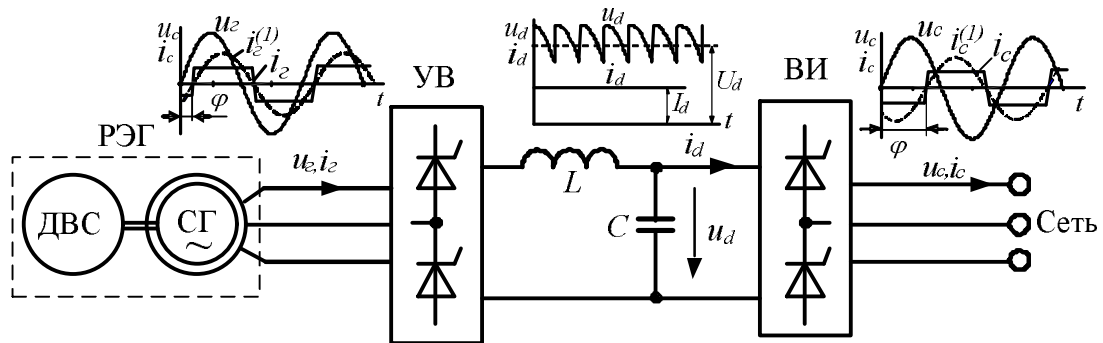


Рис. 1. Функциональная схема устройства нагружения на основе статических преобразователей

В статье представлены результаты исследования устройства нагружения резервных синхронных электрогенераторов, выполненного с помощью имитационного моделирования на ПЭВМ. Анализ работы устройства проводился на модели, разработанной в программной среде MATLAB.

При ее создании использовались как стандартные блоки библиотек пакетов расширения SimPowerSystems и Simulink – синхронный генератор, полупроводниковые преобразователи, измерительные элементы, так и специально разработанные задающие и регулирующие блоки. Изменением угла управления УВ α можно задавать требуемый коэффициент мощности нагружаемого генератора в пределах 0,5–0,9. Необходимый уровень нагрузки генератора (0,1–1,1) I_n задается изменением угла управления (опережения) β ведомого инвертора.

В модели можно задавать различные режимы работы устройства и алгоритмы управления, анализировать данные численных расчетов и производить визуализацию результатов. Все это позволило детально исследовать процессы, протекающие в различных узлах и блоках устройства. Ввиду ограниченного объема сама имитационная модель здесь не приводится, а представлена панель блока управления (рис. 2).

На панели находятся задающие элементы, измерительные приборы, окна визуализации. С ее помощью удобно управлять и следить за процессами, протекающими в схеме при моделировании. Состав и количество элементов на панели можно изменять в зависимости от решаемой задачи.

В процессе имитационного моделирования нагружения синхронного генератора мощностью 8,1 кВА для различных значений углов управления α и β были получены и проанализированы временные диаграммы напряжений и токов в различных узлах схемы, измерены величины напряжений и токов, рассчитаны значения коэффициентов мощности, активных, реактивных и полных мощностей.

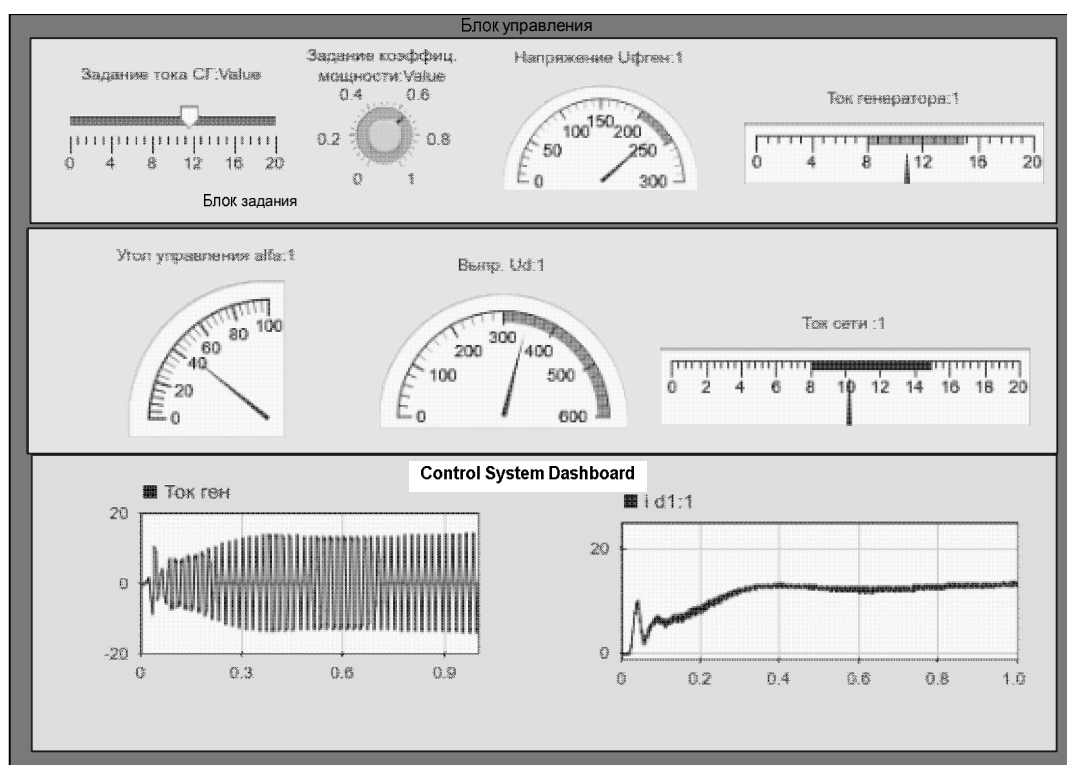


Рис. 2. Панель блока управления имитационной моделью

В частности, были получены зависимости коэффициента мощности от угла управления УВ и тока нагрузки генератора от угла управления ведомым инвертором. Также установлено, что до 85 % электроэнергии, вырабатываемой испытуемым генератором, рекуперируется в сеть.

Таким образом, полученные при численном моделировании результаты подтверждают, что нагружающее устройство, выполненное на основе тиристорных преобразователей, является энергосберегающим и удовлетворяет необходимым требованиям. Оно позволяет устанавливать ток нагрузки генератора в пределах $(0,1-1,1) I_{ном}$ и регулировать коэффициент мощности в диапазоне 0,5–0,9.

Литература

1. ГОСТ Р53178–2008. Установки электрогенераторные с бензиновыми, дизельными и газовыми двигателями внутреннего сгорания. Методы испытаний. – Введ. 01.01.10. – М. : Стандартинформ, 2009. – 27 с.
2. Энергоэффективные испытательные стенды / М. Н. Погуляев [и др.] // Энергоэффективность. – 2018. – № 9. – С. 26–30.
3. Энергосберегающие электромеханические стенды для испытания автономных дизель-генераторов / М. Н. Погуляев [и др.] // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2013. – Т. 8, № 1. – С. 106–110.

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ СТАТИЧЕСКОГО НАПОРА СЕТИ НА ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПОТРЕБЛЕНИЯ НАСОСА

В. В. Павлов, А. А. Капанский

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Исследование экономического эффекта от внедрения частотного-электропривода на центробежные насосы основывается на классических формулах подобия, в соответствии с которыми мощность в кубической степени зависит от изменения скоростей вращения ротора насосного агрегата. Показано, что известные зависимости являются частным случаем, в котором не учитывается геометрический уровень водопроводной сети. Приведена оценка влияния статического напора сети на изменение мощности потребления насоса при частотном регулировании.

Ключевые слова: насосный агрегат, активная мощность потребления, статическая характеристика сети, напорная характеристика насоса.

INVESTIGATION OF THE DEGREE OF INFLUENCE OF THE STATIC HEAD OF THE NETWORK ON THE CHANGES IN THE ACTIVE POWER CONSUMPTION OF THE PUMP

V. V. Pavlov, A. A. Kapanski

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The study of the economic effect of the introduction of a frequency-electric drive on centrifugal pumps is based on the classical similarity formulas, according to which the power to a cubic degree depends on the change in the speed of rotation of the rotor of the pumping unit. The authors of the work show that the known dependencies are a special case in which the geometric level of the water supply network is not taken into account. The article provides an assessment of the influence of the static head of the network on the change in the power consumption of the pump during frequency regulation.

Keywords: pumping unit, active power consumption, static characteristic of the network, pressure characteristic of the pump.

Для исследования экономического эффекта от регулирования скорости вращения рабочего колеса электронасоса используются гидравлические характеристики насоса, которые соотносятся с известными уравнениями подобия [1, с. 57]:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}; \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2; \quad (1)$$

$$\frac{N_1}{N_2} \approx \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^3, \quad (2)$$

где Q_1, Q_2 – расход насоса в 1-м и 2-м режиме работы соответственно, м³/ч; H_1, H_2 – напор насоса в 1-м и 2-м режиме работы соответственно, м; N_1, N_2 – мощность насоса в 1-м и 2-м режиме работы соответственно, Вт; ω_1, ω_2 – скорость вращения

62 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

ротора в 1-м и 2-м режиме работы соответственно, с^{-1} .

Рассмотрим условие, при котором степенной показатель соотношения мощностей в формуле (2) равен $k = 3$. Для этого необходимо обратиться к классической формуле расчета мощности насоса, которая определяется величиной гидравлического напора, расхода и КПД агрегата в соответствии с формулой [1, с. 57]:

$$N = \frac{\rho Q H g}{\eta_n}, \quad (3)$$

где ρ – плотность перекачиваемой жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; Q – подача воды, $\text{м}^3/\text{с}$; H – напор насоса, м; η_n – коэффициент полезного действия (КПД) насоса, отн. ед; g – ускорение свободного падения.

Зависимость (1) получаем как результат соотношения мощностей после постановки уравнений (1) и (3) при условии неизменности изменением КПД насосного агрегата, т. е. $\eta_{n1} = \eta_{n2}$ [2, с. 293].

Выполним детальный анализ уравнения (3). Для этого выразим фактический расход, напор и КПД через частоту вращения, статический и фиктивный напор (при нулевой подаче) агрегата [1, с. 56–57]:

$$Q = Q_{\text{НОМ}} \sqrt{\frac{H_{\phi} \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{НОМ}}} \right)^2 - H_c}{H_{\phi} - H_c}}; \quad (4)$$

$$H = H_c + (H_{\text{НОМ}} - H_c) \frac{H_{\phi} \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{НОМ}}} \right)^2 - H_c}{H_{\phi} - H_c}; \quad (4)$$

$$\eta_n = 1 - \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\left(\frac{\omega}{\omega_{\text{НОМ}}} \right)^{0.36}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{НОМ}}$ – номинальная подача насоса, $\text{м}^3/\text{ч}$; H_c – статический напор насоса; определяется как разность геодезических отметок наивысшей точки подачи жидкости и места установки насоса, м; H_{ϕ} – фиктивный напор, м; $\omega_{\text{НОМ}}$ – номинальная частота вращения ротора насоса. $\eta_{\text{НОМ}}$ – номинальный КПД насосного агрегата.

Действительные корни уравнения, которые определяют наличие режима равновесия между характеристиками насоса и сети водоснабжения, будут существовать при выполнении условия $H_{\phi} \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{НОМ}}} \right)^2 \geq H_c$. В противном случае при невыполнении условия корни уравнения примут мнимые значения. Такой режим определяет нерабочую зону насоса. Найдем граничную точку диапазона частот, перед которой это неравенство будет неверным:

$$\omega_{гр} = \omega_{ном} \sqrt{\frac{H_c}{H_\phi}} \quad (6)$$

Таким образом, при $\omega \geq \omega_{гр}$ выполняется условие существования режима.

В формулах (4)–(6) произведем замену переменных $\frac{\omega}{\omega_{ном}}$ на ω_y . В этом случае ω_y представляет собой относительную частоту вращения ротора насоса.

Рассмотрим случай изменения мощности при котором $H_c = 0$. Путем подстановки в формулу (4) уравнений (5)–(7) с учетом введенной замены ω_y получим:

$$N = \frac{\rho Q_{ном} H_{ном} \omega_y^3 g}{1 - \frac{1 - \eta_{ном}}{\omega_y^{0,36}}} \quad (7)$$

В числителе видим явную гиперболическую зависимость, в знаменателе – функцию ее растяжения, так как знаменатель меньше единицы, по оси мощностей.

При статическом моменте, не равном нулю, преобразование до вида формулы (7) громоздко и неудобно. Поэтому представим мощность как функцию двух переменных, зависящую от относительной частоты вращения ω_y и отношения $\frac{H_c}{H_\phi}$.

С помощью инструмента MathCad графически изобразим полученные результаты. Для удобства отображения графиков построим их в осях N_y, ω_y , где N_y – удельная мощность насоса, вычисляемая по формуле: $N_y = \frac{N}{N_{ном}}$. Все переменные, не зависящие от частоты, примем неизменными. Задаваясь различными значениями H_c / H_ϕ , изобразим семейство характеристик (рис. 1).

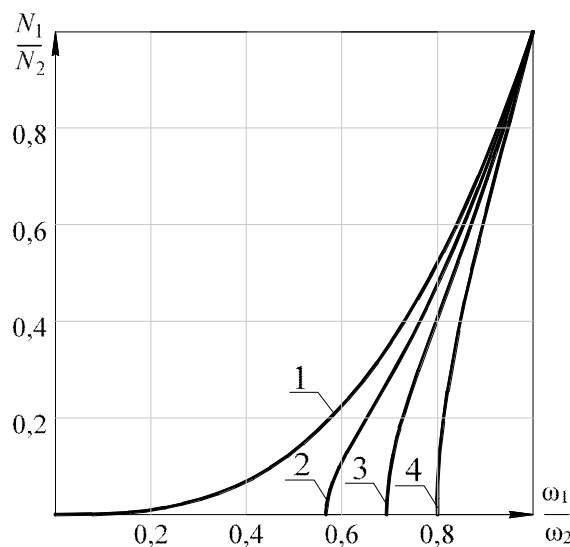


Рис. 1. Оценка влияния степени изменения мощности при частотном регулировании для различных соотношений H_c / H_ϕ

Сделаем вывод, что в проведенном исследовании показано влияние статического напора на форму частотной характеристики мощности. Доказано, что кубическая формула (2) является частным случаем, поэтому наличие знака равенства в уравнении неверно.

Литература

1. Фащиленко, В. Н. Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий : учеб. пособие / В. Н. Фащиленко. – М. : Гор. кн., 2011. – 260 с.
2. Optimization of a variable frequency drive pump working on a water tower / N. V. Hruntovich [et al] // EDP Sciences : In E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 124. – P. 05060.

УДК 536.3

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА МЕТОДОМ ГРАДИЕНТНОЙ ТЕПЛОМЕТРИИ

А. В. Бикмулин, Н. Е. Кикоть, В. М. Проскурин, Ю. В. Андреев
*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого», Российская Федерация*

Приведены результаты измерений тепловыделения при горении дизельного топлива, полученные методом термометрии и градиентной теплометрии. Проведено сравнение методик измерения. Подчеркивается преимущество применения градиентной теплометрии.

Ключевые слова: градиентная теплометрия, градиентные датчики теплового потока, термометрия, горение, тепловой поток.

MEASUREMENT OF THE HEAT EXCHANGE DURING THE COMBUSTION OF DIESEL FUEL BY THE METHOD OF GRADIENT HEATMETRY

A. V. Bikmulin, N. E. Kikot, V. M. Proskurin, Yu. V. Andreev
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russian Federation

This paper presents the results of measurements of heat exchange during the combustion of diesel fuel obtained by thermometry and gradient heatmetry. Comparison of measurement methods is carried out. The advantage of using gradient heatmetry is emphasized.

Keywords: gradient heatmetry, gradient heat flux sensors, thermometry, combustion, heat flux.

Для наиболее эффективной и безопасной работы котла необходим постоянный контроль параметров. В настоящее время системы управления водогрейных и паровых котлов повсеместно основываются на термометрии [1]. Данный способ является достаточно инерционным и малоинформативным. Для измерения локальных изменений характера горения пламени необходимо применять методику градиентной теплометрии.

Градиентные датчики теплового потока (ГДТП), разработанные в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого [2], [3], представляют собой анизотропный термоэлемент. Принцип действия основан на поперечном эффекте Зеебека [4]. При прохождении теплового потока через датчик в нем возникает поперечная разность температур, что генерирует пропорциональный этой разности термоЭДС. Неоспоримым преимуществом является высокое быстродействие датчиков [4].

Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика 65

Постановка эксперимента. Спроектированный экспериментальный стенд представлен на рис. 1.

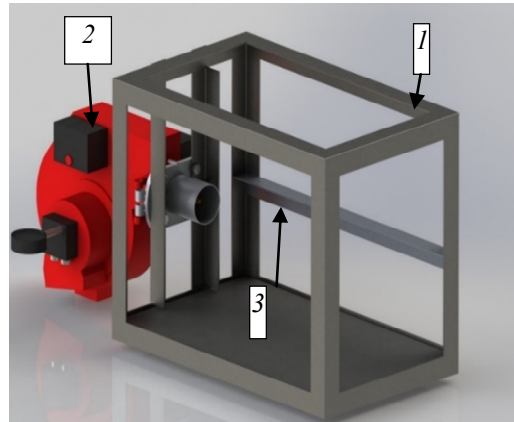


Рис. 1. Экспериментальный стенд для измерения плотности теплового потока при горении:
1 – металлический каркас; 2 – горелка; 3 – перекладина

На металлический каркас 1 была установлена дизельная горелка «OILON» типа КР-6 2, с форсункой «DANFOS» 1,75 60 S. Измерения проводились каждые 25 мм вдоль зоны горения, отмеченные на измерительной перекладине 3. Измерительным прибором являлся зонд, который представляет из себя теплообменник типа труба в трубе (рис. 2) и термопары (хромель + алюмель). Зонд имеет водяное охлаждение с температурой проточной воды 20 °С. На латунной пяте был установлен ГДТП.

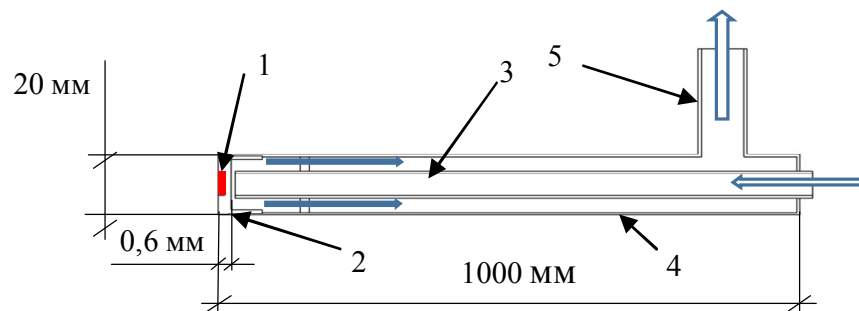


Рис. 2. Измерительный зонд:
1 – гетерогенный градиентный датчик теплового потока; 2 – латунная пята;
3 – труба для подачи воды; 4 – внешний кожух; 5 – патрубок отвода воды

Эксперимент проводился на двух режимах: при давлении топлива, равном 12 и 15 бар, средняя мощности дизельной горелки – 77–101 кВт.

Результаты. Получено распределение значений местного теплового потока и температуры вдоль факела дизельной горелки (рис. 3 и 4).

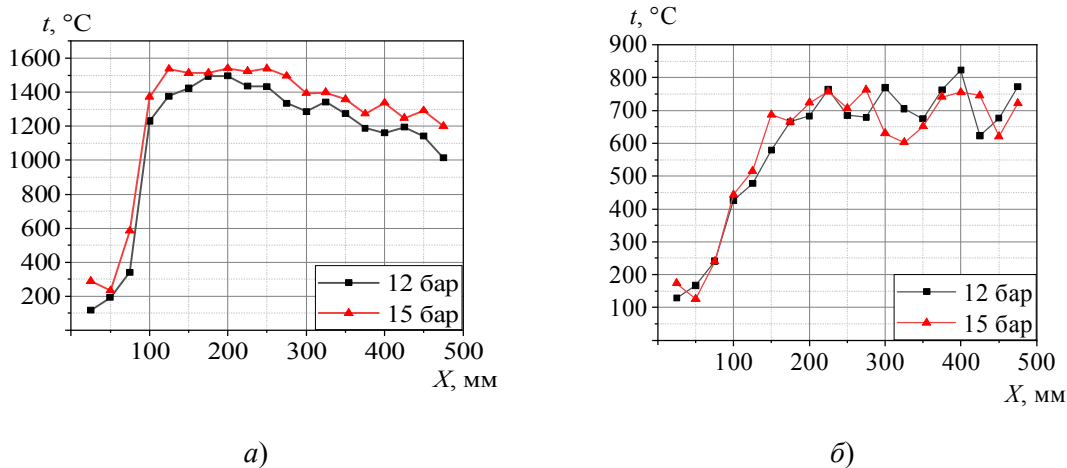


Рис. 3. Распределение температуры вдоль факела:
 а – в ядре; б – на периферии

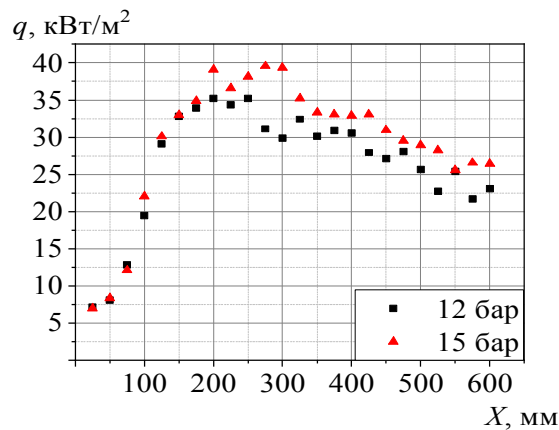


Рис. 4. Распределение плотности теплового потока

Видно сходство полученных графиков распределения температуры и плотности теплового потока. Однако максимальные значения плотности теплового потока на двух разных режимах отличаются на 11,1 %, тогда как значения температуры близки. Для корректного измерения необходимо устанавливать несколько термопар, в том числе в ядро горения факела. Проще измерять тепловой поток, исходящий от пламени напрямую, не внося возмущений в сам процесс горения [5].

Таким образом, можно сделать вывод, что термометрия не позволяет оценить изменения тепловыделения от факела при изменении режима работы горелки. Градиентная теплотометрия позволяет измерить локальные тепловыделения от факела и определить теплонапряженные зоны, что, в свою очередь, позволит сделать выводы при настройке горелочного аппарата.

Литература

1. Measurements on Heat Flux Distribution in a Supercritical Arch-Fired Boiler / Z. Dalong [et al.] // Clean Coal Technology and Sustainable Development : Proceedings of the 8th International Symposium on Coal Combustion. – 2015. – N 212029. – P. 207–212.
2. Анализ течения и теплообмена при обтекании круговых цилиндров / В. В. Сероштанов [и др.] // XXVI Всероссийский семинар с международным участием по струйным, отрывным и нестационарным течениям : материалы докл. – СПб., 2022. – С. 168–169.

3. Изучение пленочной конденсации насыщенного водяного пара на поверхностях труб методом градиентной теплотметрии / С. З. Сапожников [и др.] // Теплоэнергетика. – 2021. – № 10. – С. 73–81. DOI 10.1134/S0040363621090071
4. Sapozhnikov, S. Z. Heatmetry. The Science and Practice of Heat Flux Measurement / S. Z. Sapozhnikov, V. Yu. Mityakov. – St.-Petersburg : Springer International Publishing, 2020. – 209 p.
5. Duda, P. A new method for identification of thermal boundary conditions in water-wall tubes of boiler furnaces / P. Duda, J. Taler // Int J Heat Mass Transf. – 2009. – Vol. 52. – P. 1517–1524.

УДК 536.24

ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА МЕТОДОМ ГРАДИЕНТНОЙ ТЕПЛОМЕТРИИ ПРИ КИПЕНИИ НА ПОВЕРХНОСТЯХ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

Н. Е. Кикоть, А. В. Бикмулин

*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого», Российская Федерация*

Методика градиентной теплотметрии позволяет измерять местную плотность теплового потока при кипении недогретой воды на перегретой поверхности. Измерение плотности теплового потока при фазовых переходах является одной из важнейших задач, так как термометрия не позволяет рассмотреть процесс детально. Рассмотрено кипение недогретой воды на поверхности шара и цилиндра и измерено значение критической плотности теплового потока.

Ключевые слова: градиентная теплотметрия, гетерогенные градиентные датчики теплового потока, местная плотность теплового потока, пузырьковый режим кипения.

MEASUREMENT OF THE HEAT FLUX DENSITY BY THE METHOD OF GRADIENT THERMOMETRY AT BOILING ON SURFACES OF VARIOUS SHAPES

N. E. Kikot, A. V. Bikmulin

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Russian Federation

The method of gradient heatmetry makes it possible to measure the heat flux per unit area during boiling of subcooled water on an overheated surface. Measurement of the heat flux during phase transitions is one of the most important tasks, since thermometry does not allow us to consider the process in detail. The paper considers the boiling of subcooled water on the surface of a ball and a cylinder and measures the value of the critical heat flux per unit area.

Keywords: gradient heatmetry, heterogeneous gradient heat flux sensors, heat flux per unit area, bubble boiling mode.

Развитие современных технологий требует снижения массогабаритных параметров, что приводит к возрастанию тепловых нагрузок, которые необходимо отводить. Одним из основных способов теплоотвода является теплообмен при кипении теплоносителя. Он обширно применяется в таких областях, как ядерная энергетика, теплогенерация, химическая промышленность, охлаждение высокопроизводительной электроники, кондиционирование, аэрокосмическая отрасль и т. д.

Преобладающие количество экспериментов, связанных с изучением теплообмена при кипении, основаны на термометрии [1] и высокоскоростной визуализации [2], что не позволяет комплексно исследовать кипение и его режимы [3].

Изучение теплообмена при кипении на шарообразной поверхности исключало

внесение возмущений в процесс кипения, что было подтверждено на первом этапе исследования. Создание цилиндрической модели и сравнение влияния формы на характер кипения и значения критической плотности теплового потока (ПТП) стал следующим этапом работы.

Постановка задачи. Цилиндр выполнен из титана VT22 с диаметром основания 34 мм, как и у шарообразной модели и высотой 22,3 мм, выбранной с учетом соответствия масс моделей цилиндрической и шарообразной формы [3]. Гетерогенный градиентный датчик теплового потока (ГГДТП) установлен в середине верхней поверхности цилиндра заподлицо, для этого выфрезерована выборка размерами $5 \times 5 \times 0,6$ мм с двумя отверстиями диаметром $d = 1,6$ мм, в которые запрессованы изолирующие керамические трубки. Размеры выборки соответствуют требованиям по монтажу датчика с размерами $3 \times 3 \times 0,45$ мм (рис. 1). Закрепление ГГДТП в выборке и изоляция токоотводящих проводов от внешней среды осуществлялось с помощью высокотемпературного компаунда, способного выдержать резкие перепады температур и имеющего незначительную усадку при затвердевании.

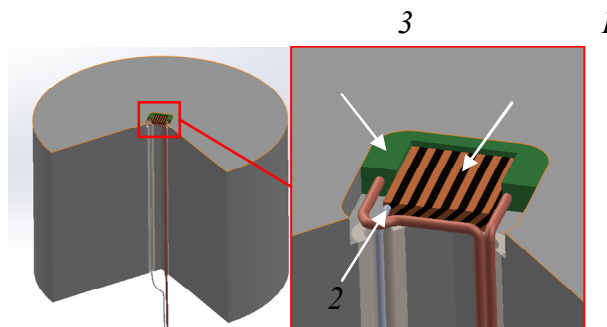


Рис. 1. Модель цилиндра с гетерогенным градиентным датчиком теплового потока: 1 – гетерогенный градиентный датчик теплового потока; 2 – термопарный провод; 3 – высокотемпературный компаунд

Цилиндрическая модель помещается в проходную печь и фиксируются в ней специальной державкой. Показания с ГГДТП и термопары записываются на измерительно-вычислительный комплекс модели NIPXI-1050 с частотой записи 5000 измерений в секунду. При достижении необходимой температуры в 464 °С державка высвобождается и образец погружается в аквариум. Температура воды отслеживалась с помощью мультиметра Fluke 289 с термопарой, а поддержание необходимой температуры осуществлялось омическим нагревателем [3].

Температурный режим, выбранный для данного эксперимента, соответствовал температурному режиму для шаровой модели (температура модели составила $T_w = 464$ °С; температура воды $T_f = 64$ °С).

Результаты. Сравнение результатов эксперимента на двух разных моделях показало, что время остывания цилиндрической модели значительно снизилось. Критическая ПТП, соответствующая максимальному значению для каждого графика, имеет одинаковое численное значение. Результаты для цилиндрической модели и для шаровой представлены на рис. 2, а, б.

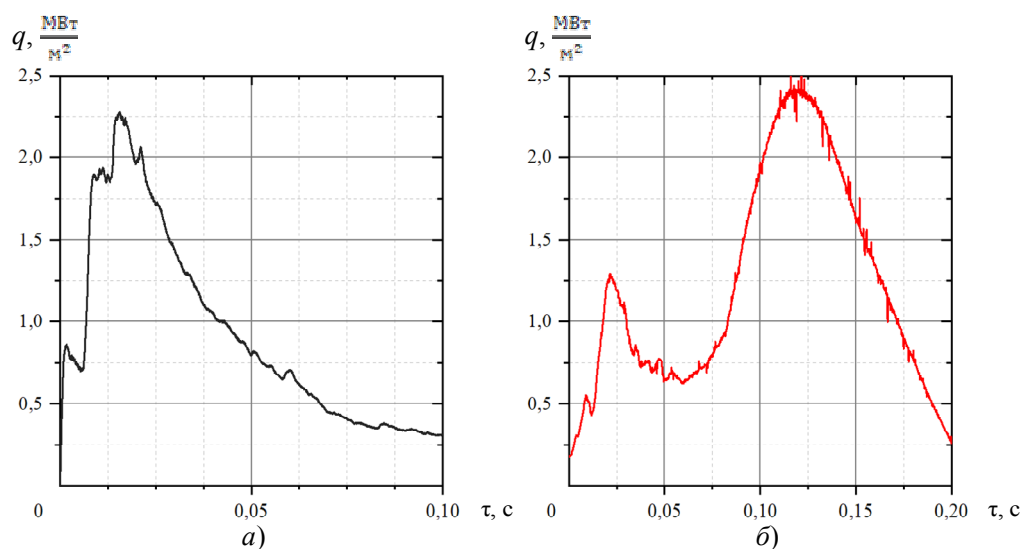


Рис. 2. Графики зависимости теплового потока от времени для цилиндра (а) и шара (б)

Из рис. 2 видно, что при изменении геометрической формы модели изменилась качественная картина кипения. Пузырьковый режим кипения от конфигурации модели не изменился, как и время протекания процесса. При этом пленочный и переходный режимы кипения значительно сократились по времени, что обусловлено геометрической формой модели и нестабильным состоянием пленки.

Проделанные эксперименты позволяют сказать, что при использовании градиентной теплотометрии при исследовании теплообмена при кипении геометрическая форма модели не влияет на значения критической ПТП, а концевые эффекты, вызванные формой, оказывают влияние только на время и характер переходного и пленочного режимов. Полученные результаты говорят о применимости метода градиентной теплотометрии для исследования теплообмена при кипении на поверхностях различной конфигурации. Это дает возможность перейти к исследованию теплообмена при кипении на поверхностях более сложной формы, в том числе применяемых в современном энергетическом оборудовании.

Литература

1. Забиров, А. Р. Исследование процессов теплообмена при охлаждении высокотемпературных тел в недогретых жидкостях. – М., 2016. – 22 с.
2. Ягов, В. В. Нестационарный теплообмен при пленочном кипении недогретой жидкости / В. В. Ягов, А. Р. Забиров, М. А. Лексин // Теплоэнергетика. – 2015. – Т. 2015, № 11. – С. 70–80.
3. Сапожников, С. З. Исследование кипения на поверхности шара методом градиентной теплотометрии / С. З. Сапожников // Тепловые процессы в технике. – 2021. – Т. 13, № 10. – С. 434–441.

УДК 536.24

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ТАНДЕМЕ КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРОВ

В. А. Маслов, М. Д. Селезнёва

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого», Российская Федерация

Проведено исследование теплообмена в тандеме цилиндров методом градиентной теплометрии, получены распределения местных чисел Нуссельта по поверхности цилиндра, установленного ниже по потоку. Выявлено, что средний по поверхности коэффициент теплоотдачи в системе с шахматным расположением цилиндров выше, чем при рядном расположении.

Ключевые слова: градиентная теплометрия, обтекание цилиндров, градиентный датчик теплового потока, число Нуссельта.

EXPERIMENTAL STUDY OF HEAT TRANSFER IN TANDEM CIRCULAR CYLINDERS

V. A. Maslov, M. D. Selezneva

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russian Federation

A study of heat transfer in tandem cylinders by gradient heatmetry was carried out. The local Nusselt numbers over the surface of the cylinder installed downstream was obtained. It is detected that the surface-averaged heat transfer coefficient in a system with a staggered arrangement of cylinders is higher than with an in-line arrangement.

Keywords: gradient heatmetry, cylinder, flowing around cylinders, gradient heat flux sensor, Nusselt number.

На сегодняшний день исследования течения и теплообмена актуальны при создании новых и совершенствовании существующих теплообменных аппаратов, используемых в различных отраслях промышленности. Оптимизации процессов течения и теплообмена на цилиндрических поверхностях позволяет снизить металлоемкость, увеличивая при этом их производительность. Для решения таких задач предлагается методика, основанная на прямом измерении теплового потока с помощью градиентной теплометрии, успешно развивающейся в Научно-образовательном центре «Теплофизика в энергетике» СПбПУ [1], где созданы, апробированы и внедрены в натурный эксперимент быстродействующие градиентные датчики теплового потока (ГДТП) [2]. Вопросами течения и теплообмена на поверхности цилиндров занимаются давно, а количество работ, посвященных подобным исследованиям, достигает сотен. Обычно исследуют модели различного сечения, влияние на картину течения и теплообмена взаимного расположения цилиндров, зависимость средних и местных коэффициентов теплоотдачи (КТО) от режима течения, влияние активных и пассивных методов интенсификации и т. д. В последнее время такие исследования в большей степени выполняются с помощью численного моделирования.

В работе представлено экспериментальное исследование течения и теплообмена в тандеме круговых цилиндров для двух случаев их взаимного положения: в ряд один за другим (как часть трубного пучка с коридорным расположением труб) и со смещением (как часть трубного пучка с шахматным расположением труб). Целью работы стало определение теплового потока и коэффициента теплоотдачи на по-

Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика 71

верхности второго цилиндра и связь параметров теплообмена с особенностями отрывного течения вблизи теплообменной поверхности.

Исследования проводились в лаборатории аэродинамики и теплообмена в рабочей зоне дозвуковой аэродинамической трубы, разработанной, изготовленной и используемой в НОЦ «Теплофизика в энергетике». Параметры и конструктивные особенности трубы подробно описаны в работе [3]. В рабочую зону трубы помещалась модель – два цилиндра кругового сечения. Исследуемые цилиндры – полые диаметром 66 мм и длиной 600 мм обогревались насыщенным водяным паром при атмосферном давлении (рис. 1).

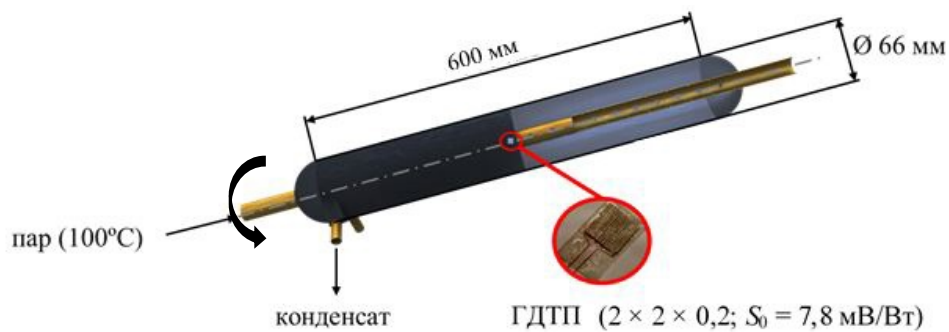


Рис. 1. Модель цилиндра с установленным гетерогенным градиентным датчиком теплового потока

На наружной поверхности нижнего по потоку цилиндра (рис. 2) монтировался градиентный датчик теплового потока, выполненный на основе монокристаллического висмута. Датчик имеет размеры в плане 2×2 мм и толщину 0,2 мм. Вольт-ваттная чувствительность ГДТП составляет 7,8 мВ/Вт. Исследуемый цилиндр мог проворачиваться вокруг оси на угол $\varphi = 0-180^\circ$, что позволило получить распределение регистрируемой ГДТП плотности теплового потока от угла поворота. Кроме того, в эксперименте измерялась температура набегающего потока (для расчета КТО) и варьировалась скорость набегающего потока W . Экспериментальная установка позволяет перемещаться по вертикали второму цилиндру на расстояние от $\pm 0,5$ калибров d .

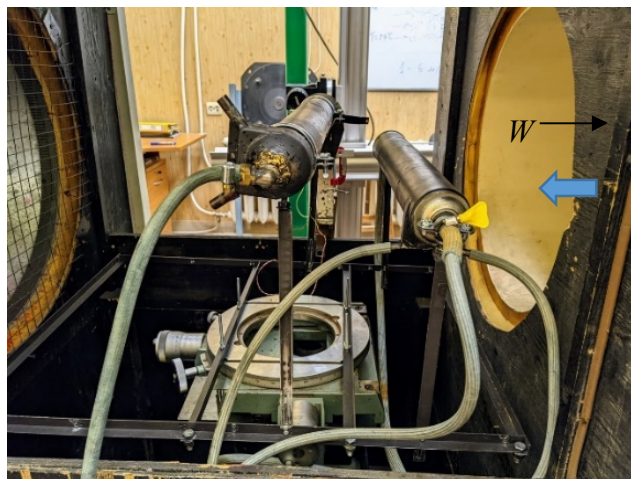


Рис. 2. Экспериментальная модель в аэродинамической трубе

В результате исследования получены кривые распределения местного числа Нуссельта на втором цилиндре для различных режимов при фиксированном расстоянии между ближайшими точками цилиндров вглубь ряда, равного $0,5d$, и с разным расстоянием по вертикали h . На рис. 3 совмещены кривые для двух режимов. Кривая при $h = 0,5d$ получена для верхней полуповерхности цилиндра (рис. 2).

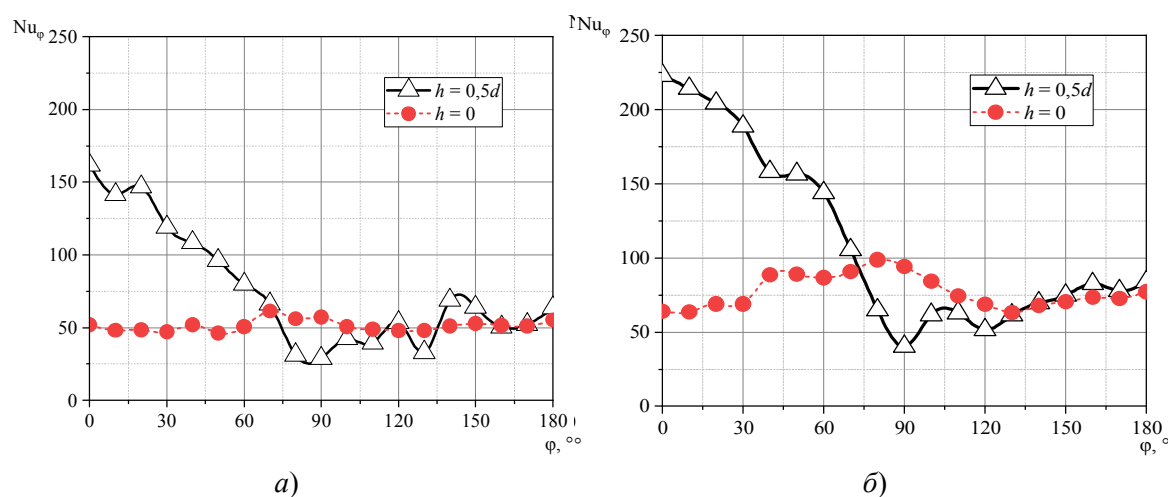


Рис. 3. Распределение местного числа Нуссельта по второму цилиндру:
 а – $Re = 4800$; б – $Re = 9600$

Заметны значительные отличия в распределении местного КТО: оно зависит и от параметра h , и от режима течения (числа Рейнольдса). В случае рядного расположения для второго цилиндра отсутствует явный минимум, тогда как при шахматном расположении для верхней полуповерхности распределение качественно совпадает с распределением КТО по одиночному поперечно обтекаемому цилиндру. Повышение КТО вблизи лобовой точки второго цилиндра можно объяснять тем, что в этой области второй цилиндр в шахматном расположении взаимодействует с вихрем, сошедшим с впереди стоящего цилиндра. В случае рядного расположения – напротив: лобовая часть цилиндра расположена в застойной зоне вихревой дорожки. При угле $\phi > 120^\circ$ различия между шахматным и рядным расположением выражены слабее, особенно при высоких скоростях набегающего потока.

Исследован теплообмен в тандеме цилиндров с различной конфигурацией: рядным и шахматным расположением. Установлено повышение местного числа Нуссельта вблизи лобовой точки для системы с шахматным расположением цилиндров.

Литература

1. Измерение локальной плотности теплового потока методом градиентной теплотометрии в топке котла ДКВр-10/13 / А. В. Бикмулин [и др.] // Развивая энергетическую повестку будущего : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. для представителей сообщества молодых инженеров ТЭК, Санкт-Петербург, 2021 г. – СПб., 2021. – С. 115–118.
2. Градиентная теплотометрия в исследовании конденсации водяного пара на внешней поверхности вертикальной и наклонной трубы / Э. Р. Зайнуллина [и др.] // Тр. седьмой Рос. нац. конф. по теплообмену, Москва, 22–26 окт. 2018 г. : в 3 т. – М., 2018. – С. 60–63.
3. Исследование течения и теплообмена у поверхности одиночного кольцевого ребра /

В. Ю. Митяков [и др.] // Вестн. Рыбин. гос. авиац. технол. акад. им. П. А. Соловьева. – 2018. – № 1 (44). – С. 14–21.

УДК 621.311.22:697.34:005.93

ОЦЕНКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ БЕЛАРУСИ

В. Н. Романюк, А. А. Бобич

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Впервые на базе эксергетического метода и соответствующего эксергетического КПД проведена оценка термодинамической эффективности работы как для всей Белорусской энергосистемы в целом, так и для конденсационных электростанций в отдельности, за достаточно протяженный период с 2000 по 2021 г. за разные характерные периоды времени. Рассмотрена динамика изменения количественной оценки термодинамической эффективности энергосистемы Беларуси как за последние двадцать лет, так и за годовой, отопительный и межотопительный периоды 2021 г. Показаны изменения упомянутых показателей, связанные с вводом в строй Белорусской АЭС. Сделан вывод о целесообразности рассмотрения работ по дальнейшей реконструкции энергоисточников энергосистемы с целью достижения относительного веса природного газа в приходной части энергобаланса до значений не выше 50 % путем повышения ее термодинамической эффективности, снизившихся с вводом в строй Белорусской АЭС.

Ключевые слова: энергосистема Беларуси, термодинамическая эффективность, эксергетический КПД, Белорусская АЭС.

THERMODYNAMIC EFFECTIVENESS ASSESSMENT OF THE BELARUSIAN POWER SYSTEM

V. N. Romaniuk, A. A. Bobich

Belarusian national technical university, Minsk

This paper shows novel thermodynamic effectiveness assessment based on exergy method and exergy efficiency of the Belarussian power grid as well as separate condensing power plants from 2000 till 2021. Quantitative evaluation of trends in Belarussian power grid thermodynamic effectiveness over last 20 years as well as for last year and heating and non-heating seasons are given. The changes in the mentioned indicators with the commissioning of the Belarussian NPP are shown. It is concluded that future work on power sources modernization within the power system is reasonable and the aim is to lower natural gas consumption to 50% of all primary energy sources and to improve the power system thermodynamic efficiency, that had a light decrease with Belarussian NPP commissioning.

Keywords: of the Belarussian power system; thermodynamic effectiveness, exergy efficiency; Belarussian NPP.

Энергетическую эффективность теплоэнергетических систем в подавляющем большинстве случаев принято оценивать по удельным расходам условного топлива на производство преобразованных энергопотоков: электрической и тепловой энергии. Упомянутые показатели традиционны и достаточно удобны для энергетических систем с однородным оборудованием в случаях, когда в качестве первичного энергоресурса используется только органическое топливо. Если же в системе используются источники раздельной генерации электрической и тепловой энергии, а также используются источники комбинированного производства преобразованных энерго-

74 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

потоков, при этом имеет место использование различных первичных энергоресурсов (органическое и ядерное топливо, альтернативные источники энергии, побочные энергоресурсы, органические отходы промышленного и сельскохозяйственного производств), оценка таких сложных энергосистем по удельным расходам условного топлива на производство электрической и тепловой энергии теряет однозначность. Требуется иметь более универсальный индикатор энергетической эффективности. В этом качестве можно использовать термодинамические потенциалы, обладающие чрезвычайно важным свойством идентификации вида работы (механической, электрической и других видов в тех или иных условиях) [1, 2]. О целесообразности использования такого индикатора в технических приложениях указывал еще в 1928 г. академик В. И. Вернадский в своей работе «О задачах и организации прикладной научной работы АН СССР», что подчеркивает В. М. Бродянский в монографии [3].

В работе [3] анализируются методики оценки и термодинамической оптимизации технических систем преобразования энергии на базе эксергетических показателей, а также вопросы сравнения эффективности, комбинированной и отдельной выработки преобразованных энергопотоков с помощью эксергетического метода. Вместе с тем информации о применении соответствующих показателей на базе эксергетического метода оценки для больших энергетических систем с многоукладной структурой в общедоступной литературе нами не найдено. При этом следует отметить, что для отдельных технических систем методика эксергетического анализа достаточно хорошо отработана [2–10]. Детально методика оценки термодинамической эффективности энергосистемы приведена в [11–13].

Расчеты эксергетического коэффициента полезного действия (КПД) работы Белорусской энергосистемы проведены за период 2000–2021 гг. на базе данных годовых статистических отчетов. На рис. 1 приведена динамика изменения эксергетического КПД энергосистемы за указанный период на фоне данных по традиционным характеристикам (удельных расходов топлива), используемых для оценки работы энергетического оборудования.

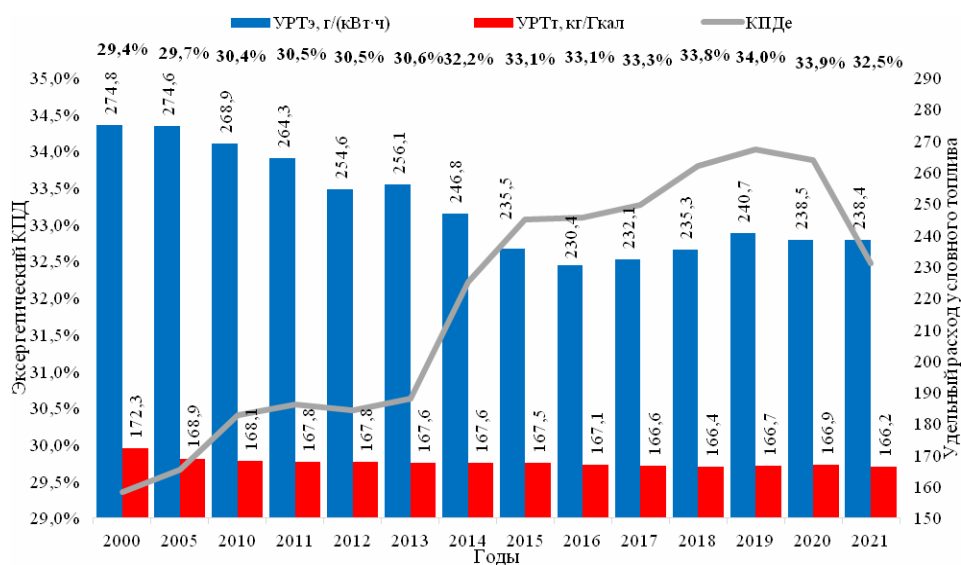


Рис. 1. Изменение энергетических и термодинамических показателей работы энергосистемы Беларуси в период 2000–2021 гг.:

УРТэ – удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии, г/кВт · ч;

УРТ_т – удельный расход условного топлива на отпуск тепловой энергии, кг/Гкал;
КПД_е – эксергетический КПД

Из анализа приведенных на рис. 1 данных следует, что увеличение эксергетического КПД с 29,4 до 34,0 % объединенной энергетической системы Беларуси объективно отражает ее техническое перевооружение за рассматриваемые годы. Однако с вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС энергетическая эффективность энергосистемы снизилась на 1,4 до 32,5 % в 2021 г., что ожидаемо, исходя из характеристик электроисточников. Однако экономически это целесообразно, поскольку АЭС вытесняет из оборота существенно более дорогой вид топлива – природный газ. Вместе с тем отмеченное снижение термодинамической эффективности работы энергосистемы указывает на необходимость дальнейшего развития энергосистемы с тем, чтобы восстановить значение этого объективного индикативного показателя. Это важно для уменьшения потребления природного газа, вес которого с вводом АЭС снижается с 97 до 59 % [14], но остается доминирующим первичным энергоресурсом энергосистемы и превышает порог 50 % установленный для этого показателя энергетической безопасности.

Литература

1. К вопросу оценки термодинамической эффективности Белорусской энергосистемы / Е. О. Воронов [и др.] // Энергия и менеджмент. – 2016. – № 3 (90). – С. 2–7.
2. Бродянский, В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В. М. Бродянский. – М. : Энергия, 1973. – 296 с.
3. Бродянский, В. М. Эксергетический метод и его приложения / В. М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
4. Шаргут, Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела – М. : Энергия, 1968. – 273 с.
5. Сажин, Б. С. Эксергетический метод в химической технологии / Б. С. Сажин, А. П. Булеков. – М. : Химия, 1992. – 208 с.
6. Сорин, М. В. Методика однозначного определения эксергетического КПД технических систем преобразования энергии и вещества / М. В. Сорин, В. М. Бродянский // Изв. вузов. Энергетика. – 1985. – № 3. – С. 78–88.
7. Kriese, S. Exergie in der Kraftwerkstechnik. Leistungskraftwerke-Dampfkraftwerke-Gasturbinen-Warme-Kraft-Kopplung / S. Kriese. – Essen : Vulkan, 1971. – 148 с.
8. Mujanovic, R. Bila s parnog bloka po drugom zakonu termodinamike / R. Mujanovic // Termotechnika. – 1977. – N 3. – P. 56–67.
9. Pruschek, R. Exergetische Analyse eines Kernkraftswerke / R. Pruschek // BWK. – 1970. – N 1. – P. 64–70.
10. Siegel, K. Exergieanalyse heterogenen Leistungsreaktoren / K. Siegel // BWK. – 1970. – N 9. – P. 434–440.
11. Романюк, В. Н. Оценка термодинамической эффективности функционирования энергосистемы Беларуси в условиях работы Белорусской АЭС / В. Н. Романюк, А. А. Бобич // Энергия и менеджмент. – 2016. – № 4 (91). – С. 2–9.
12. Андриященко, А. И. Показатели эффективности сложных систем энергоснабжения и взаимосвязь между ними / А. И. Андриященко // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности : материалы четвертой Рос. науч.-техн. конф., Ульяновск, 24–25 апр. 2003 г. / Ульян. гос. техн. ун-т. – Ульяновск, 2003. – С. 12–14.
13. Бобич, А. А. Комплекс энергосберегающих мероприятий на ТЭЦ при адаптации к условиям работы энергосистемы с вводом Белорусской АЭС : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.14 / А. А. Бобич. – Минск, 2018. – 224 с.
14. Повышение энергетической эффективности и снижение энергетической составляющей себестоимости продукции теплоэнергетических и теплотехнических производств в современных условиях / М. П. Малащенко [и др.] // Энергоэффективность. – 2019. – № 8. –

УДК 620.97

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭЦ ЗА СЧЕТ
РЕГЕНЕРАТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СБРОСНЫХ ПОТОКОВ
ТЕПЛОТЫ НА ПРИМЕРЕ ЦИКЛА ПТ-60**

В. В. Янчук, В. Н. Романюк

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

На производственных и производственно-отопительных ТЭЦ невозврат конденсата промышленного отбора в ряде случаев достигает 60 % и более. Для таких станций предложено использовать низкопотенциальные тепловые потоки для подогрева потока подпиточной воды в тепловом насосе. Приведено описание и результаты расчета схемы с паровым обогревом АБТН. Показано, что электрический КПД станции с паровой турбиной ПТ-60 при этом увеличивается на 1,3 % при полном невозврате конденсата.

Ключевые слова: ТЭЦ; ПТ-60, низкотемпературные тепловые потоки, абсорбционный тепловой насос, энергосбережение.

**CHP EFFICIENCY INCREASE BY WASTE HEAT FLOWS
REGENERATIVE UTILIZATION AS IN THE CASE
OF STEAM TURBINE ST-60**

V. V. Yanchuk, V. N. Romaniuk

Belarusian national technical university, Minsk

Condensate return rate at CHPs with industrial and industrial-and-heating steam extractions in some cases reaches 60% and more. It is proposed to use low temperature heat flows in heat pumps to heat up the make-up water flow. The thermodynamic system description and calculation results for steam-driven absorption heat pump are given. The electrical efficiency of the power plant increases by 1,3% in case with complete condensate non-recovery.

Keywords: CHP, steam turbine ST-60, low temperature heat flows, absorption heat pump, energy saving.

В 2020 г. 97,2 % всей электроэнергии в Республике Беларусь было выработано на тепловых электрических станциях (ТЭС) и менее 3 % пришлось на долю возобновляемых источников и атомной электростанции (АЭС) [1].

Соответственно, основная доля электроэнергии в Беларуси производится из органического топлива. После полного ввода Белорусской атомной станции в эксплуатацию доля природного газа в энергобалансе снизится до 57 %, что тем не менее составляет значительную часть и требует дальнейшей работы по повышению эффективности использования природного газа.

В балансе источников, работающих на органическом топливе, 46,7 % произведенной электроэнергии приходится на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) и 42,2 % – на конденсационные электростанции (КЭС) [1].

При этом паротурбинные циклы составляют преимущественную долю среди циклов ТЭС ОЭС Республика Беларусь. И среди них наиболее распространенным типом турбоагрегата является ПТ-60 и его развитие (ПТ-65, ПТ-70 и ПТ-80). Соответственно, в первую очередь, следует рассмотреть возможность и эффективность регенеративного использования низкопотенциальных сбросных тепловых потоков

применительно к данному типу турбоагрегата.

Рассмотрим работу турбоустановки при следующих параметрах: расход пара в П-отбор – 140 т/ч, нагрузка теплофикационного отбора – 52,3 Гкал/ч, что соответствует расходу пара в Т-отбор – 100 т/ч, пропуск пара в конденсатор – 12 т/ч. Предлагается модернизация классического цикла данной турбоустановки путем включения в схему абсорбционного теплового насоса (АБТН) для подогрева подпиточной воды.

Далее следует определить параметры потоков АБТН. Однозначно известны параметры утилизируемого потока – в этой роли выбрана циркуляционная вода охлаждения конденсатора паровой турбины, температурный график – 25/20 °С.

Нагреваемый поток – поток подпиточной воды, который после блока водоподготовки с температурой около 35 °С подмешивается к потоку основного конденсата. Расход подпиточной воды будет значительно отличаться для каждой конкретной станции, так как от технологии, для которой отпускается пар, зависит процент возврата конденсата промышленного отбора. Так, на Гродненской ТЭЦ 60 % конденсата промышленного отбора не возвращается обратно в цикл, а на Новополоцкой ТЭЦ конденсат вовсе не возвращается.

В качестве греющего потока возможно выбрать водяной пар, который имеется в регенеративных отборах. При использовании пара отбора на ПНД-3 увеличение электрической мощности станции для варианта с полным невозвратом конденсата составит 0,8 МВт, при этом относительное увеличение электрического КПД составит 1,3 %.

Приведены полученные расчетные зависимости прироста выработки электрической мощности станции в зависимости от процента возврата конденсата производственного отбора в цикл (рис. 1) и относительное увеличение электрического КПД турбоустановки (рис. 2).

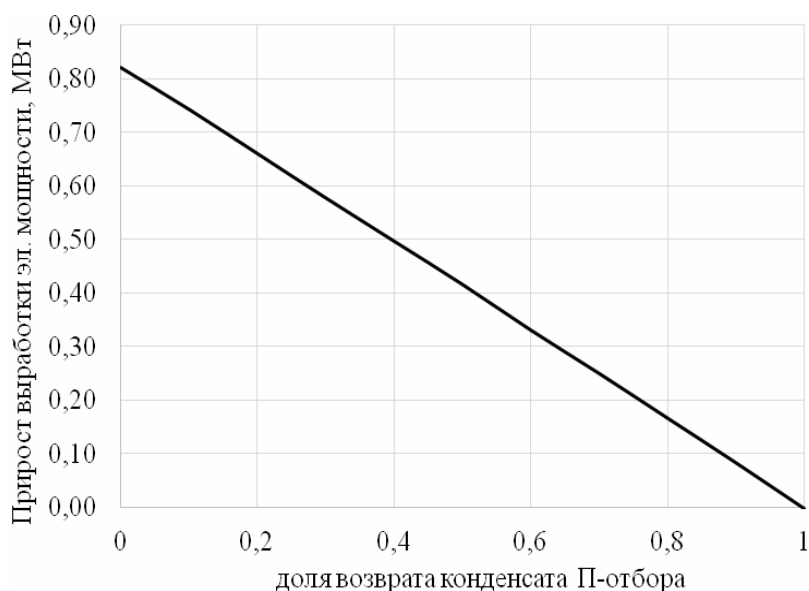


Рис. 1. Прирост выработки электрической мощности в зависимости от процента возврата конденсата

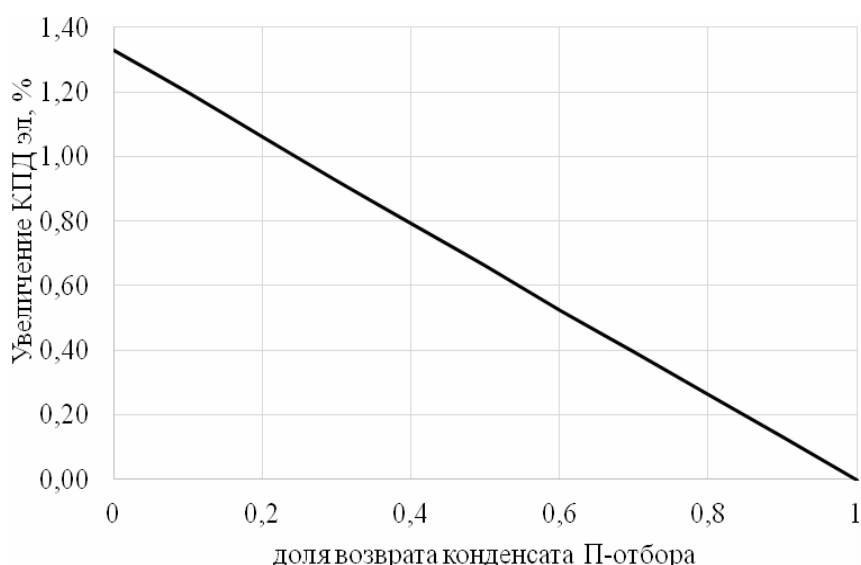


Рис. 2. Увеличение электрического КПД станции в зависимости от процента возврата конденсата

Полученные данные подтверждают потенциал выбранного направления исследований. На следующем этапе исследований следует выполнить расчет повышения эффективности работы цикла паровой турбины при использовании на привод АБТН пара с более высоким давлением – пара более высоких отборов, что позволит нагревать поток подпиточной воды до более высокой температуры. Также следует рассчитать эффективность схем с использованием дымовых газов из тракта котла в качестве греющего потока АБТН.

Литература

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/-energeticheskaya-statistika/anual-dannye/>. – Дата доступа: 19.09.2022.
2. Романюк, В. Н. Обоснование параметров АБТН для утилизации ВЭР на ТЭЦ с помощью пассивного эксперимента и определение соответствующих изменений различных оценок работы энергосистемы / В. Н. Романюк, А. А. Бобич // Энергия и менеджмент. – 2016. – № 1. – С. 14–23.
3. Романюк, В. Н. Время применения абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов на ТЭЦ Беларуси / В. Н. Романюк, А. А. Бобич // Энергия и менеджмент. – 2017. – № 2. – С. 2–5.

УДК 658.261:621.56

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЛИГЕНЕРАЦИОННЫХ ТУРБОУСТАНОВОК НА ДИОКСИДЕ УГЛЕРОДА

А. В. Овсянник, В. П. Ключинский, Н. В. Овсянник

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Произведен технико-экономический анализ полигенерационных установок, позволяющих одновременно производить электрическую энергию, теплоту, холод, диоксид углерода в жидком и газообразном агрегатном состоянии, а также утилизировать часть выбрасы-

ваемого в атмосферу диоксида углерода за счет его абсорбции из продуктов сгорания и использования в коммерческих и технологических целях. Получены значения эксергетической и экономической эффективности анализируемых схем полигенерации.

Ключевые слова: турбоустановка, низкокипящее рабочее тело, производство углекислоты, повышение эффективности, полигенерация, диоксид углерода.

FEASIBILITY STUDY OF POLYGENERATION CARBON DIOXIDE TURBINE PLANTS

A. V. Ovsyannik, V. P. Kliuchinski, N. V. Ovsyannik

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

A technical and economic analysis of polygeneration plants has been carried out, allowing to simultaneously produce electrical energy, heat, cold, carbon dioxide in liquid and gaseous aggregate state, as well as to dispose of part of the carbon dioxide emitted into the atmosphere, due to its absorption from combustion products and use for commercial and technological purposes. The values of the exergetic and economic efficiency of the analyzed polygeneration schemes are obtained.

Keywords: turbine plant, low-boiling working fluid, carbon dioxide production, efficiency increase, polygeneration, carbon dioxide.

Цель данной работы – технико-экономический анализ полигенерационных установок на диоксиде углерода.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: 1) произведен эксергетический расчет полигенерационной установки; 2) определены экономические показатели схем полигенерации; 3) произведен анализ полученных результатов.

Термодинамический анализ полигенерационных установок. Анализ полигенерационных установок (схемы которых представлены в [1]) производился при помощи разработанной программы для моделирования, проведения эксергетического анализа и оптимизации тригенерационных и полигенерационных установок на основе низкокипящих рабочих тел [2]. В основе методики эксергетического анализа лежат труды Я. Шаргута, Р. Петела, В. М. Бродянского, В. Фраштера и других выдающихся ученых.

Параметры диоксида углерода перед частью высокого давления (ЧВД) и частью низкого давления (ЧНД) турбины представлены в табл. 1. В качестве сверхкритических параметров рабочего тела принимались термодинамически оптимальные параметры, т. е. параметры, при которых достигается максимальная эксергетическая эффективность турбоустановок на диоксиде углерода.

Учитывая, что для всех исследуемых вариантов схем полигенерации количество тепловой энергии, холода, углекислоты, вырабатываемых в полигенерационной установке, и их параметры одинаковы, то сравнительный анализ вышеупомянутых схем можно вести по вырабатываемой и потребляемой в установке электрической энергии. Результаты термодинамического расчета полигенерационных установок представлены в табл. 2. Представлено распределение эксергии электрической энергии по производящим и потребляющим электричество элементам полигенерационной установки, сумма которых представляет электрический эксергетический КПД полигенерационной установки.

Эксергетический анализ предложенных схем полигенерации позволяет установить:

80 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

- полигенерационные установки с субкритическими параметрами диоксида углерода не отличаются высокой термодинамической эффективностью;
- применение двукратного перегрева рабочего тела при неизменном субкритическом давлении перед ЧВД турбины может приводить к снижению термодинамической эффективности полигенерационной установки;
- повышение параметров углекислоты до сверхкритических, термодинамически оптимальных значений позволяет значительно улучшить эффективность турбоустановок на диоксиде углерода и, как следствие – полигенерационных установок в целом;
- применение двукратного перегрева в схемах полигенерации со сверхкритическими параметрами диоксида углерода улучшает термодинамическую эффективность полигенерации.

Таблица 1

Параметры диоксида углерода

Схема	Температура перед ЧВД турбины, °С	Давление перед ЧВД турбины, МПа	Температура перед ЧНД турбины, °С	Давление перед ЧНД турбины, МПа
Субкритические параметры	250	6,0	–	–
	250	6,0	250	5,0
Сверхкритические параметры	250	21,3	–	–
	250	26,4	250	13,7

Таблица 2

Результаты эксергетического расчета полигенерационных установок

Источник энергии	Вариант схемы		Эксергия вырабатываемого и потребляемого электричества, %				
	Перегрев	Параметры	ГТУ	ТУ	Н	К	Σ
ГТУ	Однократный	Субкритические	28,8	1,1	-0,2	-1,4	28,3
		Сверхкритические	28,8	11,7	-4,1	-1,4	35,0
	Двукратный	Субкритические	28,8	0,8	-0,1	-1,4	28,1
		Сверхкритические	28,8	13,5	-4,9	-1,4	36,0
ВЭР	Однократный	Субкритические	–	2,5	-0,4	-2,3	-0,2
		Сверхкритические	–	41,5	-14,4	-2,3	24,9
	Двукратный	Субкритические	–	2,3	-0,3	-2,3	-0,3
		Сверхкритические	–	47,9	-17,5	-2,3	28,2

Определение экономических показателей эффективности полигенерационных установок. Методика определения экономических показателей эффективности схем полигенерации представлена в работе [3].

В табл. 3 представлен анализ следующих вариантов схем: вариант № 1 – полигенерационная установка с однократным перегревом и субкритическими параметрами углекислоты перед турбиной; вариант № 2 – то же, но со сверхкритическими па-

Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика 81

раметрами углекислоты перед турбиной; вариант № 3 – со сверхкритическими параметрами и двукратным перегревом углекислоты в котле-утилизаторе.

На основании произведенного экономического анализа схем полигенерации установлено:

– полигенерационные установки с ГТУ на субкритических параметрах диоксида углерода перед турбиной не отличается высокой экономической эффективностью;

– повышение параметров углекислоты в турбоустановке до сверхкритических, термодинамически оптимальных значений значительно улучшает показатели эффективности схем полигенерации;

– применение двукратного перегрева углекислоты в котле-утилизаторе улучшает показатели экономической эффективности совместного производства различных видов энергии и углекислоты.

Таблица 3

Экономические показатели эффективности полигенерационных установок

Показатель	ГТУ			ВЭР		
	Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3	Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3
Отпуск электрической энергии, $\times 10^6$ МВт · ч/год	21,07	26,06	26,81	968	10424	11839
Отпуск тепловой энергии, $\times 10^3$ МВт · ч/год	7,37					
Отпуск холод (+4 °С), $\times 10^3$ МВт · ч/год	1,49					
Отпуск холод (–18 °С), $\times 10^3$ МВт · ч/год	2,23					
Отпуск жидкой CO ₂ , $\times 10^3$ т/год	1,42					
Отпуск газообразной CO ₂ , $\times 10^3$ т/год	2,83					
Экономический эффект, $\times 10^6$ руб./год	8,25	9,68	9,90	2,19	5,44	5,91
Стоимость установки, $\times 10^6$ руб.	9,94	12,78	13,20	4,53	10,72	11,66
Расходы на эксплуатацию, $\times 10^6$ руб./год	8,25	9,68	9,90	0,41	0,96	1,05
Статический срок окупаемости, лет	4,3	3,7	3,6	2,5	2,4	2,4
Внутренняя норма доходности, %	22,8	27,0	27,5	39,3	41,7	41,7
<i>При ставке дисконтирования 10 %</i>						
Динамический срок окупаемости, лет	5,9	4,8	4,7	3,1	2,9	2,9
Чистый дисконтированный доход, тыс. руб.	9,66	16,83	17,91	10,63	27,41	29,73

Показатель	ГТУ			ВЭР		
	Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3	Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3
<i>При ставке дисконтирования 20 %</i>						
Динамический срок окупаемости, лет	10,9	7,3	7,0	3,9	3,6	3,6
Чистый дисконтированный доход, тыс. руб. $\times 10^6$ руб.	1,27	4,16	4,59	4,14	11,09	12,01

Таким образом, сделаем вывод, что полигенерационные установки на основе диоксида углерода обладают хорошими показателями как термодинамической, так и экономической эффективности, что свидетельствует о целесообразности применения данных схем для производства электрической энергии, теплоты, холода, жидкой и газообразной углекислоты.

Литература

1. Trigeneration units on carbon dioxide with two-time overheating with installation of turbo detainer and recovery boiler / A. V. Ovsyannik [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1683, N 042010.
2. Овсянник, А. В. Разработка компьютерной программы для оптимизации параметров низкокипящего рабочего тела в турбодетандерной установке / А. В. Овсянник, В. П. Ключинский // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2020. – № 3/4. – С. 108–115.
3. Ключинский, В. П. Термодинамический и технико-экономический анализ тригенерационных установок на органическом цикле Ренкина / В. П. Ключинский, А. В. Овсянник // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2022. – № 1. – С. 80–89.

УДК 621.311.22:697.34:005.93

ОЦЕНКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭЦ

А. А. Бобич

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Традиционная оценка работы ТЭЦ на базе широко известных характеристик, таких как удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии и отпуск тепловой энергии не дает полной картины и не всегда применяется корректно. В работе впервые на базе эксергетического метода и соответствующего эксергетического КПД проведена оценка термодинамической эффективности работы ТЭЦ энергосистемы Беларуси. Определены наиболее совершенные ТЭЦ с термодинамической точки зрения. Получена количественная оценка термодинамической эффективности крупных и малых ТЭЦ энергосистемы за годовой, отопительный и межотопительный периоды. Сделан вывод о целесообразности рассмотрения работ по дальнейшей реконструкции ТЭЦ с целью повышения эффективности использования природного газа на ТЭЦ.

Ключевые слова: ТЭЦ, энергосистема Беларуси, термодинамическая эффективность, эксергетический КПД, Белорусская АЭС.

THERMODYNAMIC EFFECTIVENESS ASSESSMENT CHP

A. A. Bobich

Belarusian national technical university, Minsk

Traditional assessment CHP based on classical characteristics such as standard fuel specific consumption for electric and heat power generation is not always correct. This paper shows novel thermodynamic effectiveness assessment based on exergy method and exergy efficiency CHP of the Belarussian power grid. Most thermodynamically complete cogeneration power plants of the energy system are defined. The thermodynamic efficiency quantitative assessment of large and small CHPs of the energy system for the year, heating and non-heating periods has been obtained. It is concluded that it is expedient to consider work on the further reconstruction of the CHP in order to increase the efficiency of the use of natural gas at the CHP.

Keywords: CHP; of the Belarusian power system; thermodynamic effectiveness, exergy efficiency; Belorussian NPP.

Комбинированная выработка преобразованных энергопотоков (тепловой и электрической энергии) является наиболее совершенной технологией использования органического топлива в энергетике.

В энергосистеме Беларуси роль теплофикационных мощностей велика, годовой отпуск электроэнергии от ТЭЦ оценивается в 36–42 % [1], за 2020 г. – 39 %.

Внедрение двигателей внутреннего сгорания (ДВС) на базе газотурбинных и газопоршневых ДВС позволило существенно повысить на 23–38 % эффективность использования природного газа на ТЭЦ по сравнению с отдельной выработкой тепловой энергии на котельной и электроэнергии на КЭС.

В соответствии с индикатором энергетической безопасности относительный вес природного газа в приходной части энергобаланса страны необходимо снизить до 50 % [2]. С вводом Белорусской АЭС его относительный вес в приходной части энергобаланса страны снизится с 97 до 59 % [3], и необходимо дальше повышать эффективность его использования за счет внедрения наиболее эффективных ДВС на ТЭЦ [4].

С вводом в строй Белорусской АЭС в силу субъективных причин, связанных с созданием генерирующих мощностей энергосистемы Республики Беларусь еще в рамках энергосистемы СССР, сегодня возникли задачи, связанные с требованиями эксплуатации, решение которых может вытеснить ТЭЦ из генерации электроэнергии.

В этом контексте требуется всесторонний анализ работы и всех ТЭЦ, и энергосистемы в целом с тем, чтобы минимизировать замену ТЭЦ на котельные и сохранить в составе энергосистемы эти высокоэффективные теплогенерирующие источники.

В качестве показателей работы ТЭЦ принята термодинамическая оценка с помощью эксергетических КПД [5–13].

Ранжирование крупных и малых ТЭЦ по величине эксергетический КПД от большего к меньшему за 2020 г. приведено на рис. 1.

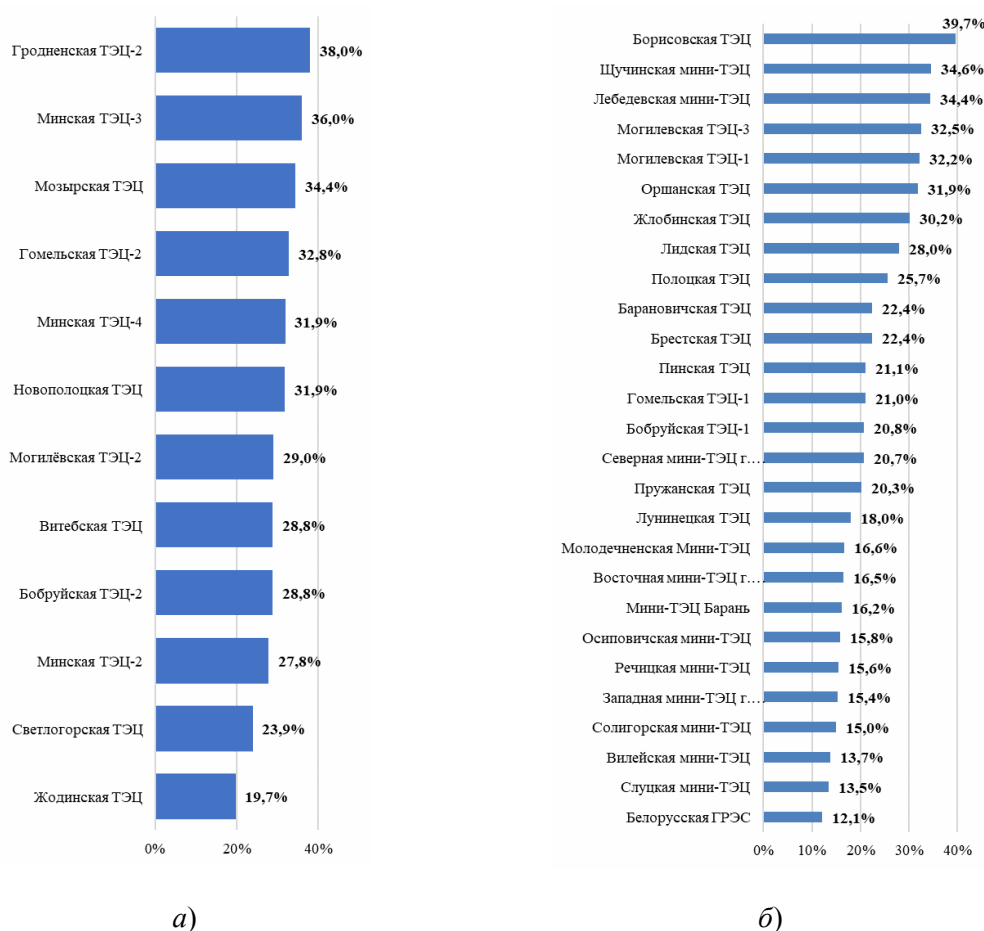


Рис. 1. Эксергетический КПД крупных и малых ТЭЦ энергосистемы Беларуси за 2020 г.: а – крупные ТЭЦ; б – малые ТЭЦ

Из анализа приведенных на рис. 1 данных следует:

1. Эксергетический КПД крупных ТЭЦ находится в широком диапазоне от 14 до 39 % в зависимости от конкретной ТЭЦ.

2. Эксергетический КПД малых ТЭЦ находится в широком диапазоне от 10 до 43 % в зависимости от конкретной ТЭЦ.

3. Максимальная термодинамическая эффективность (эксергетический КПД) имеет место на крупных ТЭЦ с парогазовыми блоками (Гродненская ТЭЦ-2, Минская ТЭЦ-3), а также для малых ТЭЦ с парогазовыми блоками (Борисовская ТЭЦ, Могилевская ТЭЦ-1, Могилевская ТЭЦ-3, Оршанская ТЭЦ, Лидская ТЭЦ) и газопоршневыми агрегатами (Жлобинская ТЭЦ, Щучинская мини-ТЭЦ, Лебедевская мини-ТЭЦ).

Литература

1. Бобич, А. А. Комплекс энергосберегающих мероприятий на ТЭЦ при адаптации к условиям работы энергосистемы с вводом Белорусской АЭС : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.14 / А. А. Бобич. – Минск, 2018. – 224 с.
2. Об утверждении концепция энергетической безопасности Республики Беларусь : Постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 23 дек. 2015 г. № 1084 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2015. – № 5/41477.
3. Повышение энергетической эффективности и снижение энергетической составляющей

- себестоимости продукции теплоэнергетических и теплотехнических производств в современных условиях / М. П. Малашенко [и др.] // Энергоэффективность. – 2019. – № 8. – С. 8–15.
4. Попырин, Л. С. Эффективность технического перевооружения ТЭЦ на базе парогазовых установок / Л. С. Попырин, М. Д. Дильман // Теплоэнергетика. – 2006. – № 2. – С. 34–39.
 5. К вопросу оценки термодинамической эффективности Белорусской энергосистемы / Е. О. Воронов [и др.] // Энергия и менеджмент. – 2016. – № 3 (90). – С. 2–7.
 6. Бродянский, В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В. М. Бродянский. – М. : Энергия, 1973. – 296 с.
 7. Бродянский, В. М. Эксергетический метод и его приложения / В. М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
 8. Шаргут, Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела. – М. : Энергия, 1968. – 273 с.
 9. Сорин, М. В. Методика однозначного определения эксергетического КПД технических систем преобразования энергии и вещества / М. В. Сорин, В. М. Бродянский // Изв. вузов. Энергетика. – 1985. – № 3. – С. 78–88.
 10. Kriese, S. Exergie in der Kraftwerkstechnik. Leistungskraftwerke-Dampfkraftwerke-Gasturbinen-Warme-Kraft-Kopplung / S. Kriese. – Essen : Vulkan. – 1971. – 148 с.
 11. Mujanovic, R. Bila s parnog bloka po drugom zakonu termodinamike / R. Mujanovic // Termotechnika. – 1977. – N 3. – P. 56–67.
 12. Pruschek, R. Exergetische Analyse eines Kernkraftwerke / R. Pruschek // BWK. – 1970. – N 1. – P. 6–70.
 13. Siegel, K. Exergieanalyse heterogenen Leistungsreaktoren / K. Siegel // BWK. – 1970. – N 9. – P. 434–440.

УДК 621.3.018.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

В. М. Шакин, А. О. Добродей

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрены разработанные авторами научно-технические решения по моделированию перенапряжений в электрических сетях. Поставленную задачу предполагается решать при помощи ЭВМ с использованием программного пакета NI Multisim 14.0 [1].

Моделирование в электроэнергетике позволяет заменить сложные, а иногда и невозможные эксперименты на реальных объектах экспериментированием на их моделях.

Для исследования перенапряжений в электрических сетях необходимо провести ряд экспериментов, чтобы получить данные о перенапряжениях, которые могут возникнуть в исследуемой сети, а также опробовать различные методы предупреждения и подавления возникающих перенапряжений.

Ключевые слова: моделирование в электроэнергетике, исследования перенапряжений в электрических сетях, программный пакет NI Multisim 14.0.

MODELING OF OVERVOLTAGES IN POWER DISTRIBUTION NETWORKS

V. M. Shakin, A. O. Dobrodey

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

In the paper the scientific and technical solutions developed by the authors of modeling overvoltages in electric networks are considered. It is assumed to solve this problem by computer using the software package NI Multisim 14.0 [1].

86 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

Modeling in the electric power industry allows replacing complex and sometimes impossible experiments on real objects by experiments on their models.

To study overvoltages in electrical networks, it is necessary to perform a number of experiments to obtain data on overvoltages that may occur in the network under study, as well as to try out different methods for preventing and suppressing the arising overvoltages.

Keywords: modeling in the electric power industry, studies of overvoltages in electric networks, NI Multisim 14.0 software package.

Для исследования перенапряжения выберем воздушную линию электропередач длиной 40 км. Линия выполнена проводом АС-150. Диаметр провода $d = 17,1$ мм. Удельное активное сопротивление $r_0 = 0,198$ Ом/км. Удельное индуктивное сопротивление $x_0 = 0,406$ Ом/км. На рис. 1 показаны применяемые изолирующие траверсы с обозначением расстояний между проводами [2].

Найдем активное и индуктивное сопротивление линии и емкостную проводимость [2].

Активное сопротивление линии будет равно:

$$R_{\text{л}} = r_0 l = 0,198 \cdot 40 = 7,92 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление линии равно:

$$X_{\text{л}} = x_0 l = 0,406 \cdot 40 = 16,24 \text{ Ом.}$$

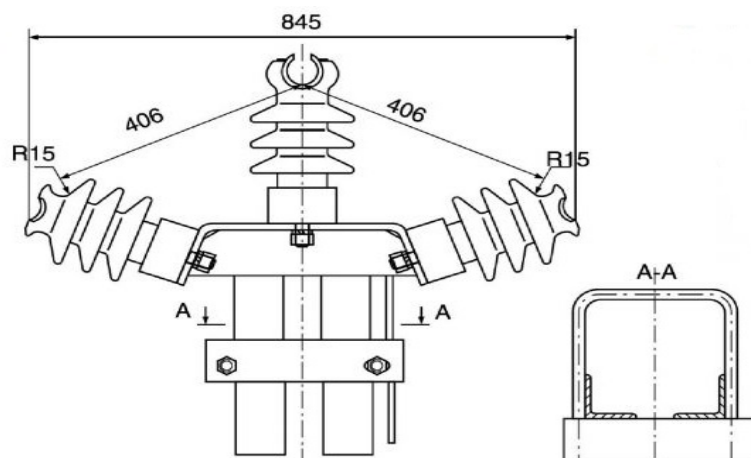


Рис. 1. Изолирующие траверсы для линии энергопередач

Индуктивность линии будет равна:

$$L = \frac{X}{2\pi f} = \frac{16,24}{2\pi \cdot 50} = 0,052 \text{ Гн.}$$

Емкостная проводимость равна:

$$B_{\text{л}} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6} \cdot l}{\lg(D/r)},$$

где D – среднее геометрическое расстояние между проводами.

В нашем случае среднее расстояние между проводами будет равно:

$$D = \sqrt[3]{D_{12}D_{13}D_{23}} = \sqrt[3]{0,406 \cdot 0,406 \cdot 0,845} = 0,517 \text{ м.}$$

В результате получим:

$$B_{л} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6} \cdot 40}{\lg(0,517 / 0,00855)} = 1,702 \cdot 10^{-4} \text{ См.}$$

Емкость линии будет равна:

$$C_{л} = \frac{B_{л}}{2\pi f} = \frac{1,702 \cdot 10^{-4}}{2\pi 50} = 0,542 \text{ мкФ.}$$

Проведем моделирование перенапряжений в электрических сетях для системы заземления TN-C [3]. На рис. 2 показана схема для моделирования однофазного замыкания на землю в системе TN-C. Для этой системы функциональный ноль и защитный проводник объединены на всем протяжении – используется четырехпроводная система. Нейтраль генератора при этом глухо заземлена [3].

Запустим моделирование в программном пакете NI Multisim 14.0 и получим осциллограмму напряжений в фазе, в которой произошло замыкание и в одной из рабочих фаз [1]. Полученная осциллограмма показана на рис. 3.

Коэффициент перенапряжения будет равен:

$$K = \frac{18148}{14277} = 1,27.$$

Длительность перенапряжения будет равна 0,063 с.

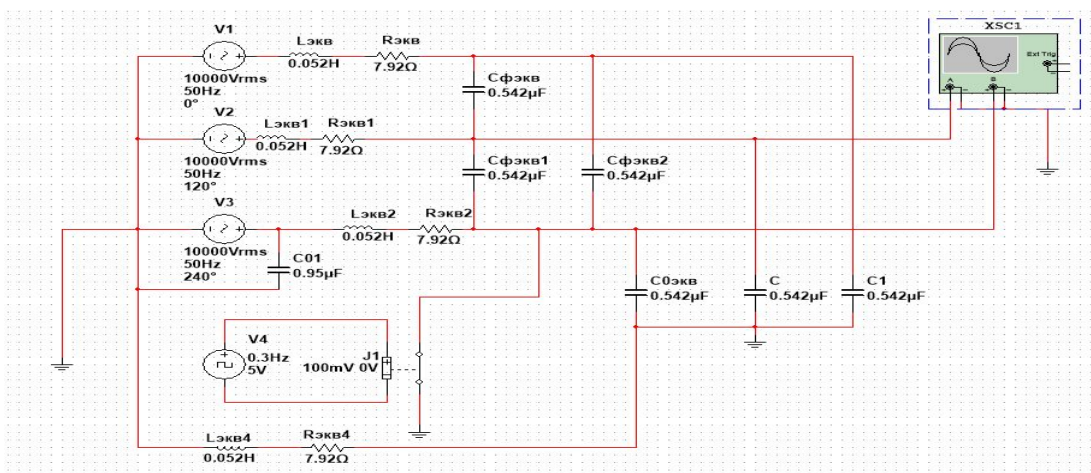


Рис. 2. Схема для моделирования перенапряжений при системе заземления TN-C

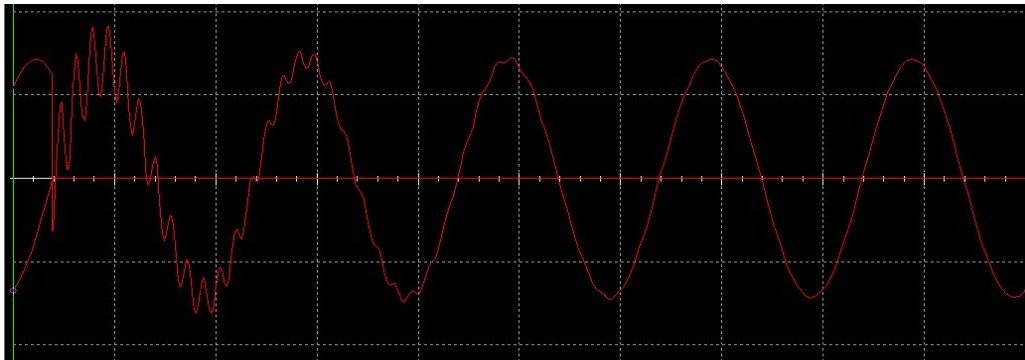


Рис. 3. Осциллограмма перенапряжений для системы TN-C

Для защиты от перенапряжения применим резистивное заземление нейтрали генератора. Для сопротивления, равного 20 Ом, получим осциллограмму, показанную на рис. 4.

Коэффициент перенапряжения будет равен:

$$K = \frac{16858}{14254} = 1,18.$$

Коэффициент перенапряжения снизился, но при этом величина перенапряжения остается стабильной на все время замыкания.

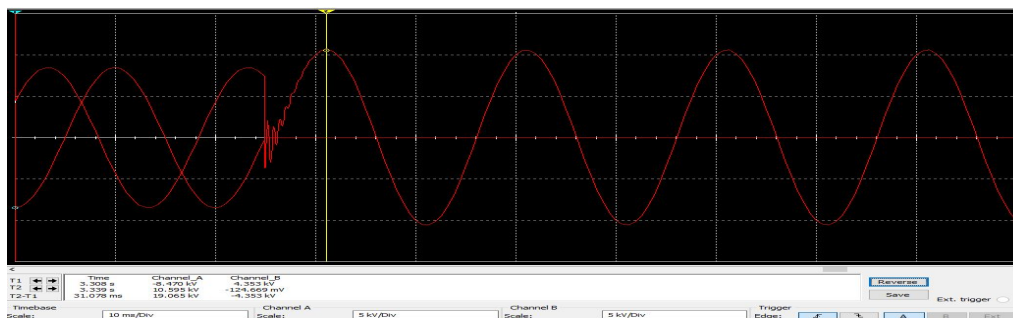


Рис. 4. Осциллограмма перенапряжений для системы TN-C при заземлении нейтрали через резистор 20 Ом

Для сопротивления, равного 5 Ом, получим осциллограмму, показанную на рис. 5.

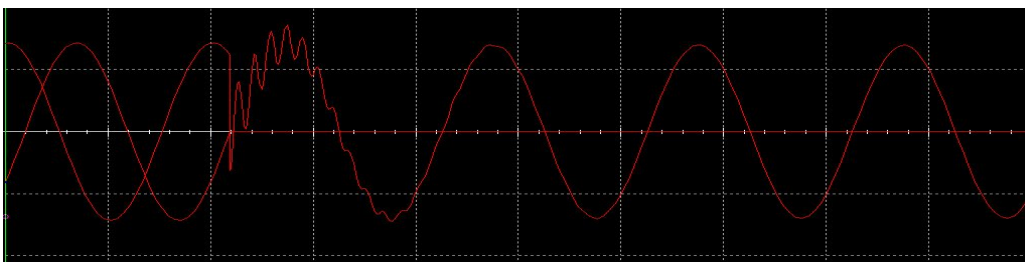


Рис. 5. Осциллограмма перенапряжений для системы TN-C при заземлении нейтрали через резистор 5 Ом

Коэффициент перенапряжения будет равен:

$$K = \frac{16927}{13919} = 1,21.$$

Коэффициент перенапряжения снизился, длительность перенапряжения – 0,04 с.

С целью исследования влияния и ограничения перенапряжений был проведен ряд экспериментов в программном пакете NI Multisim 14.0 [1]. При переходных процессах в момент замыкания одной из фаз на землю получены осциллограммы перенапряжений в различных режимах работы моделируемой сети. По полученным осциллограммам рассчитаны кратности перенапряжения и длительности перенапряжений. В качестве мероприятия по уменьшению уровня перенапряжения при однофазном замыкании на землю предложено резистивное заземление нейтрали [3].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в системе заземления TN-C имеет смысл использовать заземление нейтрали через резистор. При этом сопротивление резистора должно быть меньше сопротивления линии.

Литература

1. Руководство Multisim / National Instruments Corporation. – 2007. – 491 с.
2. Защита сетей 6–35 кВ от перенапряжений / Г. А. Евдокунин [и др.] ; под ред. Ф. Х. Халилова, Г. А. Евдокунина, А. И. Таджибаева. – СПб. : Энергоатомиздат. С.-Петербург. отд-ние, 2002. – 272 с.
3. СТП 09110.20.187–09. Методические указания по заземлению нейтрали сетей 6–35 кВ через резистор. – ГПО «Белэнерго», 2009. – 69 с.

УДК 621.316.99:621.3.052.32:621.316.1:621.3.027.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

М. В. Каминский, А. О. Добродей

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Приведены результаты моделирования перенапряжений в сети 10 кВ в программном комплексе Multisim для различных режимов работы нейтрали. Получены осциллограммы фазных напряжений для сетей с изолированной и заземленной через резистор нейтралью. Произведен расчет кратности перенапряжений в сети 10 кВ. Наглядно показана необходимость применения резистивного заземления нейтрали для снижения кратности перенапряжений в сети.

Ключевые слова: изолированная нейтраль, однофазное замыкание на землю, перенапряжения, резистивное заземление нейтрали, моделирование перенапряжений.

MODELING OF OVERVOLTAGES

M. V. Kaminsky, A. O. Dobrodey

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The results of modeling overvoltages in a 10 kV network in the Multisim software package for various neutral operating modes are presented. Waveforms of phase voltages for networks with isolated and grounded through a resistor neutral are obtained. The multiplicity of overvoltages in the 10 kV network has been calculated. The necessity of resistive grounding of the neutral to reduce the multiplicity of overvoltages in the network is clearly shown.

90 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

Keywords: isolated neutral, single-phase earth fault, overvoltage, resistive grounding of neutral, overvoltage modeling.

Режим заземления нейтрали сетей 6–35 кВ определяет ток в месте повреждения и перенапряжения при однофазном замыкании на землю (ОЗЗ), схему построения релейной защиты, бесперебойность электроснабжения потребителей, безопасность персонала и электрооборудования при ОЗЗ [1].

До настоящего времени для сетей 6–35 кВ Республики Беларусь широко применялись системы с изолированной нейтралью и системы с компенсированной через дугогасящий реактор нейтралью, однако в соответствии с [2, 3] на вновь вводимых и реконструируемых подстанциях необходимо применять резистивное заземление нейтрали.

Целью данной работы является моделирование перенапряжений в сети 10 кВ для различных режимов работы нейтрали.

В данной работе моделирование проводилось для сети изображенной на рис. 1 в программном комплексе Multisim, схема замещения в программном комплексе Multisim представлена на рис. 2.

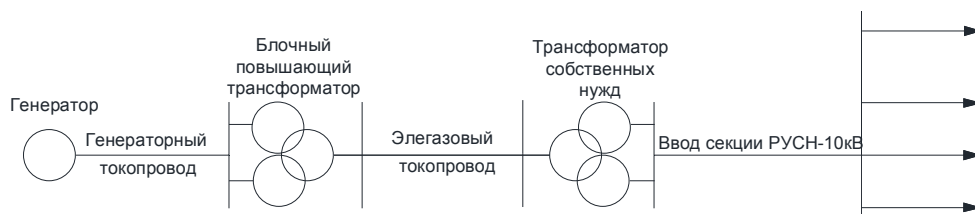


Рис. 1. Схема исследуемой сети

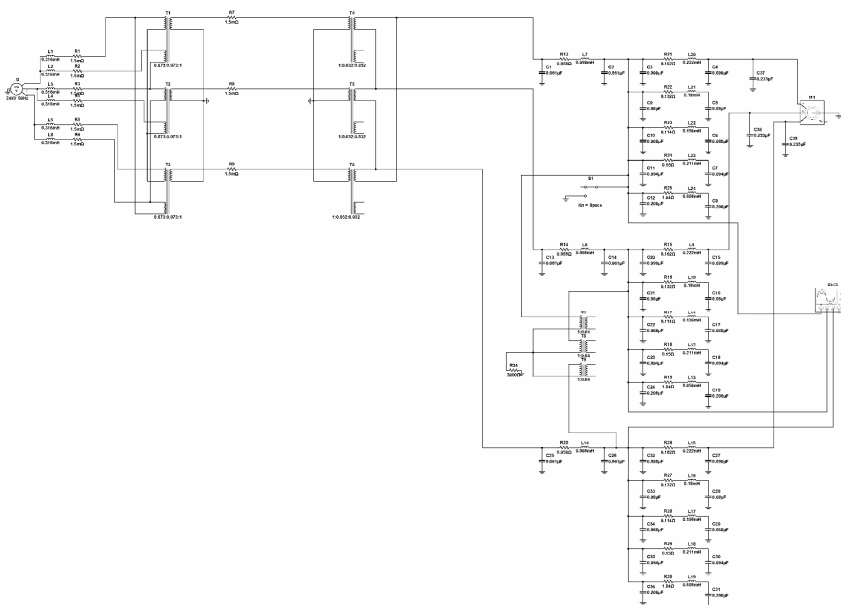


Рис. 2. Схема замещения в программном комплексе Multisim

Для схемы замещения были рассчитаны все параметры, в том числе сопротивление резистора для заземления нейтрали (расчетное значение – 2737 Ом, выбранное

Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика 91

из ряда стандартных – 3000 Ом) и мощность заземляющего трансформатора. Результаты моделирования в сети с изолированной нейтралью представлены на рис. 3.

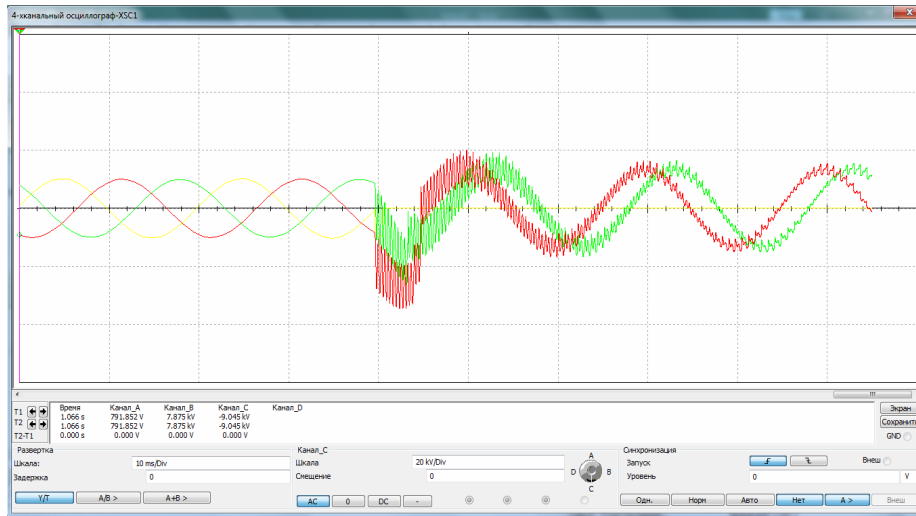


Рис. 3. Осциллограммы фазных напряжений в сети с изолированной нейтралью при однофазном замыкании на землю фазы А

Результаты моделирования в сети с нейтралью, заземленной через резистор, представлены на рис. 4. Общие результаты моделирования сведены в таблицу.

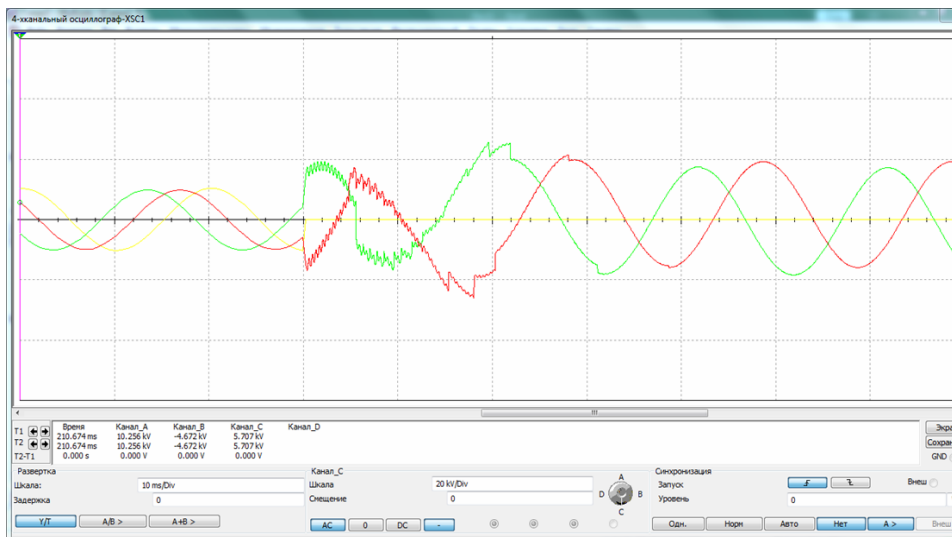


Рис. 4. Осциллограммы фазных напряжений при при однофазном замыкании на землю фазы А в сети с заземленной через резистор 3000 Ом нейтралью

Результаты моделирования

Параметр	K_{Π}	U_{\max} , кВ	U_{\min} , кВ	U_{\max} устр., кВ	U_{\min} устр., кВ
Изолированная нейтраль	3,28	20	-34,4	10,5	-10,5
Нейтраль, заземленная через резистор 3000 Ом	2,6	20	25,98	9,7	-9,7

Выполнено моделирование перенапряжений в сети 10 кВ в программном комплексе Multisim для различных режимов работы нейтрали. Получены осциллограммы фазных напряжений для сетей с изолированной и заземленной через резистор нейтралью. Произведен расчет кратности перенапряжений для исследуемой сети в различных режимах работы. Экспериментально получено, что применение резистора заземления нейтрали, выбранного из стандартного ряда (как наиболее близкого к рассчитанному значению), позволяет снизить кратность перенапряжений до допустимых значений, вследствие чего снижается износ изоляции и уменьшается возможность зарождения частичных разрядов в кабельных линиях.

Л и т е р а т у р а

1. Евминов, Л. И. Резистивное заземление нейтрали в распределительных сетях 6–35 кВ / Л. И. Евминов, Т. В. Алферова // Агротехника и энергообеспечение. – 2019. – № 4 (25). – С. 94–109.
2. Правила устройства электроустановок / Изд. шестое, перераб. и доп. – Минск : Дизайн ПРО, 2007. – 703 с.
3. ТКП 181–2009. (02230). Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – Минск : Минэнерго. – 325 с.
4. СТП 09110.20187.09–55. Методические указания по заземлению нейтралей сетей 6–35 кВ. – Минск. : Белэнергосетьпроект, 2009.

УДК 536.24

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ МАКСИМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В ТЕРМОСИФОНАХ С ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

А. В. Шаповалов, Н. М. Кидун, Т. Н. Никулина, В. В. Чернявская
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Проанализированы возможные кризисы теплопереноса в замкнутых двухфазных термосифонах с организованной циркуляцией теплоносителя, а также максимальные тепловые потоки в термосифонах.

Ключевые слова: термосифоны, кризис, циркуляция, промежуточный, максимальный, теплоноситель.

ANALYSIS OF STUDIES OF MAXIMUM HEAT FLOWS IN THERMOSYPHONS WITH CIRCULATION OF INTERMEDIATE COOLANT

A. V. Shapovalov, N. M. Kidun, T. N. Nikulina, V. V. Chernyavskaya
Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The article analyzes possible heat transfer crises in closed two-phase thermosyphons with organized coolant circulation, maximal heat fluxes in thermosyphons.

Keywords: thermosyphons, crisis, circulation, intermediate, maximum, coolant.

Так же как и при исследовании обычных термосифонов максимальные тепловые потоки определялись в момент наступления кризисных явлений, фиксируемых по резкому изменению температуры стенки трубы на обогреваемом участке.

В соответствии с различными схемами циркуляции промежуточного теплоносителя исследования различных конструкций термосифонов проведены в три этапа: 1) исследование термосифонов с простейшим испарительным циркуляционным контуром; 2) исследование термосифонов с испарительно-конденсационным циркуляционным контуром; 3) исследование горизонтальных и слабонаклонных термосифонов.

При этом исследовалось влияние на максимальные тепловые потоки поперечных размеров подъемного и опускного канала, высоты циркуляционного контура, длины зоны нагрева, относительного заполнения циркуляционного контура жидкостью, давления и рода промежуточного теплоносителя.

Как показал анализ работ, кризис теплопереноса в контурах с естественной циркуляцией связан с достижением некоторой критической скорости паровой фазы в подъемном канале контура.

Влияние скорости циркуляции на максимальные значения осевых тепловых потоков свидетельствует о возможном существовании в парогенерирующем канале кризиса теплообмена, связанного с испарением пристенной пленки жидкости, т. е. кризиса теплообмена второго рода.

Таким образом, в данных условиях кризис теплообмена в термосифоне определяется (как и в случае термосифонов обычной конструкции) достижением некоторого критического значения приведенной скорости паровой фазы в подъемном канале циркуляционного контура. Анализ показывает, что указанное критическое значение приведенной скорости пара достигается при некотором предельном отношении площадей поперечного сечения опускного и подъемного каналов, которое для данной рабочей жидкости зависит от давления в термосифоне.

Для выяснения характера зависимости критической скорости пара в подъемном канале от остальных параметров термосифонов были проведены опыты в области автомодельности относительно условий течения жидкости в опускном канале.

С увеличением длины зоны нагрева выше некоторого предельного значения на выходе из подъемного канала при околочитических нагрузках устанавливается кольцевой режим течения двухфазного потока. В этих условиях кризисы теплообмена, возникающие на участке с наиболее высокой скоростью пара, не зависят от предыстории потока и, следовательно, не зависят от длины зоны нагрева.

Приведенный анализ опытных данных позволяет заключить, что в термосифонах с простейшим испарительным циркуляционным контуром кризисы теплообмена не связаны с гидродинамической обстановкой двухфазного слоя непосредственно у поверхности нагрева, т. е. с кризисами теплообмена первого рода. В этих условиях наступление кризисных явлений связано либо с испарением пристенной пленки жидкости (кризис второго рода), либо с потерей устойчивости двухфазного потока в различных режимах его течения при достижении паровой фазой некоторой критической скорости.

Проведено исследование максимальных тепловых потоков в вертикальных термосифонах с испарительно-конденсационным контуром.

Принципиальной особенностью рассмотренных ранее конструкций термосифонов является наличие в них (в том или ином виде) сепарационной камеры, способствующей разделению фаз на выходе из подъемной части контура с образованием в этой камере свободного уровня жидкости.

Анализ полученных опытных данных показал, что также как и в термосифонах с простейшим испарительным контуром циркуляции, максимальная теплопередающая способность изучаемых здесь термосифонов в общем случае может быть ограничена условиями течения теплоносителя как в подъемном, так и в опускном канале.

Однако при достаточно большом соотношении площадей поперечного сечения опускающего и подъемного каналов максимальная плотность теплового потока не зависит от размеров опускающего канала.

Как показали результаты визуальных наблюдений, проведенных на термосифонах со стеклянными вставками на адиабатных участках, в диапазоне скоростей пара, обеспечивающих спутное движение фаз, возможно существование вспененного, кольцевого и дисперсно-кольцевого режимов течения. Переход от одного режима течения к другому сопровождается резким изменением гидродинамических характеристик (гидравлического сопротивления, локального паросодержания и т. д.), которые могут служить причиной кризиса теплообмена на участке нагрева. Указанная смена режимов течения возможна в термосифонах различных геометрических размеров в зависимости от приведенной скорости паровой фазы. Однако, как показывает эксперимент, не каждый из кризисных переходов имеет одинаково существенное значение для термосифонов различных параметров. Вероятно, отмеченные переходы оказывают различное влияние на условия теплообмена в зависимости от влагосодержания двухфазного потока на обогреваемом участке канала. В свою очередь, влагосодержание потока в подъемном канале рассматриваемых термосифонов зависит от количества промежуточного теплоносителя и соотношения геометрических размеров подъемного и опускающего каналов.

Таким образом, максимальная теплопередающая способность термосифонов с испарительно-конденсационным контуром в общем случае может быть ограничена условиями течения теплоносителя на различных участках циркуляционного контура. Однако принципиальными ограничениями максимальных тепловых потоков (так же как и в термосифонах с простейшим испарительным контуром) являются кризисные явления, возникающие на адиабатическом участке термосифона и связанные с достижением критических значений приведенной скорости паровой фазы. При этом в зависимости от условий, обеспечивающих различное влагосодержание теплоносителя в подъемном канале, максимальные тепловые потоки могут быть ограничены тремя видами кризисных явлений, характеризующихся различными уровнями критических скоростей пара.

Анализ распределения температур в поперечном сечении наклонных термосифонов показал, что причиной возникновения пульсаций при малых углах наклона относительно горизонта является расслоение двухфазного слоя промежуточного теплоносителя. Возникающий при этом в районе верхней образующей перегрев стенки трубы (в условиях подвода тепла при $q = \text{const}$) способствует при омывании ее волнами жидкости интенсивному образованию паровых пробок и выбросу жидкости из зоны нагрева в конденсационную часть термосифона. В результате этих явлений работа термосифона приобретает неустойчивый характер. В связи с этим была разработана конструкция термосифона, обеспечивающая равномерное омывание обогреваемой стенки трубы за счет создания условий для организованной поперечной циркуляции промежуточного теплоносителя. Организованная циркуляция теплоносителя в поперечном сечении устройства достигается с помощью коаксиальной внутренней вставки, расположенной в пределах зоны нагрева и имеющей щелевые отверстия вдоль верхней и нижней образующих.

При обеспечении условий, предотвращающих перегрев поверхности нагрева вследствие расслоения двухфазной смеси, кризис тепломассопереноса в вертикальных и горизонтальных термосифонах имеет единую физическую природу и связан с нарушением устойчивости осевых потоков жидкости и пара вследствие взаимодействия фаз на границе их раздела.

В процессе исследований установлено, что в зависимости от степени заполнения жидкостью термосифон может работать в режиме как замкнутого, так и разомкнутого контура. В случае относительно малого количества жидкости движущий напор циркуляции недостаточен для инвертирования пленки жидкости, образующейся в конденсаторе, в результате чего в кольцевом канале наблюдается встречное движение паровой и жидкостной фаз.

С увеличением количества жидкости происходит замыкание циркуляционного контура и вследствие этого резкое увеличение максимальных тепловых потоков до значений, близких к тем, которые имеют место для вертикальных термосифонов. Анализ опытных данных показывает, что замыкание циркуляционного контура происходит при степени заполнения, обеспечивающей практически полное заполнение жидкостью внутренней полости циркуляционной вставки.

Таким образом, максимальные тепловые потоки в изогнутых термосифонах, работающих по принципу испарительно-конденсационного контура, с наклонным участком подвода теплоты и вертикальным участком отвода теплоты, ограничены теми же кризисными явлениями (или их комбинацией), что и в вертикальных термосифонах.

По результатам литературного обзора были изучены особенности процессов переноса в горизонтальных и слабонаклонных термосифонах. Горизонтальные и слабонаклонные двухфазные термосифоны представляют собой особый класс автономных теплопередающих устройств гравитационного типа. Они могут быть эффективно использованы для решения задач нагрева, охлаждения и термостатирования объектов в самых различных областях техники. Однако эффективное использование этих устройств ограничено опасениями их применения из-за низкого гидростатического напора для циркуляции теплоносителя внутри горизонтального термосифона и недостаточной изученности процессов переноса в замкнутой горизонтальной противоточной системе.

Анализ возможных кризисных явлений в процессах теплопереноса в горизонтальном двухфазном термосифоне показал, что так же как и в вертикальных термосифонах наиболее существенным и малоуправляемым кризисным явлением является гидродинамический кризис противоточного движения фаз, определяемый потерей устойчивости поверхности раздела жидкости и потока пара.

Литература

1. Безродный, М. К. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика / М. К. Безродный, И. Л. Пиоро, Т. О. Костюк. – Киев : Факт, 2005. – 704 с.
2. Тепловые трубы и термосифоны для систем тепло- и хладоснабжения / Л. Л. Васильев [и др.] // Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве : сб. тр. : в 2 ч. / Ин-т жилищно-коммунального хоз-ва НАН Беларуси ; под общ. ред. В. О. Китикова. – Минск : БГТУ, 2021. – С. 172–179.
3. Шаповалов, А. В. Способы интенсификации теплообмена в теплопередающих устройствах / А. В. Шаповалов, Т. Н. Никулина, К. А. Светличный // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 28–29 апр. 2022 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2022.
4. Применение замкнутых двухфазных теплопередающих систем в инновационных системах трансформации тепла / А. В. Шаповалов [и др.] // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 28–29 апр. 2022 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2022.

СЕКЦИЯ 6. ГЕОЛОГИЯ И РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 622.276

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИИ БАКЛИ–ЛЕВЕРЕТТА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MathCAD

В. А. Колодко, А. С. Колодко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Продемонстрировано решение одной из задач нефтегазовой отрасли по определению параметров вытеснения нефти водой. Отражена ее реализация с использованием возможностей программного обеспечения – среды математического пакета MathCAD. Представлены численное и графическое решения.

Ключевые слова: MathCAD, компьютерное моделирование, вытеснение нефти, дифференциальное уравнение, фазовая проницаемость.

STUDYING OF THE BUCKLEY–LEVERETT FUNCTION IN THE MATHCAD SOFTWARE PACKAGE

V. A. Kolodko, A. S. Kolodko

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The article demonstrates the solution of one of the problems of the oil and gas industry to determine the parameters of oil displacement by water. Its implementation is shown using the capabilities of the software – the environment of the mathematical package MathCAD. Numerical and graphical solutions are presented.

Keywords: MathCAD, computer simulation, oil displacement, differential equation, relative permeability.

Функция Бакли–Левретта позволяет определять графоаналитическими методами эффективные фильтрационные характеристики вытеснения нефти водой или газом, задаваясь лишь видом относительных фазовых проницаемостей. Она может быть получена из обобщенного закона Дарси:

$$v_{\text{в}} = -k \frac{k_{\text{в}}(s)}{\mu_{\text{в}}} \frac{\partial p_{\text{в}}}{\partial x}, \text{ м/с};$$

$$v_{\text{н}} = -k \frac{k_{\text{н}}(s)}{\mu_{\text{н}}} \frac{\partial p_{\text{н}}}{\partial x}, \text{ м/с}.$$

Пренебрежение капиллярным давлением на границе раздела фаз и почленное деление уравнений позволяет исключить градиент давления, решение его относительно суммарной скорости w двухфазного потока – получить формулу для функции насыщенности:

$$f(s) = \frac{k_{\text{в}}(s)}{k_{\text{в}}(s) + \mu_0 k_{\text{н}}(s)}.$$

Уравнение Бакли–Леверетта представляет собой дифференциальное уравнение неразрывности относительно производной функции Бакли–Леверетта. Его решение позволяет сделать важные выводы, сводящие определение параметров вытеснения к простым геометрическим построениям (рис. 2) [2].

Моделирование в программной среде позволяет проводить исследования и расчеты необходимых параметров быстро и сразу видеть результат. Простейшим методом является использование среды MathCAD, позволяющей реализовать решение дифференциального уравнения Бакли–Леверетта с помощью различных встроенных функций [3].

Ниже будет построена компьютерная модель на примере елецко-задонской залежи Южно-Александровского месторождения нефти. Зададим относительные фазовые проницаемости (ОФП) по эмпирическим формулам Чень-Чжун-Сяна, воспользовавшись оператором программирования *if*:

$$kv(s) := \begin{cases} (0) & \text{if } 0 \leq s \leq s_0 \\ \left(\frac{s - s_0}{1 - s_0} \right)^{3.5} & \text{if } s_0 < s \leq 1 \end{cases}$$

$$kn(s) := \begin{cases} \left(\frac{1 - s_{no} - s}{1 - s_{no}} \right)^{2.8} (1 + 2.4s) & \text{if } 0 \leq s \leq (1 - s_{no}) \\ (0) & \text{if } (1 - s_{no}) < s \leq 1 \end{cases}$$

Построим кривые относительных фазовых проницаемостей с помощью шаблона плоского графика *X–Y Plot* на панели инструментов *Graph*. Для этого зададим числовые значения параметров начальной водонасыщенности s_{no} и остаточной нефтенасыщенности s_o по скважине № 36. Результаты построения приведены на рис. 1.

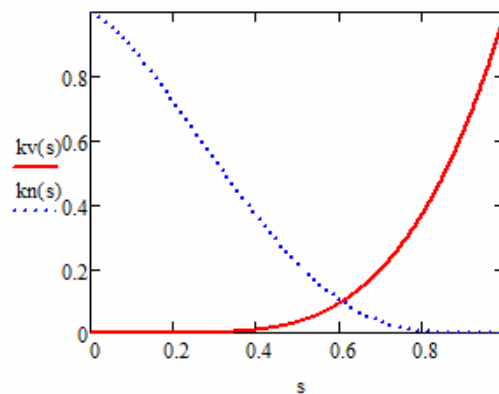


Рис. 1. Кривые относительные фазовые проницаемости

Зададим функцию Бакли–Леверетта для $\mu_0 = 0,179$. Определим значение фронтальной насыщенности s_c при помощи вычислительного блока, заключающего уравнение касательной к кривой $f(s)$ ключевым словом *Given* и функцией *Find*:

Given

$$f(s) = \left(\frac{d}{ds} f(s) \right) (s - s_0)$$

$$s_c := \text{Find}(s) = 0,615$$

На пересечении касательной к $f(s)$ в точке $(s_c, f(s_c))$ с $f = 1$ получим точку с абсциссой s' . Блочным методом определим абсциссу s_L , соответствующую точке пересечения прямой f_L с кривой $f(s)$. По аналогии с s' получим точку с абсциссой s'_0 на пересечении касательной к $f(s)$ в точке $(s_L, f(s_L))$ с $f = 1$ [1].

На рис. 2 графическим методом были определены параметры s_c, s', s'_0, s_L, s'_0 .

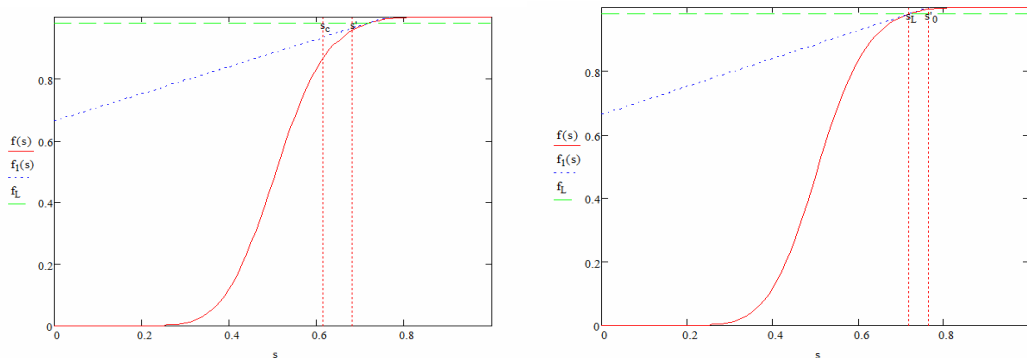


Рис. 2. Графическое определение параметров вытеснения

С помощью использования шаблона *Surface Plot* и параметрическим заданием функций координат была построена модель поверхностей изосат при плоскорадиальном вытеснении нефти водой (рис. 3).

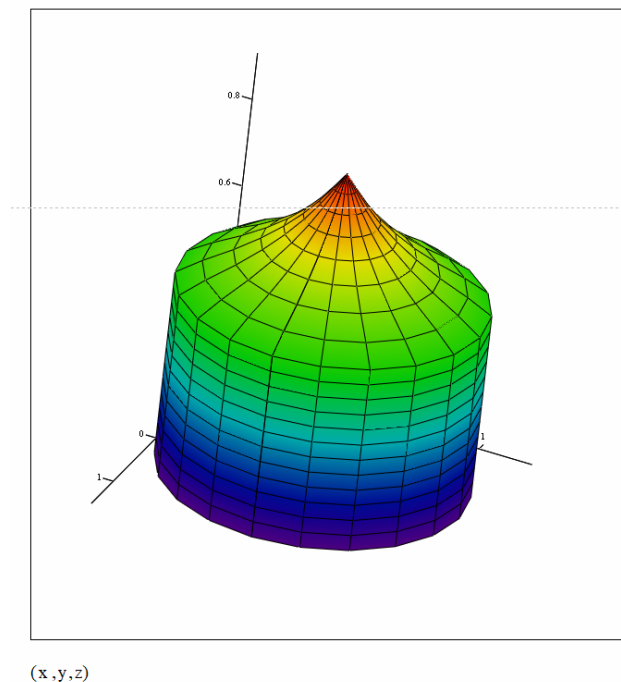


Рис. 3. Поверхность изосат при плоскорадиальном вытеснении нефти водой

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Использование компьютерного моделирования позволило оперативно определить параметры вытеснения для скважины № 36 Южно-Александровского месторождения, задаваясь лишь значениями начальной водонасыщенности и остаточной нефтенасыщенности.

2. Системы компьютерной математики позволяют реализовать сложные математические модели, что дает возможность повысить точность решения задач нефтегазовой отрасли, в частности, при разработке месторождений.

Литература

1. Григорян, Л. А. Математическое моделирование задачи разработки нефтяных месторождений. / Л. А. Григорян, Е. Ф. Тимофеева // Естественные и математические науки в современном мире : сб. ст. по материалам XVIII Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2014. – 218 с.
2. Собин, А. М. Регулирование разработки нефтяных месторождений на основе выявленных закономерностей фильтрации флюидов в призабойной зоне скважины : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.17 / А. М. Собин ; Ухт. гос. техн. ун-т. – Ухта, 2015. – 137 с.
3. Хайруллин, А. А. Разработка и исследование модели двухфазного непоршневого вытеснения нефти водой : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.17 / А. А. Хайруллин ; Тюм. гос. нефтегаз. ун-т. – Тюмень, 2014. – 147 с.

УДК 620.172.242

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ СЖИМАЕМОСТИ НИЗКОПОРИСТЫХ ИЗВЕСТНЯКОВ

**И. Н. Степанкин, Р. Е. Гутман, А. М. Жуковский, А. Ю. Кравченко,
Е. Н. Ходьков, А. А. Василенко**

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Посвящена оценке результативности комплексного исследования свойств горных пород, включающего тесты на сжимаемость по методам эффективного напряжения и истощения керновых образцов известняка с низкой пористостью.

Ключевые слова: горные породы, известняк, общая сжимаемость, сжимаемость зерна и порового пространства, пористость.

TO THE QUESTION OF ASSESSING THE COMPRESSION OF LOW-POROUS LIMESTONES

**I. Stsiapankin, R. Hutman, A. Zhukouski, A. Kravchenko,
Y. Khadz Kou, A. Vasilenka**

BelNIPIneft RUE «Production Association “Belorusneft”, Gomel

The work is devoted to assessing the effectiveness of a comprehensive study of the properties of rocks, including tests for compressibility using the methods of effective stress and depletion of core samples of limestone with low porosity.

Keywords: rocks, limestone, total compressibility, grain and pore space compressibility, porosity.

Актуальность определения показателей сжимаемости обусловлена необходимостью учета полученных данных при создании моделей месторождений, динамики их эволюции в процессе добычи, а также оценки состояния взаимных деформаций

пласта и ствола скважины. Данные о сжимаемости порового пространства позволяют уточнить долю извлекаемых запасов из исследованных коллекторов.

Объекты исследований и методики испытаний. Исследования по оценке сжимаемости проводили на установке RTR 1000. Объектами исследования выступили стандартные образцы керна размерами $\varnothing 30 \times 60$ мм. Образцы отобраны из Воронежского горизонта Речицкого нефтяного месторождения. Отличительной особенностью образцов является их низкая пористость в совокупности с однородностью строения. Минералогический состав – известняк.

Результаты исследований и их обсуждение. Коллекторские свойства известняков зависят от пористости. Она классифицируется как трещинная ($m < 3 \%$), трещиновато-поровая ($3 < m < 8 \%$) и поровая ($m > 8 \%$) [1].

При оценке сжимаемости горных пород особое внимание уделяется деформационным процессам, которые происходят при смыкании трещин на стадии испытания эффективным напряжением. Величина сжимаемости порового пространства, определенная при увеличении эффективного напряжения и постоянном поровом давлении, суммируется из двух показателей – сжимаемости трещинного пространства и собственно поровой сжимаемости (пороупругости). Выявление количественных долей указанных показателей, как правило, достигается путем сравнения полученных данных при проведении тестов эффективным напряжением и истощением. Во втором случае, процесс сжимаемости порового пространства оценивается при снижении порового давления, в то время как остальные показатели – вертикальное (горное) и боковое давление соответствуют пластовым условиям. Трещины, объем которых увеличился за счет извлечения керна из скважины, смыкаются на предварительной стадии нагружения образца. Эта часть сжимаемости, как правило, и отождествляется с трещиной [2].

Очевидно, что эксперименты, проведенные по методу эффективного напряжения и истощения, должны дать различные показатели, причем сжимаемость на стадии истощения C_{bp} должна быть ниже аналогичного параметра, определенного на стадии эффективного напряжения C_{bc} [3].

Отмеченные различия считаются общей закономерностью независимо от величины пористости горной породы и ее трещиноватости. В том случае, когда современные методы оценки морфологии керна не выявляют видимых макротрещин в образцах, считается, что присутствие микротрещин, не выявляемых методами компьютерной томографии в стандартном керновом образце, не требует отдельного обоснования, а трещиноватая микропористость величиной менее 3 % является одним из элементов структуры керна.

В нашем случае лабораторные образцы имели пористость 1,06 и 0,92 %, а их поведение при оценке показателей сжимаемости имело существенные различия. В частности, испытания керна с наименьшей пористостью – 0,92 % показали аномальное изменение показателей сжимаемости на стадии определения сжимаемости зерна C_g и общей сжимаемости C_{bc} (табл. 1).

Таблица 1

Телеметрические данные для прямого расчета показателей сжимаемости образца с исходной пористостью 0,92 % на стадии эффективного напряжения

<i>Time, c</i>	<i>Saxial, МПа</i>	<i>Sconf, МПа</i>	<i>Ppore, МПа</i>	<i>Smean, МПа</i>	<i>e_v, %</i>	<i>C, 1/бар</i>	<i>Smean_eff, МПа</i>	<i>Ф, доли ед.</i>
<i>Сжимаемость зерна C_g – этап эффективного напряжения</i>								
6367,12	4	3	1,6	3,33	0,0867	6,022e-6	1,73	0,00854
6867,09	16,51	15,5	14,1	15,84	0,1613		15,88	0,00875
<i>Общая сжимаемость C_{bc} – этап эффективного напряжения</i>								
6867,09	16,51	15,5	14,1	15,83666667	0,1613	4,81179e-06	15,88	0,00875
8306,8	52,5	51,5	14,1	51,83333333	0,3343		49,09	0,00897

Величина сжимаемости зерна относится к наиболее стабильным деформационным показателям горной породы. Считается, что эта величина имеет наименьшее значение по сравнению с показателями общей сжимаемости (C_{bc} или C_{bp}) и сжимаемостью порового пространства (C_{pc} или C_{pp}) [1]. Однако в рассматриваемом случае выявлена обратная закономерность. В частности, сжимаемость зерна, определенная на стадии изостатического сжатия, при повышении среднего значения внешнего давления с 3,33 до 15,84 МПа и порового давления – с 1,6 до 14,1 МПа составила $C_g = 6,022 \times 10^{-5} \text{ 1/МПа}$ ($\times 10^{-6} \text{ 1/бар}$). Дальнейшее повышение изостатического давления – с 15,84 до 51,84 МПа при сохранении неизменного значения порового давления на уровне 14,1 МПа сопровождалось уменьшением показателя сжимаемости до значения $C_{bc} = 4,812 \times 10^{-5} \text{ 1/МПа}$ ($\times 10^{-6} \text{ 1/бар}$). Следует отметить, что именно второй этап нагружения соответствует условиям определения общей сжимаемости. Полученное противоречивое соотношение между двумя показателями сжимаемости можно трактовать как единый тренд изменения общей сжимаемости, величина которой снижается по мере возрастания внешнего давления [4]. При этом компенсирующая роль порового давления оказалась настолько низкой, что общая деформация образца достаточно полно реализовалась за счет взаимодействия зерен породы между собой. Очевидно, что при достаточно низкой исходной пористости закономерно принимать механику взаимодействия твердых частиц породы между собой в качестве основного процесса, сопровождающего деформацию зерна. Отдельного внимания заслуживает изменение величины пористости образца на обеих стадиях испытания. Как видно из табл. 1, она возрастала. Отмеченное противоречие объясняется двумя аспектами. Во-первых, на стадии оценки сжимаемости зерна величина порового давления должна компенсировать внешнее давление на образец, создавая условия для деформации собственно зерен породы. Этот постулат, используемый для оценки сжимаемости зерна, требует считать неизменной величину порового объема на данной стадии испытания. Следовательно, уменьшение общего объема образца при неизменном объеме пор сопровождается увеличением такого относительного показателя, как пористость. Во-вторых, величина общей сжимаемости указанного образца оказалась ниже, чем сжимаемость зерна. В такой ситуации изменение величины объема зерен и порового объема происходит с разной скоростью по мере возрастания эффективного напряжения. Уменьшение объема зерен опережает уменьшение объема пор и, естественно, величина пористости также возрастает.

102 Секция 6. Геология и разработка нефтяных и газовых месторождений

Отдельного внимания заслуживает переходный этап, на котором после достижения пластового значения бокового давления перед окончательным повышением осевого давления до величины горного была проведена выдержка для стабилизации деформационных параметров. Оказалось, что на этом этапе образец проявил некоторую ползучесть, величина общей деформации возросла с 0,3343 до 0,3464 %. В итоге перед началом этапа истощения величина пористости уменьшилась до 0,885 % (табл. 2). Сравнительный анализ показателей сжимаемости порового пространства показывает, что указанная характеристика, определенная на стадия эффективного напряжения и истощения, имеет практически одинаковую величину около $2,6 \times 10^{-5} 1/\text{МПа}$ ($\times 10^{-6} 1/\text{бар}$). Это значение более чем на порядок ниже минимальной величины пороупругости известняка, приведенной в работе [1] ($4 \times 10^{-4} 1/\text{МПа}$ ($\times 10^{-5} 1/\text{бар}$)).

Таблица 2

Телеметрические данные для прямого расчета показателей сжимаемости порового пространства образца с исходной пористостью 0,92 % на стадиях эффективного напряжения и истощения

Time, с	Saxial, МПа	Sconf, МПа	Ppore, МПа	Smean, МПа	e_v , %	C, 1/бар	Smean_eff, МПа	φ, доли ед.
<i>Сжимаемость порового пространства C_{pc} – этап эффективного напряжения</i>								
6867,09	16,51	15,55	14,1	15,84	0,1613	2,58799E-06	1,73	0,00854
8306,8	49,76	48,76	14,1	49,09	0,3343	2,60482E-06	34,99	0,00875
<i>Сжимаемость порового пространства C_{pp} – этап истощения</i>								
8938,91	56,7	51,51	14,1	53,24	0,3541	2,60482E-06	39,14	0,00885
17285,5	56,7	50,42	7,0	52,51	0,3575	2,60096E-06	45,5	0,00878

Приведенные ниже результаты оценки сжимаемости образца с исходной пористостью 1,06 %, показывают, что с увеличением объема пор результаты оценки всех показателей сжимаемости соответствуют теоретическим предпосылкам и их практической апробации, приведенной в специальной литературе (табл. 3 и 4). Это позволяет сделать вывод об проявлении аномального деформирования при испытаниях образцов известняка только в случаях, когда их исходная пористость, определенная в атмосферных условиях, достаточно низка. В нашем случае подобный результат зафиксирован при пористости 0,92 %.

Таблица 3

Телеметрические данные для прямого расчета показателей сжимаемости образца с исходной пористостью 1,06 % на стадии эффективного напряжения

Time, с	Saxial, МПа	Sconf, МПа	Ppore, МПа	Smean, МПа	e_v , %	C, 1/бар	Smean_eff, МПа	φ, доли ед.
<i>Сжимаемость зерна C_g – этап эффективного напряжения</i>								
8953,86	4	3	1,6	3,33	0,1317	3,678E-05	1,73	0,0106
9453,83	16,5	15,49	14,1	15,83	0,1776		1,73	0,0093
<i>Общая сжимаемость C_{bc} – этап эффективного напряжения</i>								
9453,83	16,5	15,49	14,1	15,83	0,1776	5,196E-05	1,73	0,0093
11256,3	52,51	51,5	14,1	51,84	0,3648		37,74	0,0089

Телеметрические данные для прямого расчета показателей сжимаемости порового пространства образца с исходной пористостью 0,92 % на стадиях эффективного напряжения и истощения

<i>Time, c</i>	<i>Saxial, МПа</i>	<i>Sconf, МПа</i>	<i>Ppore, МПа</i>	<i>Smean, МПа</i>	<i>e_v, %</i>	<i>C, 1/бар</i>	<i>Smean_ef f, МПа</i>	<i>φ, доли ед.</i>	<i>α</i>
<i>Сжимаемость порового пространства C_{pc} – этап эффективного напряжения</i>									
9455,83	16,53	15,54	14,1	15,87	0,1778	7,56E-05	1,73	0,0093	–
11256,3	52,51	51,5	14,1	51,84	0,3648	0,001713	1,73	0,0089	–
<i>Сжимаемость порового пространства C_{pp} – этап истощения</i>									
11424,5	56,71	51,5	14,1	53,24	0,372	0,0015	39,187	0,0089	0,9694
11706,7	56,72	50,31	7	52,45	0,3778	0,0013	45.45	0,0088	0,5022

Литература

1. Карманский, А. Т. Коллекторские свойства горных пород при изменении вида напряженного состояния / А. Т. Карманский // Зап. горн. ин-та. – 2009. – Т. 183. – С. 289–292. – Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6913/4820>.
2. Жуков, В. С. Экспериментальная оценка коэффициентов сжимаемости трещин и межзерновых пор коллектора нефти и газа / В. С. Жуков, Ю. О. Кузьмин // Зап. горн. ин-та. – 2021. – Т. 251. – С. 658–666. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.5.5>
3. МакФи, К. Лабораторные исследования керн: гид по лучшим практикам / К. МакФи, Дж. Рид, И. Зубизаретга. – М. – Ижевск : Ин-т компьютер. исслед., 2018. – 924 с.
4. Zoback, M. D. Reservoir geomechanics / M. D. Zoback. – New York : Cambridge University Press, 2007. – 505 p. – Mode of access: Sci-Hub|Reservoir Geomechanics|10.1017/CBO9780511586477.

УДК 622.276.6

АНАЛИЗ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМАТИКИ, СВЯЗАННОЙ С ВЫПАДЕНИЕМ КОНДЕНСАТА В ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТАХ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

А. В. Минаков, К. С. Карсеко

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Рассмотрено негативное влияние ретроградного конденсата на разработку залежи. Основная проблема этого явления заключается в снижении продуктивности и засорении призабойной зоны скважины. Проведена оценка эффективности обработки скважины газоконденсатного месторождения в украинском регионе различными агентами, подобран наиболее эффективный газ для воздействия на призабойную зону и рассчитан оптимальный объем закачки.

Ключевые слова: газоконденсатное месторождение, гидродинамическая модель, конденсатная банка, обработка призабойной зоны, закачка газа.

ANALYSIS AND WAYS TO SOLVE PROBLEMS ASSOCIATED WITH CONDENSATE DROPOUT IN PRODUCTIVE LAYERS OF GAS CONDENSATE DEPOSITS

A. Minakov, K. Karseka

BelNIPIneft RUF «Production Association “Belorusneft», Gomel

The paper considers the negative impact of retrograde condensate on the development of the deposit. The main problem of this phenomenon is the decrease in productivity and obstruction in the bottomhole zone of the well. In the work, the efficiency of processing a well of a gas condensate field in the Ukrainian region by various agents was evaluated, the most effective gas was selected to affect the bottomhole zone and the optimal injection volume was calculated.

Key words: gas condensate field, hydrodynamic model, condensate shifting, bottomhole treatment, gas injection.

Одним из негативных факторов при разработке газоконденсатного месторождения с высоким содержанием конденсата и низкой проницаемостью пласта является снижение продуктивности скважин в процессе эксплуатации на режиме истощения за счет выпадения ретроградного конденсата [1, 2].

Ретроградная конденсация приводит к двум основным негативным последствиям: уменьшению относительной фазовой проницаемости для газа, вследствие чего падает его дебит, и снижению коэффициента извлечения конденсата вследствие выпадения конденсата по площади всего месторождения.

Существует ряд способов устранения последствий выпадения конденсата: гидравлический разрыв пласта и кислотные обработки, разработка залежи горизонтальными скважинами, ретроградное испарение выпавшего конденсата путем закрытия скважины на некоторый промежуток времени, воздействие на пласт или призабойную зону скважины газами различного состава.

Целью работы является оценка влияния выпавшего конденсата на продуктивность скважин и поиск путей решения проблематики, связанной с выпадением конденсата в продуктивных пластах газоконденсатного месторождения в украинском регионе.

Для определения объема выпавшего конденсата и выбора способов борьбы с ним была создана и настроена на историю разработки гидродинамическая модель, на которой были рассчитаны варианты воздействия на призабойную зону различными газами.

Для наиболее полного учета эффекта выпадения конденсата на гидродинамической модели было применено радиальное измельчение сетки в районе скважины (рис. 1). Это позволило добиться более достоверных показателей расчета и «зрительно» наблюдать конденсатную банку – зону вокруг скважины со значительной насыщенностью конденсатом.

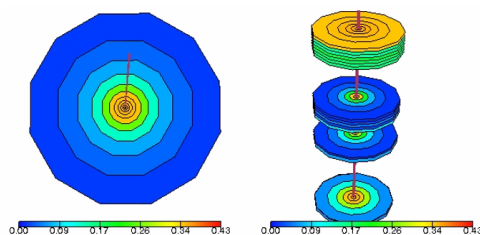


Рис. 1. Конденсатонасыщенность в районе скважины 1, доли ед.

Секция 6. Геология и разработка нефтяных и газовых месторождений 105

Адаптация гидродинамической модели заключалась в настройке динамики буферного и пластового давления, а также дебита стабильного конденсата и воды путем уточнения куба абсолютной проницаемости и величины запасов дренируемого газа (рис. 2 и 3). Анализируя исторические данные по изменению конденсатно-газового фактора в процессе разработки месторождения, можно отметить его нефизичное поведение в период с начала разработки до 2016 г., а именно – рост при снижении пластового давления. Ввиду невозможности в математической модели реализовать такое поведение конденсатно-газового фактора настройка модели по добыче конденсата по скважинам осуществлялась только в период с 2016 г. по настоящее время. Текущее пластовое давление по скважинам 1 и 2 составляет 17 и 19 МПа соответственно, дренируемые скважиной 2 запасы газа несколько превышают запасы скважины 1.

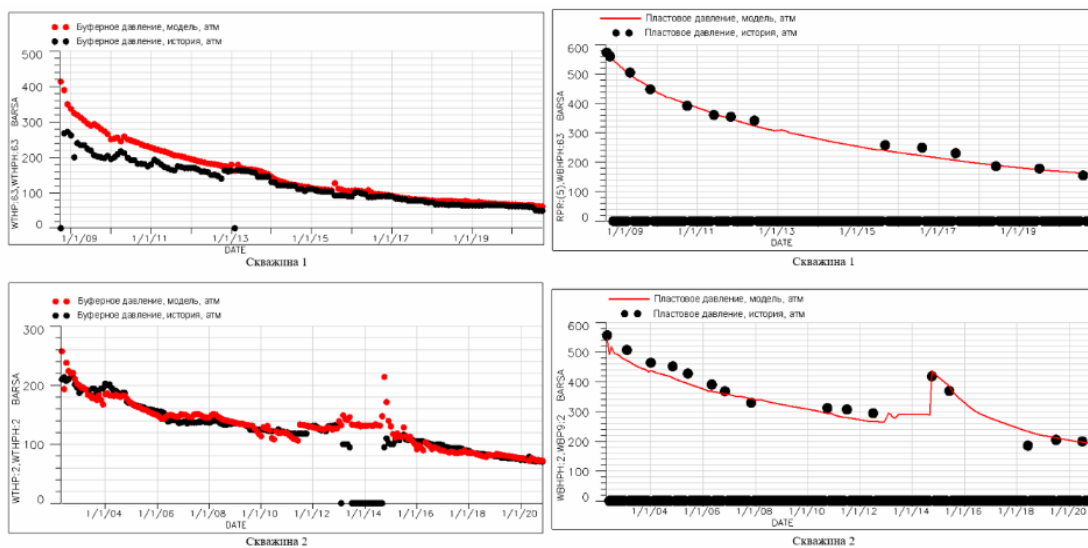


Рис. 2. Результаты настройки секторной модели на историю разработки: буферное и пластовое давление

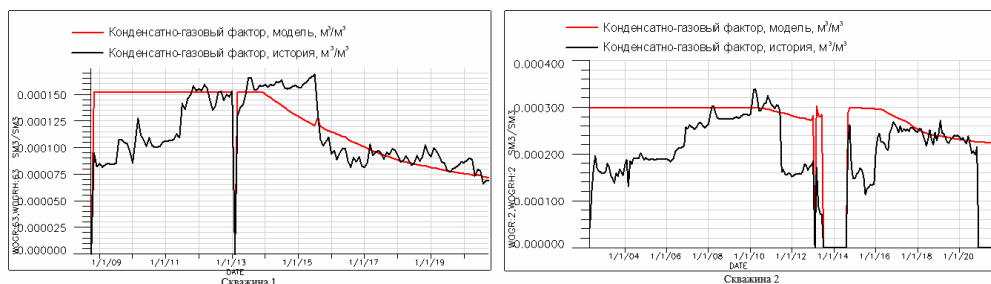


Рис. 3. Результаты настройки секторной модели на историю разработки: конденсатно-газовый фактор

По результатам моделирования и настройки модели на исторические данные объем конденсатной банки по скважине 1 составляет 3500 м^3 , средний радиус границы – 43 м. Критическая конденсатонасыщенность (насыщенность по конденсату – более 0,339 доли ед.) наблюдается в радиусе 25 м. По скважине 2 объем конденсат-

ной пробки составляет 4200 м³ со средним радиусом 60 м. Критическая конденсато-насыщенность отмечается на расстоянии 29 м. Именно из-за меньшего текущего пластового давления объем выпавшего конденсата по скважине 2 оказался большим.

В газоконденсатных залежах с низкими фильтрационно-емкостными свойствами и низким давлением начала конденсации при очистке призабойной зоны от ретроградного конденсата используют инертные газы. Основным эффектом при нагнетании инертного к выпавшему конденсату газа будет достигаться за счет увеличения давления в призабойной зоне. При превышении давления выше точки росы будет происходить испарение конденсата. В зависимости от состава конденсата к условно инертным газам можно отнести азот, метан и этан. Преимуществом данной технологии является доступность рабочих агентов, а недостатком – инертность газа к выпавшему конденсату. Для газоконденсатных залежей с высокими фильтрационными характеристиками и более высоким потенциальным содержанием конденсата более эффективно использование пропана, бутана или их смеси, которые могут дополнительно растворить в себе выпавший конденсат [3].

На гидродинамической модели был подобран наиболее перспективный рабочий агент для обработки скважин. В качестве газов для закачки были рассмотрены азот, метан, этан, пропан, бутан и углекислый газ. Объем закачки газа в пластовых условиях для всех вариантов был одинаковый. Результаты расчета представлены в таблице.

Результаты расчетов по определению наиболее эффективного агента по скважине 1 и 2

Состав смеси	Прирост среднесуточной добычи газа (за первый месяц), тыс. м ³		Дополнительная добыча газа за год, млн м ³	
	скважина 1	скважина 2	скважина 1	скважина 2
N ₂	-0,3	3,9	0,09	-0,035
CO ₂	-2,5	24,3	0,73	1,298
Метан	-0,6	8,1	0,23	0,413
Этан	46,5	24,9	7,62	4,926
Пропан	49,5	29,8	8,84	5,216
Бутан	50,9	33,1	9,18	5,487

Анализируя полученные результаты, можно отметить общую тенденцию для двух скважин: наименее эффективными являются метан, азот и углекислый газ, дальше эффективность возрастает, причем, чем жирнее газ, тем выше эффективность. К подобным выводам об эффективности использования в качестве растворителя выпавшего конденсата пришла и И. Ю. Корчажкина [4].

Следующей серией расчетов было решение задачи по определению оптимального объема воздействия. Для этого выполнено по 10 вариантов расчетов, которые отличались между собой объемом рабочей смеси. На рис. 4 представлена дополнительная добыча газа за год в зависимости от объема закачанной смеси.

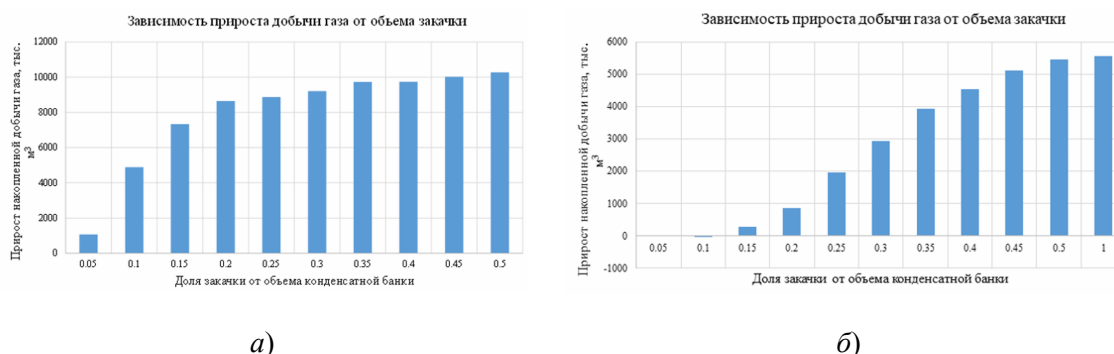


Рис. 4. Зависимость дополнительной добычи газа от объемов рабочего агента для скважин 1(а) и 2(б)

По результатам расчетов сделан вывод, что для скважины 1 оптимальным объемом закачки является обработка в 0,2 объема конденсатной банки. При увеличении объема нагнетания существенный прирост дополнительной добычи газа не наблюдается. Для скважины 2 оптимум находится на уровне 0,5.

На примере выполненных расчетов по данной залежи можно отметить следующее:

- наиболее эффективным способом борьбы с выпавшим ретроградным конденсатом является обработка призабойной зоны пропаном и бутаном;
- оптимальным объемом рабочего агента для обработки скважин 1 и 2 рассматриваемого месторождения является 0,2 и 0,5 объема конденсатной банки соответственно.

Рассмотренная в работе технология имеет ряд ограничений: высокие технологические риски, связанные с безопасностью проведения работ, а также ограниченность применения по геологическим причинам, что многократно повышает возможность недостижения прогнозируемого эффекта.

Литература

1. Тер-Саркисов, Р. М. Разработка месторождений природных газов / Р. М. Тер-Саркисов. – М. : Недра, 1999. – 659 с.
2. Моделирование разработки месторождений природных газов с воздействием на пласт / Р. М. Тер-Саркисов [и др.]. – М. : Недра-Бизнесцентр, 2004. – 590 с.
3. Методы повышения продуктивности газоконденсатных скважин / А. И. Гриценко [и др.]. – М. : Недра, 1997. – 364 с.
4. Корчажкина, И. Ю. Математическое моделирование мероприятий по обработке призабойных зон газоконденсатных скважин различными агентами / И. Ю. Корчажкина // Вести газовой науки. – 2010. – № 1. – С. 82–91.

УДК 622.24.063

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ
БУРОВЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА
БУРЕНИЯ НАДСОЛЕВОГО КОМПЛЕКСА В СТРУКТУРНОЙ ЗОНЕ
ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА**

В. Ю. Златина, Т. В. Атвиновская

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Проведен анализ эффективности применения различных типов буровых растворов при бурении на территории Припятского прогиба. Полученные данные показали, что из выбранных для сравнения буровых растворов наиболее подходящим является поликатионная система «Катбурр».

Ключевые слова: надсолевой комплекс, буровые растворы, бурение, ингибирующий буровой раствор, поликатионная система «Катбурр», сапропелево-глинистый раствор.

**ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF USING MODERN DRILLING
FLUIDS TO IMPROVE THE QUALITY OF DRILLING IN SUPRASALT
OF THE PRIPYAT DOWNFOLD CONSTITUTES**

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

An analysis of the effectiveness of the use of various types of drilling fluids when drilling in the territory of the Pripyat downfold constitutes. The data obtained showed that among the drilling fluids selected for comparison, the most suitable is the Catburr polycationic system.

Keywords: suprasalt, drilling fluids, drilling, inhibiting drilling fluids, Catburr polycationic system, sapropel-clay drilling fluid.

Надсолевой комплекс месторождений Припятского прогиба представлен высококоллоидальными пестроцветными глинистыми отложениями с прослоями неустойчивых песчаников и алевролитов. Глинистые породы при контакте с фильтратом раствора могут сильно набухать. Набухание высококоллоидальных глин отрицательно сказывается на устойчивости стенок скважины, вызывая осыпи, обвалы и кавернообразование.

Бурение пород надсолевого комплекса может осложниться при применении нестабильных, пересыщенных твердой фазой буровых растворов, что приведет к эрозионному размыву рыхлых песчаников, сильному увлажнению глинистых пород и их набуханию.

Буровой раствор для бурения надсолевых отложений должен обеспечить предотвращение гидратации глин, их накопление в буровом растворе, сохраняя низкие значения плотности, фильтрации и оптимальной вязкости, предотвратить размыв устья скважины и загрязнение вод питьевого бассейна, сохранить устойчивость рыхлых песков и песчаников, обеспечить вынос выбуренной породы, улучшить показатели работы долота.

Решение указанных проблем возможно путем использования поликатионных систем буровых растворов. До недавнего времени в составах буровых растворов катионным (поликатионным) высокомолекулярным соединениям не уделялось должного внимания и их влияние на свойства и показатели рабочих жидкостей было недостаточно изучено. Однако, учитывая многие положительные особенности поведения в

водной среде катионных полимеров, они нашли применение в составах буровых растворов.

Поликатионная система «Катбурр» (далее – Катбурр) специально разработана для бурения в неустойчивых глинистых отложениях. Все традиционные буровые растворы на водной основе, используемые до настоящего времени при бурении нефтяных и газовых скважин, относятся к анионным и неионным системам. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» рекомендует Катбурр для бурения скважин на территории Припятского прогиба.

Впервые исследование и разработка стабильных тремосолестойких буровых растворов с высокими ингибирующими и крепящими свойствами, стабилизированных поликатионными полимерами, началось в лаборатории крепления и заканчивания скважин ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в 2010 г. для бурения скважин в сложных геолого-технических условиях. К настоящему времени уже разработано и запатентовано более 30 составов поликатионных буровых растворов (Катбурр). Модификации Катбурр успешно применяются при бурении эксплуатационных скважин на Астраханском газоконденсатном месторождении (АГКМ).

По результатам промысловых испытаний поликатионных буровых растворов на АГКМ проведены работы по их совершенствованию и получены более эффективные модификации Катбурр. Реологические и фильтрационные показатели Катбурр легче регулируются, предотвращают наработку, раствор не подвержен влиянию электролитов, обеспечивает устойчивость глинистых пород. Также его можно повторно использовать при бурении других скважин.

Данные системы наиболее эффективны:

- в набухающих, диспергирующих и неустойчивых глинистых породах для предотвращения наработки бурового раствора и стабилизации ствола скважины;
- в солевых отложениях;
- в условиях воздействия высоких температур до 220 °С;
- в условиях аномально-высоких пластовых давлений;
- в условиях воздействия различных агрессивных агентов: цемент, сероводород, углекислый газ;
- в сложных геолого-технических разрезах для повышения технико-экономических показателей бурения и снижения затрат на строительство скважин;
- при первичном вскрытии продуктивных горизонтов.

В результате применения Катбурр на АГКМ было выяснено, что концентрация коллоидной фракции в растворе на протяжении бурения всего интервала глинистых пород не менялась и находилась в пределах 2,5–3,5 %, что свидетельствует об отсутствии набухания и диспергирования глинистого шлама. К тому же при проходке вязких увлажненных глин выбуренный глинистый шлам не прилипал к сеткам вибросит и легко удалялся.

Промысловые испытания Катбурр на АГКМ выявили следующее:

- рН среды не влияет на технологические показатели и свойства поликатионного раствора и находится в пределах 6–7;
- увеличение концентрации катионов кальция и магния оказывает улучшающее действие на свойства и технологические показатели поликатионной системы;
- в поликатионных пресных системах с содержанием крахмала и биополимера процессы биодеструкции не протекают, отпадает необходимость в применении бактерицида;
- высокие ингибирующие свойства раствора обеспечивают предотвращение набухания и диспергирования глин;
- раствору «Катбурр» присуща малокомпонентность, поскольку поликатионный полимер одновременно является стабилизатором, разжижителем, бактерицидом и ингибитором набухания глин;

- простота в управлении структурно-реологическими и фильтрационными показателями раствора;
- стабильность структурно-реологических и фильтрационных показателей раствора в течение всего цикла строительства скважины;
- переход с пресной поликатионной системы на высокоминерализованный раствор происходит без каких-либо признаков коагуляции и ухудшения технологических показателей и не требует дополнительных затрат стабилизаторов;
- низкое значение показателя фильтрации в забойных условиях при воздействии высоких температур и полисолевой агрессии;
- совместимость с цементными растворами.

Следует отметить, что в сравнении с другими буровыми растворами (сапропелево-глинистый, ингибирующий буровой раствор), предназначенными для бурения надсолевых отложений, механическая скорость бурения с использованием раствора «Катбурр» составила 12,73 м/ч, что определяет его явное преимущество.

В результате проведения анализа экономических показателей буровых растворов видно, что поликатионная система «Катбурр» наиболее выгодна в использовании. Сравнительные характеристики растворов приведены в таблице.

Экономическая оценка применения бурового раствора на территории Припятского прогиба, исходя из количества повторов

Тип бурового раствора	Количество повторов	Стоимость реагентов для приготовления 1 м ³ , бел. руб.	Фактический объем бурового раствора 1 скважины	Стоимость фактического объема бурового раствора, бел. руб.	Стоимость фактического объема бурового раствора с учетом повторов, бел. руб.
ИБР	1,0	127,79	971	109902,11	109902,11
Катбурр	5,0	675,08	730	492805,13	98561,03
Сапропелево-глинистый	1,0	255,19	655	167149,40	167149,40

Исходя из всех вышеперечисленных достоинств поликатионной системы «Катбурр», можно сделать вывод, что он подходит для применения на территории Припятского прогиба, так как свойства этого раствора обеспечивают снижение концентрации коллоидной фракции в процессе углубления и предотвращение наработки раствора.

УДК 628.336.411

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА СОСТОЯНИЕ
КОТЛОВАНОВ-ОТСТОЙНИКОВ БУРОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД**

А. Б. Невзорова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Систематизированы факторы рисков климатических изменений и проведена оценка воздействия котлованов-отстойников на окружающую среду в условиях изменения климата. Разработана комплексная оценка уровня эколого-социального риска загрязнения окру-

жающей среды от котловано-отстойников в результате неблагоприятного сочетания климатических сигналов и возникновения опасных гидрометеорологических явлений.

Ключевые слова: климатические риски, буровые сточные воды, котлованы-отстойники.

**THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE CONDITION
OF WASTEWATER SETTLING TANKS CONTAINING DRILLING
FLUIDS DURING OIL PRODUCTION**

A. B. Nevzorova

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The risk factors of climate change are systematized and the impact of the settling pits on the environment under climate change conditions is assessed. A comprehensive assessment of the level of ecological and social risk of environmental pollution from settling pits as a result of an unfavorable combination of climatic signals and the occurrence of dangerous hydrometeorological phenomena has been developed.

Keywords: climatic risks, drilling wastewater, settling pits.

Изменение климата – это комплексное природное явление, которое включает сотни разнообразных факторов и показателей, связанных не только с антропогенным воздействием на окружающую среду, но и с такими участвовавшими природными аномалиями, как засухи, сильные штормы и наводнения [1, 2].

Скорость современного роста глобальной температуры, вызванного в основном увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере, составила за последние 40 лет около 0,17 градусов по Цельсию за каждые 10 лет. Проявление климатических изменений на территории Беларуси связано с участвовавшими опасными явлениями погоды, а также инициированными ими техногенными чрезвычайными ситуациями [3]. По данным МЧС Республики Беларусь, наиболее разрушительными были наводнения, лесные пожары и аномальная жара. За период 1981–2021 гг. на сети станций гидрометеорологических наблюдений Беларуси было зарегистрировано 1035 опасных гидрометеорологических явлений (ОГЯ): очень сильный ветер, очень сильный дождь и ливень, крупный град, очень сильная жара, заморозки, атмосферные и почвенные засухи. Из них ущерб отраслям экономики и населению нанесли 530 явлений (58 %). На фоне этого возникает вопрос: как же влияют климатические изменения на хранение буровых сточных вод в котлованах–отстойниках, расположенных на территории Республики Беларусь?

Цель работы – провести оценку воздействия амбаров и котлованов-отстойников, накапливающих буровые сточные воды, на прилегающую территорию в условиях изменения климата. При этом ставятся задачи по определению характера, степени и масштаба воздействия объекта хозяйственной деятельности на окружающую среду и последствий этого воздействия, а также по разработке предложений соответствующих мер по снижению воздействия, управлению и мониторингу.

На нефтяных месторождениях при бурении скважин применяют растворы на водной и углеводородной основах с добавками нефти (нефтеэмульсионные). Известно, что нефть является устойчивым загрязнителем окружающей среды, и ее применение в качестве основного компонента бурового раствора в последнее время происходит нечасто.

Невосполнимый ущерб водным объектам наносят буровые растворы, которые выносятся на поверхность земли при бурении и при ремонтных работах на скважи-

нах. Засыпка земляных амбаров с раствором и шламом после окончания бурения скважин неоправданна в качестве природоохранного мероприятия в связи с тиксотропностью буровых растворов. Земляные амбары после их засыпки в течение нескольких лет не затвердевают, и этот участок земли длительное время является источником загрязнения почвы и водных ресурсов. Экологический мониторинг прилегающей территории месторождения показывает, что влияние производственных процессов геологоразведочных работ на малые реки и ручьи наблюдается в зоне от 3 до 10 км. Так как буровые сточные воды представляют собой устойчивые многокомпонентные суспензии, содержащие минеральные и органические примеси, нефть и нефтепродукты, они имеют свойство долго задерживаться на поверхности земли с постепенным проникновением вглубь почвенного покрова [4].

Уровень эколого-социального риска (ЭСР) загрязнения окружающей природной среды и влияние его на социум, в том числе и при возникновении определенного неблагоприятного сочетания климатических сигналов, рассчитаем как:

$$LR = RD,$$

где LR – уровень ЭСР – степень опасности нанесения ущерба (D) окружающей среде и человеку в результате изменения состояния котлованов-отстойников; R – величина риска (вероятность) возникновения загрязнения при появлении климатического сигнала распространением неблагоприятных газовых выделений в воздушную среду и загрязнения тяжелыми металлами подземных вод и земли; D – величина ущерба окружающей среде в результате разгерметизации котлованов-отстойников от климатического сигнала.

На основе проведенных аналитических исследований разработана комплексная оценка уровня ЭСР загрязнения при возникновении климатического сигнала от котлованов-отстойников в результате неблагоприятного сочетания климатических сигналов и возникновении опасных явлений [5].

Разработана шкала оценки вероятности наступления ЭСР от климатических воздействий как иллюстрация результата взаимодействия связанных с климатом опасностей (включая опасные явления и тренды) с уязвимостью и подверженностью антропогенных систем в виде котлованов-отстойников (земляных амбаров) возникновению опасных явлений и медленных изменений при хранении буровых сточных вод.

Установлено, что необходимо провести и экономическую оценку экологического ущерба при вероятности возникновения риска загрязнения окружающей среды в случае возникновения определенного неблагоприятного сочетания климатических сигналов.

Таким образом, адекватная оценка риска загрязнений территории от земляных амбаров и котлованов с утилизируемой буровой сточной водой, содержащей нефтепродукты, ПАВ и буровой шлам, может внести свой вклад в решение задачи предупреждения аварийных ситуаций и минимизации ущерба и повысить эффективность управления экологическими рисками с целью их минимизации.

Литература

1. Бертош, Е. Национальный доклад: уязвимость и адаптация к изменению климата в Беларуси / Е. Бертош, Белорус. об-во Красного Креста. – Минск : ПДУП «Типография Федерации профсоюзов Беларуси», 2014. – 45 с. – (Форум восточных стран по климатическим изменениям).
2. Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – СПб. : Климат. центр Росгидромета ; Саратов : Амирит, 2020. – 120 с.

3. Акимов, В. А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев. – М. : Деловой экспресс, 2002. – 352 с.
4. Малышкин, М. М. Снижение экологической опасности при ведении буровых работ / М. М. Малышкин // Зап. Горн. ин-та. – 2014. – Т. 207. – С. 186–189.
5. Невзорова, А. Б. Оценка значимости риска влияния климата на состояние иловых площадок / А. Б. Невзорова, О. К. Новикова // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – № 4. – 2022. – С. 34–38.

УДК 550.8.013

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ БУРЕНИЯ
НА ТРЕНАЖЕРЕ-ИММИТАТОРЕ С ТЕХНОЛОГИЕЙ
ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

Ю. В. Линевич, Д. С. Матвеенко, Н. Н. Грибова

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

А. Б. Невзорова

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Описана форма повышения эффективности проведения занятий с использованием тренажера-имитатора бурения скважин с целью формирования прочных научных знаний и обеспечения профессиональных компетенций по специальным дисциплинам.

Ключевые слова: студенты, тренажер-имитатор, бурение скважин.

**MODELING OF DRILLING PROCESSES ON A TRAINING
MACHINE-SIMULATOR WITH VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES**

Yu. V. Linevich, D. S. Matveenko, N. N. Gribova

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

A. B. Nevzorova

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The form of improving the effectiveness of conducting classes using a simulator simulator of drilling wells in order to form solid scientific knowledge and provide professional competencies in special disciplines is described.

Keywords: students, simulator, well drilling.

После сбора необходимой геолого-разведочной информации, свидетельствующей о наличии запасов нефти, проводится поисково-разведочное бурение для подтверждения наличия в горной породе залежей углеводородов с последующей оценкой перспективности участка. В зависимости от выполняемых работ скважины разделяются на опорные, параметрические, поисковые, глубокие разведочные, которые помогают составить карту предстоящей разработки месторождения. Фактически процесс добычи нефти запускается с началом бурения эксплуатационных скважин: добывающих, нагнетательных и контрольных.

Показать в реальности или обучить основным навыкам бурения скважин студентов или слушателей курсов повышения квалификации затруднительно, поэтому в

современном цифровом мире отличным вариантом становится использование симуляторов для обучения, которые представляют собой интерактивные модули, имитаторы управления процессом, оборудованием, механизмом, а также имитаторы ситуации.

Цель работы – повышение эффективности образовательного процесса студентов специальности «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» путем применения новой формы представления учебной информации на тренажере-имитаторе в рамках дисциплины «Бурение нефтяных и газовых скважин».

В рамках научно-образовательного взаимодействия ГГТУ им. П. О. Сухого с РУП «Производственное объединение «Беларуснефть» на базе управления по подготовке и переподготовке и повышения квалификации кадров для студентов специальности 1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» была предоставлена возможность проведения занятий на тренажере-имитаторе бурения DrillSim-5000 (рис. 1). Ознакомившись с принципом работы, студентам была показана возможность моделирования спускоподъемных операций (СПО), бурения скважины, управления скважиной при газонефтеводопроявлении, глушения действующей скважины, освоения скважины после КРС. При этом они увидели, как происходит работа нефтяного оборудования для проведения СПО, буровых насосов, верхнего привода, циркуляционной системы; клиньев, элеваторов, цементировочного оборудования и др.



Рис. 1. Знакомство с работой на тренажере-имитаторе бурения DrillSim-5000

Расширенные функции интерактивности, встроенной в виртуальную реальность, обеспечивают возможность увидеть потоки жидкости внутри трубопроводов и механизмов, работающих на буровой площадке.

При выполнении упражнений на тренажере студенты могли отработать навыки действий при возникновении нештатных ситуаций в виртуальном мире, таких как проблемы с оборудованием для СПО; проблемы на забое, связанные с забойным оборудованием или процессами в скважине; проблемы с оборудованием для управления скважиной. Они начинают понимать важность полученных знаний и роль человеческого фактора в обеспечении безопасности на буровой установке.

Таким образом, студенты знакомятся с буровой установкой, прежде чем впервые ступить на нее, и знают, где и как они должны будут работать. В процессе выполнения упражнений на тренажере-имитаторе у студентов формируются прочные научные и практические знания и обеспечиваются профессиональные компетенции по бурению скважин в различных условиях, а также закрепляется теоретический материал по курсу «Бурение нефтяных и газовых скважин».

УДК 622.276.64

РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ЗАВОДНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

А. О. Чекан, Н. А. Демяненко

*БелНИПИнефть «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Посвящена анализу результатов применения технологий химического заводнения на месторождениях Припятского прогиба, а также оценке дальнейших перспектив внедрения данных методов для увеличения нефтеотдачи пластов. Приведены результаты эффективности выполненных работ по химическим методам увеличения нефтеотдачи пластов. Проведено ранжирование нефтяных залежей Припятского прогиба с определением наиболее перспективных объектов для химического заводнения.

Ключевые слова: Припятский прогиб, поверхностно-активные вещества, полимерное заводнение, химические методы увеличения нефтеотдачи, петрофизические свойства горных пород.

RESULTS AND OUTLOOK FOR THE USE OF CHEMICAL FLOODING IN THE CONDITIONS OF THE PRIPYAT TROUGH

A. O. Chekan, N. A. Demyanenko

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

The article is devoted to the analysis of the results of the use of chemical flooding methods in the fields of the Pripyat trough. Moreover, an appraisal of further perspective for the use of this method of enhanced oil recovery. The article presents results of the analysis of the effectiveness of work on the use of chemical methods of enhanced oil recovery. Oil reservoir of the Pripyat trough ranked with the identification of the most promising objects for chemical flooding.

Key words: Pripyat trough, surface-active substances (surfactants), chemical methods for enhanced oil recovery, petrophysical properties of rocks.

К химическим методам увеличения нефти (МУН) относят воздействие на пласт с целью повышения нефтеотдачи композициями на основе полимеров, поверхностно-активных веществ (ПАВ), щелочей, растворителей и различного сочетания этих химических реагентов. Основными задачами химических МУН являются уменьшение капиллярного числа N_c для активизации миграции остаточной нефти, уменьшение коэффициента подвижности M вытесняющих агентов для увеличения охвата заводнением, эмульгирование нефти для облегчения добычи [1, 2].

Основной объем применения химических методов увеличения нефтеотдачи в Припятском прогибе принадлежит крупным месторождениям (Речицкое, Осташковичское, Южно-Осташковичское, Вишанское, Тишковское и др.), которые обеспечивают основную добычу нефти. На текущий момент их обводненность превышает 80–90 %, а извлекаемые запасы выработаны на 70–80 %.

Первые работы по закачке химических реагентов на месторождениях Беларуси с целью повышения нефтеотдачи начались в конце 70-х гг. прошлого века и активно развивались до начала 90-х гг. Проводились как лабораторные исследования, так и полевые испытания. В эти годы в основном применялись технологии, основанные на применении ПАВ и щелочей. В 2000-е гг. работы были вновь возобновлены. На этом этапе основное внимание было уделено технологиям с применением полимеров.

116 Секция 6. Геология и разработка нефтяных и газовых месторождений

В табл. 1 представлены данные о проведенных работах на некоторых месторождениях Припятского прогиба. Наилучшие показатели по дополнительной добыче нефти отмечены по технологиям комбинированного воздействия щелочи и ПАВ на семилукско-саргаевской и задонской (VIII пачка) залежах Речицкого месторождения, а также от закачки пенных систем на основе ПАВ на петриковско-задонской залежи Осташковичского месторождения.

Таблица 1

Результаты применения химических методов увеличения нефти на месторождениях Припятского прогиба

Год	Технология	Месторождение (залежь)	Объем закачки химических реагентов, м ³	Количество нагнетательных скважин, ед.	Химические реагенты, %	Дополнительная добыча нефти, т
1979	Применение пенных систем	Осташковичское (ptr-zd)	2717	3	ПАВ (2)	6000
		Тишковское (sm цнт. б.)	1000	1	ПАВ (2)	290
1984–1985	ПНП за счет капиллярной допропитки при закачке ПАВ	Вишанское (vr-sr)	10000	1	ПАВ (0,5)	4300
1985	Увеличение охвата пластов заводнением путем закачки щелочи	Мармовичское (zd)	4000	1	Щелочь (1)	нет эффекта
		Речицкое (sm-sr)	4800	1	Щелочь (0,8)	3160
1988	Комбинированное воздействие ПАВ и щелочи	Речицкое (el-zdIV)	35325	2	Щелочь (1,5), ПАВ (0,6)	нет эффекта
		Речицкое (zdVIII)	21147	1	Щелочь (0,25), ПАВ (0,8)	11900
2004	Полимерное заводнение	Вишанское (el-zd зап.)	6095	1	ПАА (0,07–0,14)	1432
2006		Вишанское (el-zd вост.)	4000	1	ПАА (0,3)	445
2007		С-Домановичское (lb)	4000	1	ПАА	170
2011	ПАВ-полимерное заводнение	Речицкое (zd VII-IX)	1000	2	ПАА – 0,1, ПАВ – 1.	88
2014	ПАВ-полимерное заводнение	Мармовичское (el-zd Vб.)	1000	2	ПАА (0,1), ПАВ (0,05)	10
2019	Полимерное заводнение	Вишанское (vr-sr)	30218	9	ПАА (0,1), ацетат хрома	4763
2020	Полимерное заводнение	Речицкое (ln-st зап.)	3501	6	ПАА (0,3), ацетат хрома	2406
2021	Полимерное заводнение	Вишанское (vr-sr)	18500	5	Aspiro P5411 (0,3) и ацетат хрома	780

Параметры скрининга	S. Thomas, 2006	A. Khanifar, 2019	J. J. Taber, 1997	Aldasani, Bai 2010	Dickson, 2010	Al. Hajri, 2010	Alvarado, 2010	SNF, 2012	Surguchev, 1992
Глинистость, % <	5	низкая	–	–	–	низкая	низкая	–	5
Неоднородность (коэффициент Дикстра–Парсонса)	–	–	–	0,28–0,80	–	–	–	–	–
Вязкость нефти, сП <	35	35	35 (10–150)	(0,4–4000)	35 (10–1000)	150	150	(10–10000)	2–15
Плотность нефти, кг/м ³ <	877	904	934	922–835	934	–	–	966	870
Минерализация пластовой воды, мг/л <	20000	–	20000	–	200000	50000	35000	250000	150000
Жесткость воды, мг/л <	500	–	500	–	50000	1000	1000	–	–

Примечание. В скобках приведены уточненные критерии для полимерного заводнения.

Основываясь на мировом опыте проведения заводнения с использованием химических реагентов и с учетом опыта проведения работ с использованием ХМУН, на залежах РУП «ПО «Белоруснефть» был проведен скрининг геологических объектов, перспективных для реализации ХМУН.

Рассмотрено 269 залежей на 83 месторождениях РУП «ПО «Белоруснефть». Установлено, что основными факторами, осложняющими отнесение объекта к перспективным для проведения ХМУН, являются: низкая проницаемость пластов-коллекторов, высокая неоднородность залежей, высокая минерализация и жесткость воды, низкая плотность ОИЗ. Для получения значений численных критериев, определяющих наиболее перспективные объекты, было проведено ранжирование нефтяных залежей.

Каждой залежи выставлялись скрининговые баллы, позволяющие оценить возможность эффективного применения химического заводнения. Общие скрининговые баллы выводились из баллов по скользящей шкале для отдельных критериев отбора [4]. Дополнительная добыча нефти оценивалась с учетом существующих процессов извлечения на месторождении и ограничивалась теоретическим увеличением на 10 %.

По результатам ранжирования установлено, что 262 залежи получили рейтинг эффективности «0», что говорит о полном несоответствии критериям эффективного применения химического заводнения. Семь объектов получили рейтинг более «0», но менее «1», что говорит о частичном соответствии критериям выбора объектов. Рейтинг «1» не был получен ни для одной из залежей.

Наибольшие значения по рейтингу получили следующие залежи: zd IVп., zd VIIп., In-st западный блок Речицкого, ptr-zd Давыдовского, ptr-zd Ю-Осташковичского, ptr-el III блок Березинского, el-zd западный блок Ю-Тишковского месторождений. Оценка потенциально извлекаемых запасов нефти при применении химического заводнения на этих залежах показала, что дополнительно добыча нефти может составить до 280–600 тыс. т.

На большинстве нефтяных залежей Припятского прогиба пластовые воды являются рассолами с минерализацией 300 г/л и выше, что является существенной проблемой для проведения химического заводнения. Как показали лабораторные ис-

следования по подбору ПАВ-полимерного состава для задонской залежи Речицкого месторождения, проведенные в 2021–2022 гг., на устойчивость ПАВ и полимеров сильное влияние оказывает температура и минерализация пластовой воды – с их увеличением снижается стабильность растворов химических реагентов. На этапе разработки рецептур ПАВ-полимерных композиций стоит уделять особое внимание поиску соле- и термостойких химических реагентов.

Накопленный опыт внедрения ХМУН на нефтяных залежах Припятского прогиба подтверждает достаточно высокий потенциал их эффективного применения.

Проведенный скрининг по существующим критериям эффективного выбора объектов для ХМУН показал, что для внедрения технологий подходит небольшое количество нефтяных залежей Припятского прогиба.

Для каждого месторождения необходим индивидуальный подбор химического коктейля в зависимости от геолого-физических свойств пласта и физико-химических свойств пластовых флюидов.

Ключом для расширения критериев отбора объектов является поиск и разработка новых химических композиций, которые будут соответствовать сложным пластовым условиям нефтяных залежей Припятского прогиба.

Литература

1. Алварado, В. Методы увеличения нефтеотдачи пластов. Планирование и стратегии применения / В. Алварado, Э. Манрик. – М. : Премиум Инжиниринг, 2011. – 236 с.
2. Gbadamosi, A. O. An overview of chemical enhanced oil recovery: recent advances and prospects / A. O. Gbadamosi // Springer Journal, International Nano Letters. – 2019. – P. 172–202.
3. DeBons, F. E. A Guide to Chemical Oil Recovery for the Independent Operator / F. E. DeBons // SPE/DOE Fourteenth Symposium on Improved Oil Recovery held in Tulsa, Oklahoma, USA, 17–21 April, 2004 / SPE. – Oklahoma, 2004. – P. 89382.
4. Smalley, P. C. Screening for EOR and Estimating Potential Incremental Oil Recovery on the Norwegian Continental Shelf / P. C. Smalley, A. H. Muggeridge // SPE Improved Oil Recovery Conference held in Tulsa, Oklahoma, USA, 14–18 April, 2018 / SPE. – Oklahoma, 2018. – P. 190230-MS.

УДК 622.276.64

ОБОСНОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ МНОГОЭТАПНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ЦИКЛИЧЕСКОГО ЗАВОДНЕНИЯ ПЛАСТОВ ПО ГЕОЛОГО-ФИЗИЧЕСКИМ ОСОБЕННОСТЯМ КОЛЛЕКТОРОВ

А. О. Чекан, Н. А. Демяненко

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Посвящена усовершенствованию обоснования метода нестационарного циклического заводнения нефтяных залежей. Приведена эффективность работ по циклическому заводнению на месторождениях Припятского прогиба за 2011–2022 гг. Предложены критерии и алгоритм выбора объектов для многоэтапного нестационарного циклического заводнения пластов.

Ключевые слова: Припятский прогиб, многоэтапное нестационарное циклическое заводнение, петрофизические свойства горных пород.

**SUBSTANTIATION OF OBJECTS FOR MULTI-STAGE
NON-STATIONARY CYCLIC WATERFLOODING OF RESERVOIRS
BY GEOLOGICAL FEATURES OF RESERVOIRS**

A. O. Chekan, N. A. Demyanenko

BelNIPIneft RUF "Production Association "Belorusneft", Gomel

The paper is devoted to the improvement of the substantiation of the method of non-stationary cyclic flooding of oil reservoirs. The paper shows the results of the analysis of the effectiveness of work on cyclic waterflooding at the fields of the Priyapyat trough for 2011–2022. The authors proposed criteria and an algorithm for selecting objects for multi-stage non-stationary cyclic waterflooding.

Key words: Pripyat trough, multi-stage non-stationary cyclic flooding, petrophysical properties of rocks.

Добыча нефти в Беларуси ведется более 55 лет. Подавляющая часть запасов нефти (более 90 %) приурочена к залежам, представленным весьма неоднородными карбонатными отложениями. Для достижения высоких значений коэффициентов извлечения нефти (КИН) большинство залежей требует организации системы поддержания пластового давления путем заводнения. При заводнении существуют проблемы эффективного вытеснения нефти, связанные со сложностью геологического строения, многочисленными разрывными нарушениями, наличием послойной и зональной неоднородности, развитием систем трещин различной направленности. Все это предопределяет неравномерную выработку запасов, преждевременное обводнение добывающих скважин. Поэтому весьма актуальной задачей остается вопрос повышения эффективности системы разработки карбонатных залежей с заводнением. Регулирование и управление процессом заводнения позволит увеличить конечный коэффициент нефтеотдачи.

Одним из вариантов регулирования и управления процессом заводнения является многоэтапное нестационарное циклическое воздействие (МНЦВ), которое помимо изменения режимов работы добывающего и нагнетательного фонда подразумевает закачку потокоотклоняющих композиций в нагнетательные и простаивающие добывающие скважины с целью дополнительного изменения фильтрационных потоков и вовлечения в разработку недренируемых запасов. Технология МНЦВ совмещает в себе несколько этапов в цикле с различными параметрами, которые предварительно определяются с помощью гидродинамического моделирования [1, 2].

Основной задачей планирования работ по МНЦВ является выбор и обоснование объектов разработки, имеющих наибольший потенциал для реализации технологии.

На месторождениях Припятского прогиба различные модификации технологии МНЦВ отрабатывались на залежи IV пачки задонского горизонта Речицкого месторождения (2011 г.); залежи воронежско-саргаевского горизонта Вишанского месторождения (2011 г.); семилукской залежи восточного блока Тишковского месторождения (2014–2022 гг.); семилукской залежи Осташковичского месторождения (2018–2020 гг.); семилукской залежи Восточно-Первомайского месторождения (2018–2020 гг.); семилукской залежи центрального блока Тишковского месторождения (2020–2021 гг.).

По результатам анализа работ на перечисленных залежах уточнены геолого-физические критерии выбора залежей для МНЦВ. В частности, установлено, что, чем выше проницаемая неоднородность фильтрационного поля, тем более значимы изменения технологических показателей разработки в результате циклической закачки воды. Наибольшая эффективность нестационарных методов была получена для трещиновато-пористых коллекторов, а также для мощных слоисто-неоднородных пластов с хорошей гидродинамической связью между прослоями. Эффект от внедрения циклического заводнения (ЦЗ) тем выше, чем более гидрофильна порода пласта-коллектора. Наилучшими для нестационарных процессов являются газонасыщенные маловязкие нефти.

Реакция системы разработки при переходе на нестационарный режим работы участка залежи занимает определенный интервал времени – переходный период. Чем выше проницаемость высокопроницаемых зон коллектора, тем менее продолжителен переходный период.

Применение ЦЗ может обеспечить не только снижение обводненности добываемой продукции и рост дополнительной добычи нефти, но и уменьшение объемов непроизводительной закачки воды, а также уточнение геологических особенностей строения залежи благодаря более детальному и полному анализу процесса дренирования.

Эффективность работ зависит от величины начального пластового давления в залежи и накопленной компенсации отборов жидкости закачкой. При высоких значениях пластового давления (не ниже гидростатического) ЦЗ эффективнее.

Критерии выбора потенциальных объектов для эффективной реализации технологии можно разделить на две группы: геолого-физические и промысловые (см. таблицу). При обосновании объектов для МНЦВ одним из важнейших геолого-физических факторов является изученность неоднородности залежей. Это обусловлено сущностью процесса циклического воздействия на залежь. В пластах, обладающих неоднородностью по литологии, размерам пор, проницаемости слоев, возникают участки с неравномерной нефтенасыщенностью, которая вызвана этими видами неоднородности, отбором нефти и нагнетанием воды. Слои и участки малой проницаемости, насыщенные нефтью, располагаются в пластах бессистемно, обладают низкой пьезопроводностью, а скорости распространения давления в них значительно ниже, чем в высокопроницаемых водонасыщенных слоях и участках. Поэтому между нефтенасыщенными и заводненными зонами возникают различные по знаку перепады давления. При повышении давления в пласте, т. е. при увеличении объема нагнетания воды или снижения отбора жидкости, возникают положительные перепады давления: в заводненных зонах давление выше, а в нефтенасыщенных – ниже. При снижении давления в пласте, т. е. при уменьшении объема нагнетаемой воды или повышении отбора жидкости, возникают отрицательные перепады давления: в нефтенасыщенных зонах давление выше, а в заводненных – ниже. Под действием знакопеременных перепадов давления происходит перераспределение флюидов в неравномерно насыщенном пласте.

На основании многолетнего опыта, фактических данных реализации и выработанных критериев эффективного внедрения разработан алгоритм выбора участков для МНЦВ (рис. 1) [3].

Критерии выбора объектов для многоэтапного нестационарного циклического воздействия

Геолого-физические критерии	Промысловые критерии
Тип коллектора – трещинно-поровый, поровый	Система разработки залежи
Высокая слоистая неоднородность пласта – более 3-х пропластков – с наличием гидродинамической связи между низко- и высокопроницаемыми пропластками	Наличие системы ППД. Внутриконтурное заводнение с небольшими размерами площадей, блоков, элементов заводнения
Неоднородность пласта по проницаемости – различие в проницаемостях гидродинамически связанных пропластков – 5 и более раз	Снижение пластового давления по участку относительно гидростатического – не более 40 %
Коэффициент гидродинамической связанности по разрезу – больше 0,5 доли ед.	Плотность остаточных подвижных извлекаемых запасов нефти – от 0,5 тыс. т/га
Коэффициент литологической связанности пластов по площади (отношение площади слияния коллекторов к общей площади участка) – не менее 0,5 доли ед.	Возможность регулирования объемов закачки воды в пределах участка МНЦВ – не менее чем на 50 %
Смачиваемость – преимущественно гидрофильная	Возможность изменения направлений фильтрационных потоков – в пределах 90°
Отношение толщины связанных низкопроницаемых пропластков к суммарной эффективной толщине пласта в интервале перфорации должно быть больше 0,3 доли ед.	Средняя и высокая текущая обводненность добываемой продукции при отставании выработки от НИЗ по участку – более чем на 5 % от текущей обводненности добываемой продукции
Средняя начальная нефтенасыщенность – более 0,55 доли ед, текущая нефтенасыщенность низкопроницаемых пропластков – более 0,3 доли ед.	Наличие гидродинамической связи между зоной нагнетания и зоной добычи
Высокая упругоэластичность залежи за счет сжимаемости флюидов	Стадия разработки залежи при проведении МНЦВ – не ранее второй
Нефть малой вязкости – (до 5 мПа · с)	Фонд скважин – не менее 2 добывающих скважин на каждую нагнетательную
Газосодержание – более 50 м/т	Расстояние между зоной нагнетания и зоной отборов – не более 700 м
	Обводненность добываемой продукции – > 65 %
	Текущая компенсация отборов закачкой – более 65 %. Возможность регулирования компенсации отборов закачкой – от 0 до 200 %

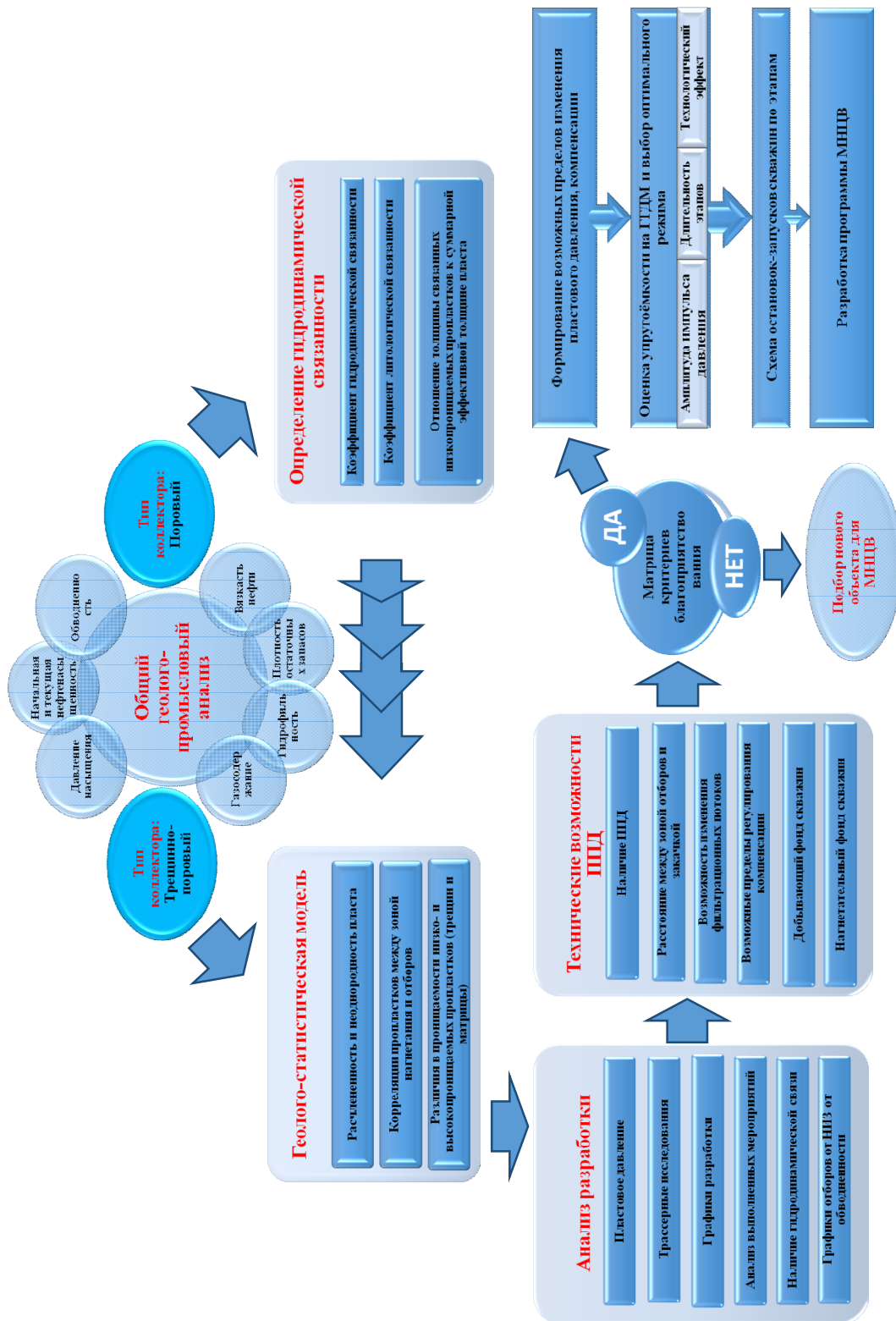


Рис. 1. Алгоритм выбора участков многоэтапного нестационарного циклического воздействия [3]

Согласно алгоритму (рис. 1), в 2021 г. проведен анализ 88 залежей на месторождениях Припятского прогиба. В результате выбраны две залежи для реализации МНЦВ: третий блок петриковско-елецкой залежи Березинского месторождения и семилукско-саргаевская залежь Зотухинского месторождения. Работы по МНЦВ были начаты 01.01.2022 г. На 01.08.2022 г. суммарная технологическая эффективность работ превысила 930 т нефти.

Л и т е р а т у р а

1. Способ разработки нефтяной залежи : пат. 037109 ЕА / Повжик П. П., Демяненко Н. А., Сердюков Д. В., Жук И. В., Мармылев И. Ю. – № 201900259/25 ; заявл. 16.04. 19 ; опубл. 08.02.21.
2. Кудряшов, А. А. О циклическом воздействии на семилукскую залежь восточного блока Тишковского месторождения / А. А. Кудряшов, Д. А. Примичев // Поиски и освоение нефтяных ресурсов Республики Беларусь : сб. науч. тр. – 2017. – № 9. – С. 88–99.
3. Обоснование и планирование технологии многоэтапного циклического нестационарного воздействия на пласт // Врем. регламент. – Гомель : Связынформсервис, 2020. – 43 с.

УДК 622.276.6

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕХАНИКИ
НА ПРИМЕРЕ ОТЛОЖЕНИЙ I–III ПАЧКИ
РЕЧИЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Р. Е. Гутман, В. Н. Шиленкова

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Посвящена анализу и применению результатов тестов на утечку XLOT при проектировании разработки нетрадиционных коллекторов нефти.

Ключевые слова: горные породы, боковое напряжение, горное давление, тест на утечку, давление гидроразрыва.

**PRACTICAL USE OF GEOMECHANICS ON THE EXAMPLE
OF I–III SEDIMENTS OF RECHITSKOE OILFIELD**

R. Hutman, V. Shylenkova

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

The work is devoted to analysis of leak off test results and its implementation in development and exploitation of unconventional deposits

Keywords: rocks, lateral stresses, overburden stress, leak off test, breakdown pressure.

Успехи «сланцевой революции» в США, обусловленные развитием технологии бурения горизонтальных скважин с многостадийным гидравлическим разрывом пласта (ГРП) и снижением стоимости строительства, на фоне более чем 10-летнего периода высоких цен на нефть обусловили появление интереса к изучению строения и перспектив нефтеносности нефтематеринских и низкопроницаемых коллекторов в различных нефтегазоносных бассейнах. В пределах Припятского прогиба одним из таких перспективных объектов являются отложения I–III пачки межсолевого комплекса Речицкого месторождения.

Отложения I–III пачки преимущественно представлены карбонатными породами смешанного состава. Средняя пористость данных пород варьируется в пределах

7,3–12,6 %, в среднем составляет 11,9 %, только в подошве петриковского горизонта превышает 15 %. Поровое пространство занято углеводородом частично – в среднем 2,2 %, битумоидами – еще 1,4 %. Средняя проницаемость матрицы – 0,44 мд в петриковском горизонте и 1,04 мд – в елецком горизонте. Низкие фильтрационные свойства обусловлены структурой порового пространства, где более 80 % пор представляют собой субкапилляры.

Учитывая низкие фильтрационно-емкостные свойства матрицы горных пород I–III пачки, наиболее рациональным способом разработки этих отложений является бурение протяженных горизонтальных скважин и проведение в них многостадийных ГРП. Весомую роль в успешности проведения этих операций играют механические свойства и напряжения горных пород. Самым надежным способом получения информации о напряжениях является их непосредственный замер путем анализа давления смыкания трещины после ГРП или XLOT [1]. XLOT – это расширенный тест на утечку, проводимый во время бурения под обсадной колонной, позволяющий определять давление разрыва стенки скважины и минимальное горизонтальное напряжение. С физической точки зрения операции ГРП и XLOT не отличаются друг от друга. Однако с технологической точки зрения они имеют следующие значительные отличия: низкий расход и объем закачки жидкости, высокая точность локации трещины, интервал проведения, как правило, неколлектор [2].

На скважине 381 Речицкого месторождения выполнены две операции XLOT в пределах елецкого горизонта (D3el) и кустовницких слоев евлановского горизонта (D3ev(kst)). Рассмотрим операцию XLOT, проведенную в интервале D3ev(kst) на глубине TVD 2610 м. На рис. 1 отчетливо интерпретируется давление гидроразрыва стенки скважины в виде скачка давления при нагнетании на первом цикле, на втором цикле данный скачок давления отсутствует, что говорит о наличии трещины в рассматриваемом интервале. Градиент разрыва стенки скважины (FBP) составил $2,808 \text{ г/см}^3$, а закрытие трещины (FCP) – $2,027 \text{ г/см}^3$, что равно давлениям 71,91 и 51,91 МПа соответственно.



Рис. 1. График проведения двух циклов XLOT по скважине 381 в интервале D3ev(kst)

Аналогичный тест XLOT был проведен в интервалах межсолевых отложений D3el на глубине TVD 1907 м. На рис. 2 представлен график давления при проведении двух циклов закачки. Можно заметить, что графики на рис. 1 и 2 полностью идентичны, за исключением первой стадии закачки жидкости. При достижении давления, равного 40,5 МПа, произошла резкая утечка жидкости (FBP), которая не сопровождалась выраженным разрывом стенки скважины. Закрытие «трещины» произошло при давлении 36,81 МПа. В пересчете на градиенты давлений

LOP – 1,898 г/см³; FPP – 2,165 г/см³; FCP – 1,967 г/см³ соответственно. На рис. 2 на первой стадии закачки жидкости отсутствует ярко выраженный скачок давления, характерный для разрыва стенки, как при разрыве толстостенного цилиндра.

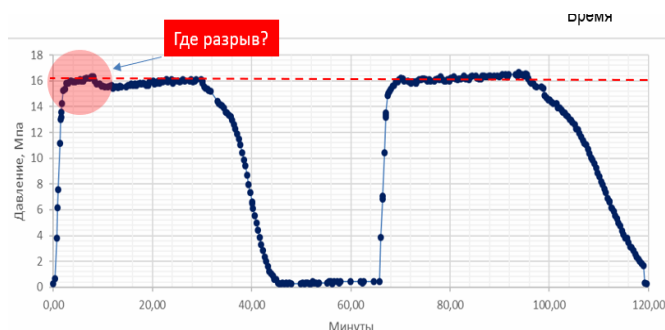


Рис. 2. График проведения XLOT по скважине 381 в интервале D3el

Исходя из физической сущности рассматриваемого процесса, причинами отсутствия скачка давления, характеризующего разрыв, могут быть:

- негерметичность крепи скважины, подземного или наземного оборудования;
- наличие достаточной проницаемости породы;
- присутствие проводящих трещин сдвигового или разрывного характера;
- давление разрыва стенки скважины ниже минимального бокового напряжения.

Для более полного понимания причин отсутствия скачка давления, характеризующего разрыв стенки скважины, было проведено моделирование с использованием расчетного модуля, разработанного авторами статьи, в основе которого лежит методика Кирша [3, 4]. Так как исходные данные достоверно неизвестны, то для расчета давления разрыва стенки скважины был применен вероятностный метод расчета, реализованный с помощью метода Монте-Карло. Неопределенность входных параметров подчиняется закону распределения Гаусса. По итогам расчетов были получены вероятностные модели величины давления разрыва стенки скважины, результаты которых сравнивались с фактическим давлением гидроразрыва при XLOT (рис. 3).

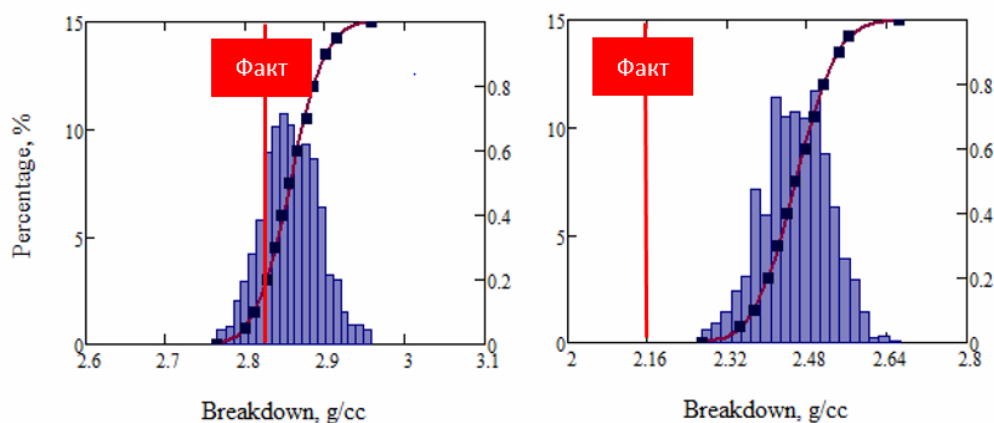


Рис. 3. Результаты вероятностного моделирования давления гидроразрыва стенки скважины при проведении XLOT

в интервалах D3ev(kst) – слева; D3el – справа

Фактические результаты разрыва в интервале D3ev(kst) близки к значению P30, равному $2,81 \text{ г/см}^3$, наиболее вероятное значение давления разрыва P50 – $2,83 \text{ г/см}^3$. В то же время давление разрыва в D3el, равное $2,16 \text{ г/см}^3$, значительно ниже ожидаемого давления P50 – $2,46 \text{ г/см}^3$, полученного по результатам расчетов вероятностной модели. Отсюда может быть сделан вывод, что механизм разрыва стенки скважины 381 в интервалах I–III пачки не соответствует механизму разрыва толсто-стенного цилиндра, а, вероятнее всего, связан с наличием естественных трещин.

Чтобы проверить данное предположение, было выполнено моделирование с целью определения пространственного расположения плоскостей, при котором могла произойти утечка жидкости в пласт при фактическом давлении 40,5 МПа. Для учета неопределенности исходных параметров, а также расчета всех возможных вариантов пространственного расположения плоскостей утечки снова был использован метод Монте-Карло (рис. 4).

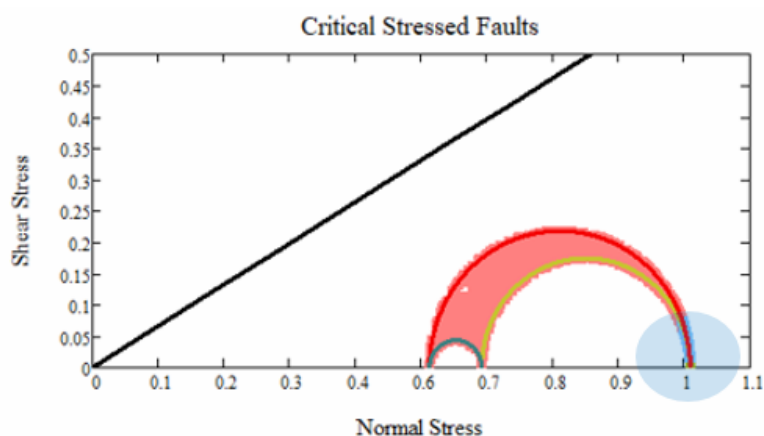


Рис. 4. Определение пространственного расположения плоскостей утечки жидкости в пласт

Из всех возможных вариантов расположения плоскостей поглощения при фактическом забойном давлении (по данным XLOT) начинают поглощать только трещины с азимутом от 0 до 360° и углом падения – от 0 до 10° , т. е. практически горизонтальные трещины. Полученные результаты могут быть важны в понимании процессов формирования трещин ГРП, а также при проектировании процессов разработки рассматриваемого объекта.

Литература

1. Zoback, M. D. Reservoir Geomechanics / M. D. Zoback // Cambridge : Cambridge University Press, 2007. – 505 p.
2. Raaen, A. M. Pump in/Flow back Tests reduce the Estimate of Horizontal in-situ Stress Regime Significantly / A. M. Raaen, M. Brudy // SPE : was prepared for presentation at the 2001, New Orleans, Louisiana, 30 September–3 October 2001 / SPE ATCE. – New Orleans, 2001. – P. 71367.
3. Kirsch, G. Die Theorie der Elastizitat und die Bedürfnisse der Festigkeitslehre, Zeitschrift des Verlines Deutscher Ingenieure / G. Kirsch. – 1998. – 707 p.
4. Petroleum Related Rock Mechanics / E. Fjær [et al.]. – second ed. – Amsterdam : Elsevier, 2008. – 515 p.

**РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ЖИДКОСТЕЙ РАЗРЫВА В УСЛОВИЯХ ГЕОМЕТРИИ
КОМПОНОВОК ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА**

А. Г. Дивович

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Рассмотрен новый метод анализа рецептур жидкостей разрыва, применяемых в технологии ГРП. В отличие от традиционных ротационных методов анализа в работе предлагается использовать параметр осцилляционных измерений – фактор потерь $\tan\delta$ – в качестве критерия оценки рисков, вносимых рецептурой жидкости разрыва на успех операций ГРП. Переход к осцилляционным методам измерения позволяет оценивать как сшитые, так и линейные системы полимеров.

Ключевые слова: реология, ГРП, осцилляционные методы анализа, жидкости разрыва.

**DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL MODEL TO RESEARCH
THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF FRACTURE FLUIDS UNDER
THE GEOMETRY OF HYDRAULIC FRACTURING LAYOUTS**

A. G. Divovich

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

This paper considers a new method for analyzing fracturing fluid formulations used in hydraulic fracturing technology. In contrast to traditional rotational methods of analysis, the paper proposes to use the parameter of oscillation measurements – loss factor $\tan\delta$ – as a criterion for assessing the risks introduced by the fracture fluid formulation on the success of fracturing operations. The transition to oscillatory measurement methods makes it possible to evaluate both cross-linked and linear polymer systems.

Keywords: rheology, fracturing, oscillatory methods of analysis, fracture fluids.

Одной из важнейших задач, стоящих перед современными испытательными лабораториями гидравлического разрыва пласта (ГРП), является осуществление входного контроля реагентов. Многие из уже существующих методик анализа жидкостей разрыва не позволяют оценивать комплексные реологические характеристики растворов полимеров, применяемых в операциях ГРП, ограничиваясь вязкостью как основным критерием качества. Ранее было показано, что пропантоудерживающая способность жидкостей разрыва зависит не только от вязкости, а скорее, от множества реологических характеристик, в частности, была показана корреляция между временем оседания пропанта в растворе и модулем накопления сдвига G' этого раствора [1, 2].

Предложенная в докладе методика оценивания качества жидкостей разрыва берет за основу параметр осцилляционных измерений – фактор потерь $\tan\delta$, представляющий собой соотношение модулей потерь сдвига G'' и накопления сдвига G' . Последние величины применяются в определении LVE-диапазона вязкоупругих жидкостей. В случае, когда фактор потерь $\tan\delta$ принимает значения выше единицы, предлагается считать, что анализируемая жидкость обладает преимущественно текучими свойствами и, следовательно, является фактором риска получения СТОП на операции ГРП. Соответственно, в случае, когда фактор потерь $\tan\delta$ принимает зна-

чения меньше единицы, предлагается считать, что анализируемая жидкость обладает преимущественно упругими свойствами и, следовательно, обладает способностью переносить расклинивающий агент (пропант или песок).

Таким образом, целью исследования было показать воспроизводимость предлагаемой методики и ее валидность в рамках реагентов, применяемых в операциях ГРП. Для этого была разработана экспериментальная модель компоновки ГРП, параметры которой возможно воспроизвести в лабораторных условиях. Были проведены измерения для шести выбранных рецептов жидкостей разрыва: три – наиболее широко распространенные расходы жидкости и две – геометрии компоновок ГРП. На рис. 1 представлено сравнение изменения фактора потерь $\tan \delta$ различных рецептов жидкостей разрыва в рамках разработанной экспериментальной модели.

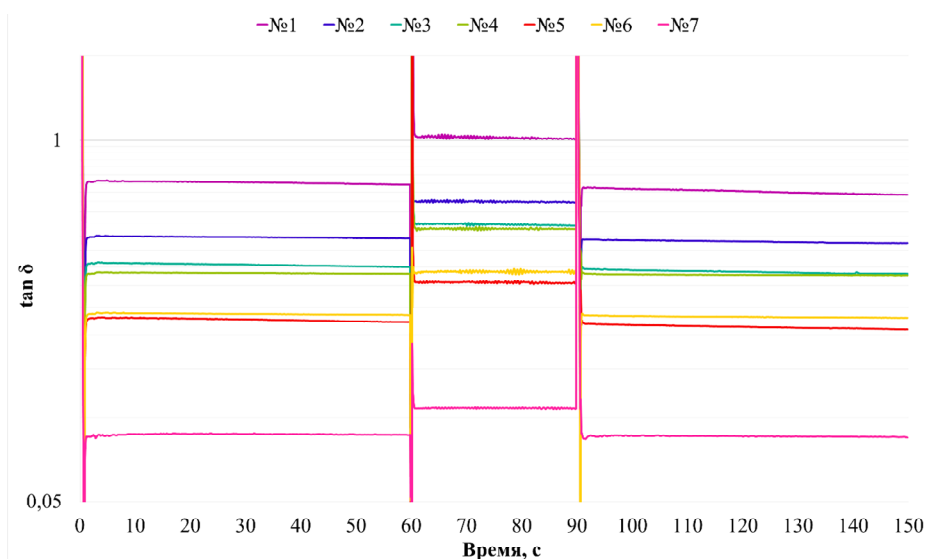


Рис. 1. Сравнение фактора потерь $\tan \delta$ для рецептов № 1–7

Рецептуры № 1–7 (рис. 1) отличаются между собой содержанием гуарового гелеобразователя и боратного сшивателя. С увеличением порядкового номера рецептуры соответственно увеличиваются концентрации названных реагентов. Приведенные данные свидетельствуют о том, что с увеличением содержания гелеобразователя и сшивателя, фактор потерь $\tan \delta$ готавливаемых жидкостей разрыва уменьшается, а следовательно, рецептура становится все более безопасной для применения в реальных операциях. Рецептуру № 1 предложено считать критической для используемых реагентов, так как на среднем участке, отвечающим за пик нагрузки на жидкость, ее фактор потерь $\tan \delta$ становится большим, чем единица, т. е. жидкость разрыва на данном участке обладает преимущественно текучими свойствами, ее пропантонесущая способность уменьшается, а риски СТОПа возрастают.

В докладе обсуждаются такие ранее известные эффекты влияния состава рецептуры жидкости разрыва на ее реологические свойства, как увеличение времени сшивки с ростом минерализации используемой воды и восстановительные способности жидкостей разрыва. Дополнительно были проведены исследования по подбору оптимальной измерительной системы для предложенной экспериментальной модели. Была предложена система типа двойного зазора.

Литература

1. Применение метода осцилляционной реологии для исследования жидкостей разрыва / Т. Д. Гилязитдинов [и др.] // Рос. нефтегаз. техн. конф., Москва, 12–14 окт. 2020 г. / SPE. – М., 2021.
2. Разработка жидкостей разрыва на основе сополимеров акриламида и исследование их физико-технологических свойств методами осцилляционной реологии / М. В. Казак [и др.] // Рос. нефтегаз. техн. конф., Москва, 12–14 окт. 2021 г. / SPE. – М., 2021.

УДК 622.276.66

**НОВЫЕ ПОХОДЫ К СОЗДАНИЮ ТРЕЩИН ГИДРАВЛИЧЕСКОГО
РАЗРЫВА ПЛАСТА В ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ**

Я. А. Майлат

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Описаны основные методы задания трещин ГРП в гидродинамических моделях, проведены расчеты, рассчитаны показатели ввода скважин при различных методах задания трещин, оценена сходимость расчетных и входных показателей при одинаковых входных условиях.

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта, гидродинамическая модель, проводимость, трещина, проппант, коэффициент продуктивности, прогноз.

**NEW APPROACHES TO SPECIFYING FRACTURES
IN HYDRODYNAMIC MODELS**

Y. A. Maylat

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

This article describes the main methods for specifying hydraulic fractures in hydrodynamic models, performed calculations, calculated well commissioning rates for various methods of specifying fractures, and assessed the convergence of calculated and input indicators under the same input conditions.

Keywords: hydraulic fracturing, hydrodynamic model, transmissibility, fracture, proppant, productivity index, forecast.

Результат применения любой технологии, направленной на добычу углеводородов, зависит от большого количества геолого-физических и технологических факторов. Чем сложнее процесс или технология добычи нефти, тем большее количество параметров и свойств должно учитываться при оценке их эффективности.

Одной из наиболее сложных технологий, направленных на увеличение степени нефтеизвлечения, является гидроразрыв пласта (ГРП). Для решения задач прогнозирования работы скважин после проведения ГРП необходима объективная оценка его эффективности. Для того чтобы свести количество выходных анализируемых параметров к минимуму, одним из самых доступных вариантов является расчет эффективности проведения ГРП на текущей гидродинамической модели [1]. Однако на текущий момент не существует единого подхода к учету параметров трещин при оценке эффективности проведения ГРП. Поэтому основная цель – оптимизация метода выбора моделирования ГРП для повышения прогнозной способности. В качестве объектов исследования были выбраны скважины 97п и 105п ланско-старооскольской залежи Барсуковского месторождения.

Так как ширина трещины (2–3 мм) несоизмеримо мала по сравнению с средней величиной ячейки модели по латерали (около 50 м), прямого способа задания трещины ГПП в Eclipse 100 в фактических геометрических параметрах не существует. Поэтому в саму модель задаются определенные пересчетные параметры для ячеек, охватываемых трещинами. На рис. 1 отображено визуальное представление скважин на тестовой модели-кубе при различных методах задания трещин.

Среди традиционных подходов к моделированию ГПП было выделено 4 основных:

- 1) задание проницаемости ячеек, охватываемых трещиной, в явном виде [2] (PERM);
- 2) задание дополнительных соединений в ячейки, охватываемые портами ГПП;
- 3) изменение проводимости ячеек и соединений скважины (TRAN);
- 4) локальное измельчение сетки в зоне влияния трещин ГПП (LGR).

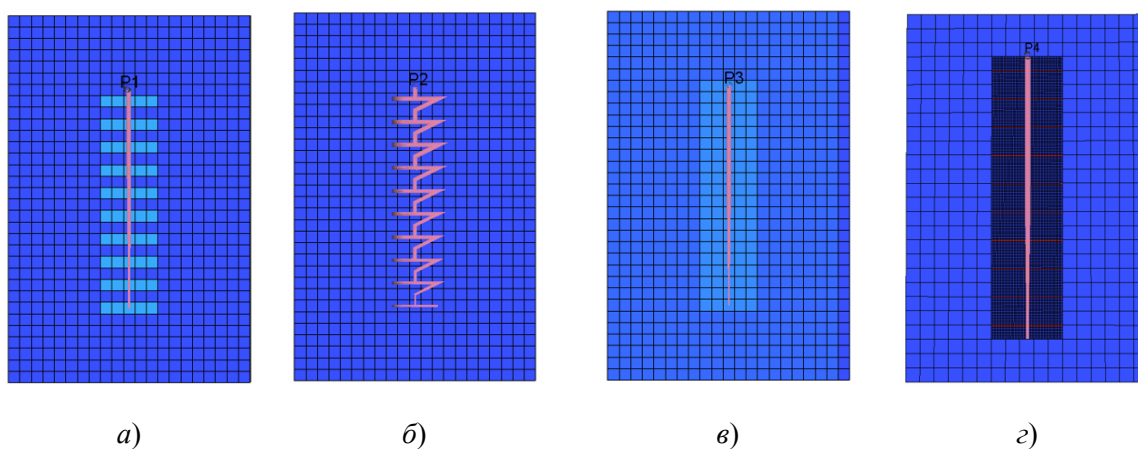


Рис. 1. Визуальное представление скважин на тестовой модели-кубе при различных вариантах задания трещин:

- а* – изменение проницаемости ячеек; *б* – задание дополнительных соединений;
в – изменение проводимости ячеек и соединений;
г – локальное измельчение сетки

Для прямого задания геометрии и свойств трещин предлагается использовать функционал ПО «tNavigator» и задавать параметры трещин с помощью ключевых слов. Логика построения трещин реализуется с помощью создания виртуальных перфораций, в которой индекс продуктивности пересчитывается, исходя из суммы проводимости матрицы и трещины с учетом ее геометрии. Для сравнения эффективности методов были рассчитаны три варианта: стандартный расчет согласно параметрам дизайна ГПП (WFRACP), расчет с учетом объема закачанного проппанта, вариант с представлением трещины в виде полый трубки с бесконечной проводимостью (WFRAC).

В предыдущих расчетах для имитации процесса ГПП моделировалась одна эквивалентная трещина малой ширины с высокой проницаемостью. Фактически, в результате разрыва горной породы образуется дерево трещин с определенным охватом по ширине [3]. Для скважин, стимулированных ГПП, выделяют две зоны образования трещин: зона трещины (FZ) – основная трещина, образованная непосредственно агентом ГПП (жидкость разрыва и проппант) и зона вторичной трещиноватости (NFZ) – зона, подвергшаяся пластическим деформациям вокруг зоны трещины из-за изменения напряжений в породе (рис. 2, *а*).

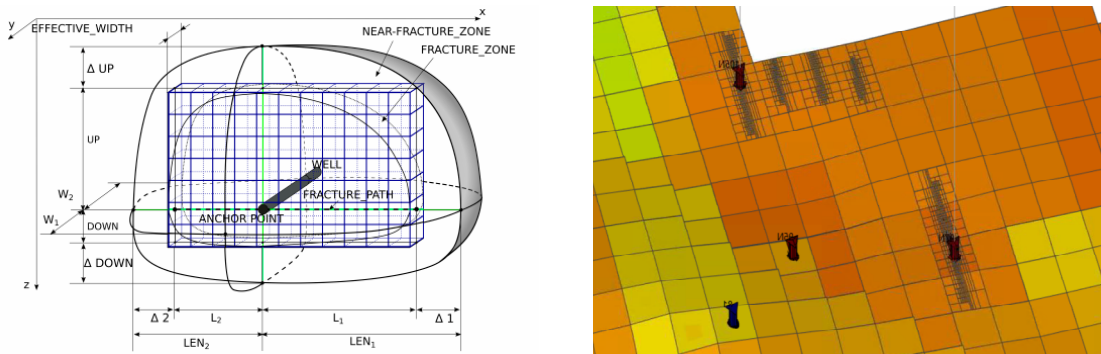


Рис. 2. Представление трещин гидроразрыва пласта при использовании для расчета дизайнера моделей:
 а – схематичное представление трещины гидроразрыва пласта и стимулированной зоны вокруг нее; б – локальное измельчение сетки (LGR) при активации трещин

Функционал дизайнера моделей позволяет непосредственно определять геометрию дерева трещин и свойств трещин ГРП, в том числе размер и свойства стимулированной зоны. В качестве логики построения используется равномерное либо неструктурированное измельчение сетки (рис. 2, б). Для дизайнера моделей было рассчитано три варианта: стандартный расчет согласно параметрам дизайна ГРП, расчет с учетом стимулированной зоны (15 м) и арифметики, расчет при равномерном измельчении сетки с размером блока 5 м (uniform grid). Сравнение расчетов эффективности проведения ГРП при задании трещин различными методами с фактическими данными представлено в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Сводная таблица задания трещин гидроразрыва пласта различными методами для скважины 97n Барсуковская

Симулятор расчета	Фактические данные	Eclipse 100				tNavigator			Дизайнер моделей		
		PERM	Дополнительное соединение	TRAN	LGR	WFR ACP	+пропант	WFRAC	LGR базовый	С арифметикой	Uniform grid
Дебит нефти после ГРП, т/сут	12,75	10,56	12,68	13,93	16,77	12,09	12,90	13,02	14,74	19,05	16,79
Погрешность, %	–	–17,18	–0,55	9,25	31,53	–5,15	1,18	2,08	15,58	49,44	31,65
Дебит нефти на 01.2022 г., т/сут	8,09	6,62	8,08	8,68	9,99	6,87	7,37	7,34	6,62	7,78	5,46
Добыча нефти (на 01.2025 г.) после ГРП, тыс. т.	11,36	10,84	12,66	14,04	13,60	10,70	11,35	11,38	9,01	9,89	7,71

Симулятор расчета		Eclipse 100				tNavigator			Дизайнер моделей		
Метод расчета	Фактические данные	PERM	Дополнительное соединение	TRAN	LGR	WFR ACP	+пропант	WFRAC	LGR базовый	С арифметикой	Uniform grid
Погрешность, %	–	–4,53	11,49	23,61	19,76	–5,82	–0,07	0,22	–20,69	–12,93	–32,11
Время расчета, с	663	708	1327	692	1968	923	926	889	3628	4224	1762

Таблица 2

Сводная таблица задания трещин гидроразрыва пласта различными методами для скважины 105n Барсуковская

Симулятор расчета		Eclipse 100				tNavigator			Дизайнер моделей		
Метод расчета	Фактические данные	PERM	Дополнительное соединение	TRAN	LGR	WFR ACP	+пропант	WFRAC	LGR базовый	С арифметикой	Uniform grid
Дебит нефти после ГРП, т/сут	8,83	6,44	7,98	7,05	10,70	8,45	8,51	7,32	8,73	10,49	11,18
Погрешность, %	–	–27,02	–9,65	–20,15	21,16	–4,26	–3,61	–17,11	–1,12	18,75	26,60
Дебит нефти на 01.2022 г., т/сут	9,34	8,83	11,17	9,83	12,62	11,11	11,19	9,71	10,74	14,20	13,30
Добыча нефти на 01.2025 г. после ГРП, тыс. т.	9,65	8,58	10,13	9,19	11,12	11,12	11,11	9,89	9,03	12,28	11,03
Погрешность, %	–	–11,06	5,04	–4,74	15,24	15,29	15,21	2,52	–6,36	27,31	14,36

Исходя из табл. 1 и 2, для классических методов задания трещин наибольшая сходимость была получена для вариантов с выгрузкой куба проницаемости и заданием дополнительных соединений. Для вариантов с изменением проводимости и LGR продуктивности скважины при вводе в добычу полученные результаты были несколько завышены, что требует дополнительной корректировки продуктивности скважины через изменение скин-фактора и (или) направления вскрытия соединений скважины.

Результаты расчетов tNavigator сильно зависят от направления раскрытия трещины и охваченного сеткой трещин объема пласта. Так, в варианте с виртуальными перфорациями для скважины 97n относительная сходимость результатов была получена для всех рассчитанных вариантов. В случае скважины 105n результаты получились несколько выше из-за более разветвленной компоновки трещин (рис. 2, б).

Для дизайнера моделей были получены высокие входные показатели дебита нефти с быстрым затуханием, что требует дополнительной корректировки проницаемости трещины в меньшую сторону и наращивания стимулируемого объема породы для выхода на фактические значения.

Среди исследованных методов наиболее точными оказались упрощенные методы задания ГРП ввиду сокращения неопределенностей из-за уменьшения количества входных параметров, при этом возможна корректировка задаваемых параметров для выхода на фактические показатели работы. Методы с использованием логики локального измельчения сетки позволяют получить наибольший отклик при вводе скважины после проведения ГТМ и воспроизвести эффект затухания, что дает возможность воспроизвести быстрое падение дебита при проведении ГРП на месторождениях с ТриЗ, однако это сильно замедляет итоговое время расчета.

Поэтому для задания ГРП при настройке ГДМ на фактические показатели рекомендуется использовать упрощенные методы задания трещин, такие как множитель проводимости в симуляторе Eclipse 100 или ключевые слова WFRACP, WFRAC в tNavigator, не требующие повторного запуска полного расчета ГДМ. В прогнозных расчетах эффективности ввода новых скважин (освоение с ГРП) или ГТМ возможно использование дизайнера моделей для возможности наиболее детального задания параметров трещон.

Л и т е р а т у р а

1. Лысенко, В. Д. Определение эффективности гидравлического разрыва нефтяного пласта / В. Д. Лысенко // Нефтяное хоз-во. – 1999. – № 11. – С. 12–17.
2. Тиаб, Д. Петрофизика. Теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов / Д. Тиаб, Э. Ч. Доналдсон. – Изд. 2-е, доп. – М. : Премиум Инжиниринг, 2009. – 864 с.
3. An analysis for the influences of fracture network system on multi-stage fractured horizontal well productivity in shale gas reservoirs / D. Zhang [et al.] // Energies. – 2018. – N 11. – P. 237–256. DOI: 10.3390/en11020414

УДК 550.3:001.5

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НАЗЕМНОГО МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

А. П. Марковский, А. С. Конюшенко, В. Н. Грабченков, Т. А. Климов

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Посвящен актуальной теме наземного микросейсмического мониторинга ГРП для оценки результативности получения объективных данных о характере формируемых трещин разрыва. Отражен круг проблем становления технологии МСМ в условиях Припятского прогиба. Проанализированы технологические подходы применения различного типа оборудования для повышения соотношения SNR (signal-to-noise ratio).

Ключевые слова: микросейсмический мониторинг, гидроразрыв пласта, система наблюдения, калибровочное воздействие.

EXPERIENCE OF USING SURFACE MICROSEISMIC MONITORING OF HYDRAULIC FRACTURING IN THE FIELDS OF THE PRIPYAT TROUGH

A. P. Markovsky, A. S. Koniushenko, V. N. Grabchenkov, T. A. Klimov
BelNIPIneft RUE "Production Association "Belorusneft", Gomel

The report relates to a relevant topic – surface microseismic monitoring of hydraulic fracturing to assess the effectiveness for obtaining objective data about induced fractures. The article reflects the number of issues of the formation MSM technologies in the conditions of the Pripyat Trough. Technological approaches were analyzed to the use of different type of equipment and explosive charges for calibration system of location and solve the problem of SNR (signal-to-noise ratio).

Keywords: microseismic monitoring, hydraulic fracturing, survey system, calibration impact.

В настоящее время в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» основная часть месторождений находится на четвертой завершающей стадии разработки.

Для поддержания уровня добычи одним из наиболее часто применяемых и эффективных методов интенсификации притока является создание обширной сети искусственных трещин в пласте и активация фильтрации в естественных трещинах с помощью гидроразрыва пласта (ГРП).

Прогнозирование результатов ГРП (размеры и направление развития трещин в стимулированном объеме) с достаточной точностью – чрезвычайно сложная задача.

Существует множество геофизических и других методов, позволяющих получать информацию о процессах в пласте, в том числе с помощью применения микросейсмического мониторинга (МСМ) ГРП.

Существует два вида МСМ: наземный и скважинный. К недостаткам скважинного метода относятся необходимость наличия наблюдательных скважин вблизи зоны производства ГРП или остановки соседних добывающих скважин для использования их в качестве наблюдательных, что приводит к существенным экономическим потерям. Существуют и методические ограничения в точности картирования горизонтальной протяженности трещин данным методом.

Метод наземного микросейсмического мониторинга более прост в реализации, но обладает ограничениями в точности определения положения событий по глубине. Исследования с поверхности позволяют оперативно разворачивать систему наблюдения, добиваться хорошей локализации микросейсмических событий по латерали. Одним из обязательных условий проведения МСМ является необходимость «калибровки» системы регистрации от импульса источника сейсмических колебаний (сигнала от перфорации, взрыва, сейсмического вибратора, торпедирования скважины), находящегося в интервале проведения ГРП для учета скоростных неоднородностей среды и верхней части разреза.

С целью повысить чувствительность системы наблюдения, снизить шумовую составляющую и выбрать оптимальный вес для проведения калибровочного воздействия были проведены опытные работы на скважинах 44s2-Барсуковской и 80k1-Мармовичской.

Для подавления некогерентной составляющей и усиления полезного сигнала в системе наблюдения на скважине 44s2-Барсуковской в нескольких местах датчики DSU-3 были установлены в группы из девяти приборов на площадке размером 3 × 3 м. В результате удалось повысить соотношение «сигнал/шум» примерно в 3 раза даже при

регистрации шумов вблизи техногенных источников шума, предварительно отфильтровав их фильтром квазигармонических помех.

При проведении опытных работ на скважине 80k1-Мармовичской были поставлены следующие задачи:

- подбор оптимального типа и веса заряда для проведения калибровочного воздействия в скважине;
- увеличение соотношения «сигнал/шум» путем заглубления датчиков и установки приборов в группу.

Результаты опытных работ показали, что наиболее эффективным типом заряда для проведения калибровочных воздействий являются торпеды шашечного типа (ТШТ) с массой взрывчатого вещества от 1,5 кг и выше. Торпеды детонирующего шнура (ТДШ) или перфорации рекомендуются к применению при невозможности использования ТШТ, например, в случаях, когда внешний источник сейсмического сигнала располагается в обсаженном стволе скважины.

Наиболее распространенной технологией восстановления местоположения очагов сейсмических сигналов при ГРП является метод дифракционного суммирования и технология обратного временного моделирования (Time Reverse Modelling) [2, 3]. Но после анализа существующих технологий был выбран метод, основанный на полноволновом численном моделировании и принципе максимума правдоподобия, который успешно зарекомендовал себя на объектах Припятского прогиба, так как он качественно отличается от остальных, но требует значительных вычислительных мощностей. Полноволновое численное моделирование позволяет рассчитать форму волны, пришедшей на сенсор в условиях геологии любой сложности, учитывая все возможные волны, образовавшиеся при прохождении сейсмического импульса от источника к приемнику, правильно учесть его геометрическое расхождение с учетом реальной траектории распространения в неоднородном пространстве [4].

Выполненный в 2018–2020 гг. микросейсмический мониторинг ГРП в скважинах Речицкого месторождения позволил получить дополнительную информацию о направлении главного максимального стресса. На основании данных о тектонике подсолевого комплекса Речицкого месторождения за среднее значение направления максимального латерального стресса принято 113° (293°) [5]. Таким образом, подтверждается направленность главного максимального стресса в пределах Речицкого месторождения параллельно региональному разлому. Но, как видно на рис. 1, не во всех скважинах направление техногенной трещиноватости подчиняется этому правилу. Скорее всего, это связано с перераспределением напряжений в пласте при ГРП, или изначальной структурной анизотропией среды, возникшей в результате вторичных процессов формирования горных пород.

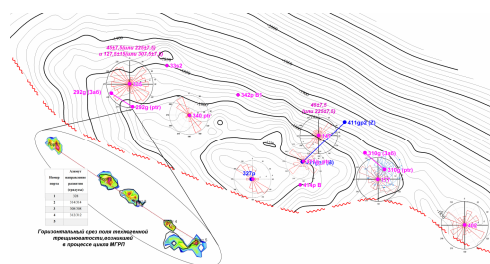


Рис. 1. Результаты микросейсмического мониторинга в скважинах Речицкого месторождения за период 2013–2020 гг.

По результатам мониторинга пятого портового ГРП в скважине 292g Речицкого месторождения азимут направления развития трещин совпал с азимутом горизонтального участка скважины, что означает соосность созданных каналов фильтрации и ствола скважины, т. е. развитие трещины ГРП по стволу скважины и практически параллельно региональному стрессу месторождения. Данный факт мог являться одной из причин полученных низких дебитов по скважине, так как после проведения комплекса освоения скважина вступила в добычу с гораздо более низким дебитом, а через 3 месяца дебит продукции снизился еще больше [6].

Направление техногенной трещиноватости может совпадать с направлением естественной, так как закачиваемый в процессе ГРП гель, в первую очередь, заполняет существующие каналы и с последующим ростом давления и объемов закачки образуются новые трещины. Данный факт косвенно подтверждается сопоставлением векторной карты НТИ-анизотропии Савичского месторождения, полученной по результатам обработки сейсмических данных месторождения в EarthStudy 360 (ES360), и картой накопленной микросейсмической активности ГРП в скважине 10s2-Савичской (рис. 2).

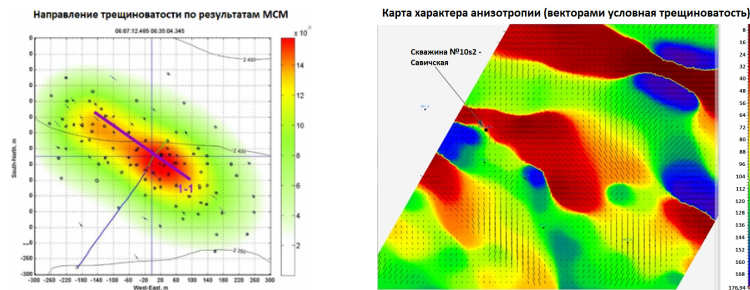


Рис. 2. Сравнение результатов микросейсмического мониторинга гидроразрыва пласта в скважине 10s2-Савичская и карты естественной трещиноватости Савичского месторождения

Другими способами контроля развития трещин являются скважинные методы. Так, в скважине 402n-Речицкой оценка состояния ствола скважины была выполнена с помощью акустического сканера и многоосного каверномера. На основании этих данных было рассчитано направление главного максимального стресса, которое составило 124° , а направление трещины ГРП в данных интервалах на основании интерпретации микросейсмического мониторинга составило 127° [5].

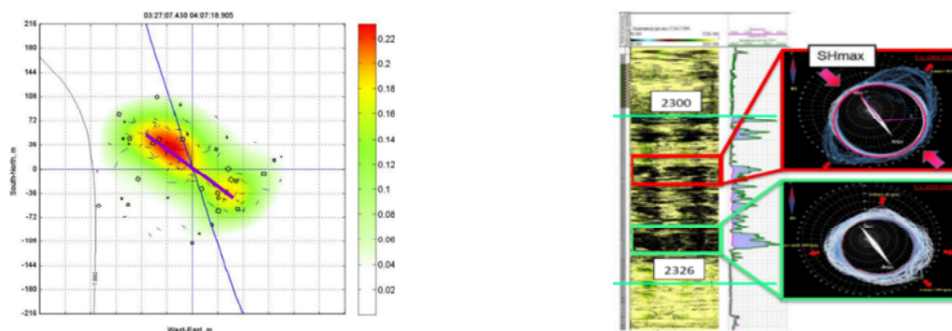


Рис. 3. Сопоставление результатов оценки состояния ствола скважины с помощью акустических методов и данных по накопленной микросейсмической активности при гидроразрыве пласта в скважине 402n Речицкого месторождения

Таким образом, можно сделать выводы, что при увеличении доли вовлеченных в разработку нетрадиционных и трудноизвлекаемых запасов ключевую роль приобретает ГРП, который представляет собой сложный, дорогостоящий и высокорисковый процесс. Поэтому для оптимальной разработки месторождений необходимо знать информацию о размерах и направлении развития трещин. Наземный микросейсмический мониторинг, основанный на полноволновом численном моделировании и методе максимального правдоподобия, при корректных технологических подходах позволяет решать эти задачи. Проведенные опытно-промысловые работы позволили оптимизировать проведение полевых работ и выделить ключевые технологические показатели, влияющие на конечный результат. Приведенные примеры комплексирования МСМ другими методами позволяют судить о его результативности и целесообразности применения в сложных сейсмогеологических условиях Припятского прогиба.

Литература

1. Сейсмическая локация очагов эмиссии – новая технология мониторинга добычи УВ / О. Л. Кузнецов [и др.] // EAGE : тез. докл. Междунар. конф., Санкт-Петербург, 16–19 окт., 2006 г. / EAGO, SEG. – Спб., 2006.
2. Steiner, B. Time reverse modeling of low- frequency microtremors: A potential method for hydrocarbon reservoir localization / B. Steiner, E. H. Saenger, S. M. Schmalholz // Geophys. Res. Lett. – 2008. – Vol. 35. – P. L03307.
3. Мокшин, Е. В. Сопоставление метода «TIME REVERSE MODELING» и метода дифракционного суммирования / Е. В. Мокшин, Д. В. Бережной, Е. В. Биряльцев // Экспозиция Нефть Газ. – 2012. – № 2. – С. 26–28.
4. Биряльцев, Е. В. Определение преимущественного направления трещиноватости на основе полноволнового численного моделирования распространении волн и метода максимального правдоподобия / Е. В. Биряльцев, В. А. Рыжов, М. Р. Камиллов // Экспозиция Нефть Газ. – 2014. – № 6. – С. 22–25.
5. Построение модели механических свойств, давлений и напряжений по скважинам Речицкого месторождения в интервалах I–III пачки : информац. отчет 48.2019 / БелНИПИнефть. – 2019. – 165 с.
6. 2020. Practical Experience of Unconventional's Multistage Fracturing in Belarus / K. V. Mironenko [et al.] // SPE. – 2020. – P. 202059.

УДК 550.4.08

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИМЕСНЫХ КОМПОНЕНТОВ В КВАРЦЕВОМ ПЕСКЕ ДЛЯ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ

Ф. В. Дегтярёв, Д. А. Шенец

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

При проведении операции гидравлического разрыва пласта используется расклинивающий агент – керамический проппант или кварцевый песок. Последний отличается более низкой стоимостью, что позволяет достичь снижения стоимости операции по гидроразрыву пласта при полном сохранении эффективности. При этом возникает необходимость в исследовании кварцевого песка на наличие примесных компонентов. Для этих целей хорошо подходит метод рентгеновской дифракции, так как он позволяет работать с любым объемом образца, не требует длительной пробоподготовки и позволяет получить исчерпывающую информацию о фазовом составе и об особенностях кристаллического строения

веществ. Определен минеральный состав пяти проб кварцевого песка для ГПП. Пробы разделены на группы по концентрации и компонентному составу примесей.

Ключевые слова: рентгеновская дифракция, кварцевый песок, гидроразрыв пласта, минеральный состав.

DETERMINATION OF IMPURITY COMPONENTS IN QUARTZ SAND FOR HYDRAULIC FRACTURING BY X-RAY DIFFRACTION

F. V. Degtyarev, D. A. Shenets

BelNIPIneft RUE "Production Association "Belorusneft", Gomel

During the hydraulic fracturing operation, a propping agent is used – ceramic proppant or quartz sand. The latter is characterized by a lower cost, which makes it possible to achieve a reduction in the cost of hydraulic fracturing operations while maintaining full efficiency. At the same time, there is a need to study quartz sand for the presence of impurity components. For these purposes, the X-ray diffraction method is well suited because it allows you to work with any volume of the sample, does not require long sample preparation and allows you to get comprehensive information about the phase composition and about the features of the crystalline structure of substances. In this work, the mineral composition of five samples of quartz sand for hydraulic fracturing was determined. The samples are divided into groups according to the concentration and component composition of impurities.

Keywords: x-ray diffraction, quartz sand, hydraulic fracturing, mineral composition.

Важной частью процесса разработки нефтяного месторождения является гидравлический разрыв пласта (ГПП), в процессе которого может использоваться кварцевый песок в качестве расклинивающего агента, как аналог керамического проппанта. Применение кварцевого песка с минимальным количеством примесей позволяет достичь снижения стоимости операции по гидроразрыву пласта при полном сохранении эффективности.

Метод рентгеновской дифракции позволяет довольно точно определять минеральный состав исследуемых образцов и, таким образом, осуществлять контроль качества используемого сырья. Рентгеновская дифракция порошковых образцов обладает рядом несомненных преимуществ по сравнению с другими методами анализа:

– одинаковая эффективность работы как с массивными образцами, так и с микропробами;

– получение информации не только о фазовом составе, но и об особенностях кристаллического строения веществ, внутренних напряжениях и преимущественной ориентировке кристаллитов вещества в объеме исследуемого препарата;

– отсутствие сложной и дорогостоящей пробоподготовки.

Универсальность, высокая достоверность и уникальность получаемых данных делают метод рентгеновской дифракции одним из наиболее востребованных в науке и производстве.

В основе метода лежит явление дифракции рентгеновских лучей на трехмерной кристаллической решетке соединений, которое подчиняется закону Брэгга–Вульфа [1].

Вид дифракционной картины монокомпонентного соединения зависит от параметров элементарной ячейки – положения дифракционных максимумов (рефлексов) – и распределения атомов в ячейке – интенсивности рефлексов, следовательно, каждое соединение обладает уникальной дифрактограммой. При регистрации дифракционной картины поликомпонентных образцов результат представляет собой наложение дифрактограмм монокомпонентных соединений, причем положение рефлексов, от-

носящихся к отдельным фазам, не меняется, а относительная интенсивность рефлексов зависит от количественного содержания данного компонента в смеси.

Метод рентгеновской дифракции позволяет решать задачи не только контроля качества материалов. В нефтяной отрасли данный метод анализа применим для определения качественного и количественного фазового состава как образцов горных пород, так и техногенных продуктов, связанных с бурением скважин и разработкой углеводородов, – бурового шлама, химических реагентов, различных осадков, поллютантов и др.

Исследование образцов методом рентгеновской дифракции проводится на рентгеновском дифрактометре Smartlab SE, производства японской компании «Rigaku». Угловой диапазон съемки по 2 θ составляет от 3 до 55°, шаг сканирования – 0,01°. Исследуемый образец представляет собой порошок с размером частиц менее 0,1 мм, полученный измельчением на планетарной мельнице «Fritsch Pulverisette» 5/4 с размольной гарнитурой из закаленной нержавеющей стали.

Перед анализом порошок помещается в алюминиевую круглую кювету, поверхность образца тщательно выравнивается с целью улучшения качества получаемой дифрактограммы. В процессе записи образец вращается со скоростью 30 об/минуту, это необходимо для равномерного облучения образца, увеличения площади анализа и получения более статистически достоверных данных.

Интерпретация полученных данных основывается на поиске и определении положения всех рефлексов и соответствующих им величин межплоскостных расстояний d согласно закону Брэгга–Вульфа. Далее при помощи программного комплекса «SmartLab Studio» II производится идентификация фаз по обнаруженным рефлексам.

Фазовый анализ проводится путем сравнения положения пиков и их интенсивностей с положением пиков и интенсивностей эталонных образцов, содержащихся в международных базах дифракционных стандартов ICDD PDF-2 Release 2021 и COD. Количественное определение фаз в образцах и уточнение параметров элементарной ячейки вещества проводится по методу Ритвельда (полнопрофильного анализа) путем моделирования теоретической дифрактограммы, ее сравнения с экспериментальной дифрактограммой и дальнейшего уточнения параметров элементарной ячейки в целях лучшей сходимости.

При использовании количественного рентгенофазового анализа по методу Ритвельда содержание кристаллических фаз всегда нормировано на 100 %.

В рамках данной работы проанализированы 5 проб кварцевого песка для ГРП от различных производителей. Результаты анализа представлены в таблице. Исходя из полученных данных, можно сделать выводы, что кроме основной фазы – кварца, в образцах в различных концентрациях присутствуют примеси других минералов. Наличие примесей минералов и их концентрация в исследуемых образцах свидетельствуют о степени чистоты данных образцов.

Результаты определения минерального состава проб кварцевого песка методом рентгеновской дифракции

Номер пробы	Минеральный состав, %							
	Кварц	Калиевые полевые шпаты	Плагиоклазы	Пироксены	Амфиболы	Слюды	Доломит	Кальцит
1	90,3	4,3	4,0	–	–	1,4	–	–
2	96,7	2,6	–	0,7	–	–	–	–

Номер пробы	Минеральный состав, %							
	Кварц	Калиевые полевые шпаты	Плагиоклазы	Пироксены	Амфиболы	Слюды	Доломит	Кальцит
3	100,0	—	—	—	—	—	—	—
4	92,3	—	7,6	—	—	—	—	0,1
5	74,7	24,5	—	—	0,5	—	0,3	—

На рис. 1 представлены участки дифрактограмм порошковых проб кварцевого песка в диапазоне углов по 2θ от 21 до 44°, где расположены наиболее интенсивные рефлексы кварца и примесных минералов.

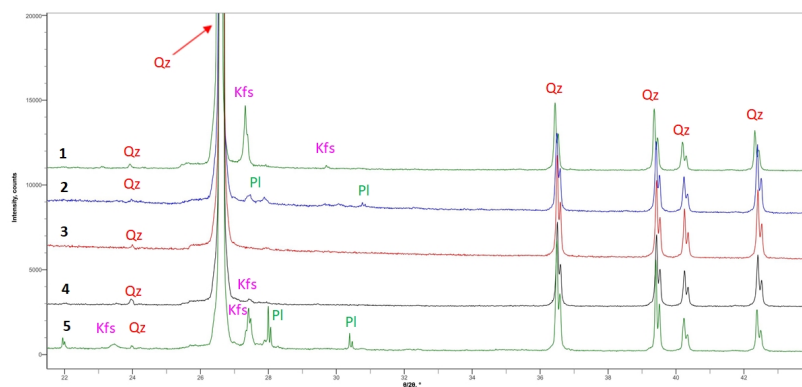


Рис. 1. Участок дифрактограммы порошковых проб кварцевого песка в диапазоне углов по 2θ от 21 до 44°:

Kfs – калиевый полевой шпат (КПШ); Pl – плагиоклаз; Qz – кварц [2]

При выборе кварцевого песка для ГРП важна чистота сырья, поэтому согласно полученным данным исследуемые пробы разделены на три группы по содержанию примесей:

1. Содержание примесей более 10 % (проба 5). Данная группа характеризуется относительно низким содержанием кварца и высоким содержанием примесей.

2. Содержание примесей от 2 до 10 % (пробы 1, 2, 4). Данная группа характеризуется средним количеством примесей различного состава.

3. Содержание примесей от 0 до 2 % (проба 3). К данной группе относятся наиболее «чистые» образцы кварцевого песка, содержащие наименьшее количество примесей или не содержащие их вовсе.

Также исследуемые пробы разделены на четыре группы по минеральному составу примесей (учитывалось содержание примесного минерала более 1 %):

1. Примесь калиевых полевых шпатов (пробы 2, 5).

2. Примесь плагиоклазов (проба 4).

3. Смешанные примеси (проба 1).

4. Примеси отсутствуют (проба 3).

Таким образом, при помощи метода рентгеновской дифракции определен минеральный состав пяти проб, предложено разделение исследованных проб кварцевого песка на группы по содержанию и компонентному составу примесей.

Литература

1. Ковба, Л. М. Рентгенофазовый анализ / Л. М. Ковба, В. К. Трунов. – М. : МГУ, 1976. – 232 с.
2. Whitney, D. L. Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals / D. L. Whitney, B. W. Evans // American Mineralogist. – 2010. – Vol. 95. – P. 185–187.

УДК 620.22

**К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ
НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ В УСЛОВИЯХ
НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН РУП «ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ «БЕЛОРУСНЕФТЬ»**

Ю. И. Попкова, П. А. Петрикевич

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Рассмотрена проблема коррозии насосно-компрессорных труб в условиях нагнетательных скважин Речицкого нефтяного месторождения РУП «Производственное объединение «Белоруснефть». В настоящее время защита от коррозии подземного оборудования скважин является достаточно актуальной задачей. Преждевременные подъемы по причине коррозии НКТ приводят к увеличению себестоимости нефти. Одной из перспективных технологий антикоррозионной защиты является применение низколегированных сталей. Приведены результаты стендовых испытаний трубных сталей НКТ, показавших технологическую эффективность в сравнении с промышленно применяемой трубной сталью 32Г1А группы прочности N80 (Q) API Spec 5CT, в условиях, моделирующих скважинные, – трубная сталь 30Х группы прочности L80 (1) API Spec 5CT, 32ХГ группы прочности P110 API Spec 5CT, а также результаты их промысловых испытаний.

Ключевые слова: коррозия, НКТ, трубная сталь, низколегированная сталь, скважина.

**APPLICATION OF LOW-ALLOYED TUBE STEEL
IN THE INJECTION WELLS CONDITIONS OF PRODUCTION
ASSOCIATION BELORUSNEFT**

U. Popkova, P. Petrikevich

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

The paper describes the problem of tubing corrosion in the injection wells conditions of Rchitskoe oil field of Production Association «Belorusneft». Nowadays corrosion protection of well equipment is quite an urgent issue. Premature well equipment lifting due to tubing corrosion leads to an increase of oil production cost. One of the promising corrosion protection technologies is the use of low-alloyed steels. The paper presents the results of bench tests of tubing steel which showed technological efficiency in comparison with commercially used tubing steel grade 32Mn1N N80 (Q) API Spec 5CT in conditions simulating downhole – grade 30Cr L80 (1) API Spec 5CT, grade 32MnCr P110 API Spec 5CT and the results of their field tests.

Keywords: corrosion, tubing, tube steel, low-alloyed steel, well.

Для поддержания пластового давления на месторождениях Беларуси применяется технология закачки воды в пласт через нагнетательные скважины. По классификации В. А. Сулина, нагнетаемая вода относится к хлоридно-кальциевому типу [1]. По минерализации относится к рассолам крепким [2]. По значению водородного показателя вода относится к слабокислым [2]. Попутно добываемая вода содержит растворенный углекислый газ CO_2 и гидрокарбонат HCO_3^- . Сероводород в продукции

отсутствует. Коррозионное разрушение промышленно применяемой трубной стали насосно-компрессорных труб (НКТ) 32Г1А группы прочности №80 (Q) API Spec 5CT в таких условиях обусловлено электрохимической жидкостной коррозией в результате ее контакта с агрессивной попутно добываемой водой, содержащей ионы растворенных солей и растворенный углекислый газ.

Одной из перспективных технологий антикоррозионной защиты является применение низколегированных хромом трубных сталей. Согласно литературным данным трубные стали, легированные хромом, в определенных условиях могут показывать повышенную коррозионную стойкость, предотвращая локальную коррозию, и не отличаться от среднеуглеродистой, легированной марганцем, – в других [3–6].

Цель работы – подбор трубных сталей НКТ, легированных хромом, для условий нагнетательных скважин Речицкого нефтяного месторождения на основании результатов стендовых испытаний с последующим подтверждением технологической эффективности применения выбранных НКТ в промысловых условиях.

Методика проведения испытаний. Из патрубков трубных сталей, предоставленных производителями, изготавливались образцы-свидетели коррозии (ОСК). Стендовые испытания проводились на установке «АА-КОНКОР», воспроизводящей скважинные условия и представляющей собой замкнутый циркуляционный контур с вертикальной ячейкой для установки образцов-свидетелей коррозии (ОСК). Все испытания проводились согласно разработанной методике в непрерывном режиме при поддержании постоянного давления, температуры, скорости потока [7]. Рабочие параметры среды соответствовали скважинным условиям, в которых были выявлены сквозные коррозионные повреждения НКТ: температура – +40 °С, давление – 15 МПа, скорость потока – 0,5 м/с. Продолжительность испытаний была принята 72 ч, по окончании экспериментов определялась скорость сплошной коррозии ОСК в мм/год [7]. После испытаний ОСК передавались в ГНУ «Институт порошковой металлургии имени О. В. Романа» НАН Республики Беларусь для проверки элементного состава, металлургических характеристик, выявления локальных коррозионных повреждений. При осмотре морфологии поверхности, увеличенной в 100 раз, в случае выявления коррозионных повреждений определялась их глубина, на основании которой рассчитывался показатель скорости локальной коррозии, мм/год.

В дальнейшем НКТ из каждого вида трубной стали поочередно эксплуатировались в одной и той же скважине-объекте испытаний в течение определенного периода, по окончании которого проводился подъем и ревизия НКТ. Для определения толщины стенки и выявления локальных повреждений НКТ проходили проверку на установке неразрушающего контроля. Для детальной оценки состояния внутренней поверхности НКТ отрезались образцы и распиливались вдоль направляющей.

Результаты. После стендовых испытаний трубной стали 32Г1А N80 (Q) API Spec 5CT при визуальном осмотре поверхности ОСК выявлены локальные коррозионные повреждения в виде питтингов и язв, переходящие в «плато», степень поражения поверхности – до 90 %. Средний показатель скорости сплошной коррозии трубной стали составил 1,25 мм/год. При осмотре морфологии поверхности, увеличенной в 100 раз, выявлены локальные коррозионные повреждения глубиной до 0,03 мм. Расчетный показатель скорости локальной коррозии составил 3,7 мм/год. Локальный язвенный характер повреждения базовой среднеуглеродистой стали обусловлен низким содержанием хрома (0,05 %) и легированием марганцем. Марганец, обладая более высокой активностью чем железо при реагировании с коррозионной средой, образует рыхлые (по структуре кристаллической решетки) продукты коррозии (оксиды и сульфида марганца), которые делают доступным проникновение к основному ме-

таллу агрессивных коррозионных компонентов [8]. Полученные данные коррелируются с промышленными, в условиях которых скорость локальной коррозии может достигать 4 мм/год. Характер повреждения НКТ 32Г1А N80 (Q) API Spec 5CT после эксплуатации в условиях нагнетательной скважины Речицкого месторождения представлен на рис. 1.



Рис. 1. Состояние насосно-компрессорных труб 32Г1А N80 (Q) API Spec 5CT при эксплуатации в условиях нагнетательной скважины Речицкого месторождения

После стендовых испытаний трубной стали 32ХГ Р110 API Spec 5CT при визуальном осмотре поверхности ОСК выявлена общая коррозия, степень поражения – до 90 %. Скорость коррозии трубной стали 32ХГ Р110 API Spec 5 CT составила 1,29 мм/год. При осмотре морфологии поверхности, увеличенной в 100 раз, локальные коррозионные повреждения не выявлены. Повышенная коррозионная стойкость против локальной коррозии данной стали в сравнении с промышленно применяемой обусловлена повышенным содержанием хрома в составе. Необходимо отметить высокую скорость общей коррозии (на уровне базовой стали) при отсутствии локальных повреждений, что обусловлено дополнительным легированием трубной стали марганцем. В настоящее время в условиях нагнетательных скважин Речицкого месторождения проводятся промышленные испытания, на одном из объектов проведен подъем подземного оборудования при наработке, превышающей в 2 раза аналогичный показатель, при котором была выявлена сквозная коррозия НКТ. По результатам проведенной ревизии установлена сходимость промышленных и фактических данных: локальные коррозионные повреждения не выявлены, имеет место неравномерная сплошная коррозия внутренней поверхности. Состояние НКТ после эксплуатации в условиях нагнетательной скважины Речицкого месторождения представлено на рис. 2.



Рис. 2. Состояние насосно-компрессорных труб 32ХГ Р110 API Spec 5CT API Spec 5CT при эксплуатации в условиях нагнетательной скважины Речицкого месторождения

После стендовых испытаний трубной стали 30X L80 (1) API Spec 5CT при визуальном осмотре поверхности ОСК выявлена сплошная коррозия, степень поражения поверхности – до 10 %. Средний показатель скорости сплошной коррозии составил 0,14 мм/год. При осмотре морфологии поверхности, увеличенной в 100 раз, локальные коррозионные повреждения не выявлены. Как и указывалось ранее, повышенная коррозионная стойкость против локальной коррозии данной стали в сравнении с промышленно применяемой обусловлена повышенным содержанием хрома в составе. В настоящее время в условиях нагнетательных скважин Речицкого месторождения проводятся промысловые испытания. Подъем подземного оборудования не проводился, однако текущая наработка на скважинах-объектах ОПИ превысила в 1,9 раз аналогичный показатель, при котором была выявлена сквозная коррозия НКТ.

На основании проведенной работы установлены следующие закономерности для условий нагнетания воды хлоридно-кальциевого типа, слабокислой, представляющей собой крепкие рассолы при температуре +40 °С, давлении – 15 МПа, скорости потока – 0,5 м/с:

– трубная сталь 32Г1А N80 (Q) API Spec 5CT подвержена локальным коррозионным повреждениям, скорость развития которых может достигать 4,0 мм/год;

– трубная сталь 30X L80 (1) API Spec 5CT подвержена сплошной коррозии при отсутствии локальных коррозионных повреждений, причем скорость сплошной коррозии в 9 раз меньше, чем у стали 32Г1А N80 (Q) API Spec 5CT;

– трубная сталь 32ХГ P110 API Spec 5CT подвержена сплошной коррозии на уровне стали 32Г1А N80 (Q) API Spec 5CT при отсутствии локальных коррозионных повреждений;

– применение трубных сталей 30X L80 (1) API Spec 5CT и 32ХГ P110 API Spec 5CT не требует дополнительных антикоррозионных мероприятий, применение 30X L80 (1) API Spec 5CT предпочтительнее;

– получена высокая сходимость результатов стендовых испытаний с промышленными.

Литература

1. Карцев, А. А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений / А. А. Карцев. – М. : Недра, 1972. – 280 с.
2. ОСТ 41-05-263–86. Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре. – Введ. 05.12.86. – М. : ВСЕГИНГЕО, 1986. – 9 с.
3. Dugstar, A. Mechanism of protective film formation during CO₂ corrosion of carbon steel / A. Dugstar // Mechanism of CO₂ corrosion. – 2017. – P. 37–47.
4. Костицына, И. В. Исследование коррозионной стойкости материалов насосно-компрессорных и нефтегазопроводных труб на месторождениях ОАО «Лукойл» / И. В. Костицына // Инженер. практика. – 2011. – № 11. – С. 34–37.
5. Effect of chromium on corrosion behavior of P110 steels in CO₂ and H₂S environment with high pressure and high temperature / Sun Jianbo [et al.] // Materials. – 2016. – № 9.
6. Ким, С. К. Результаты ОПИ нефтепроводных труб и НКТ из сталей с повышенной коррозионной стойкостью на месторождениях ООО «Лукойл-Коми» / С. К. Ким // Инженер. практика. – 2011. – № 11. – С. 65–69.
7. Методика проведения испытаний на установке для моделирования и изучения коррозионных процессов в скважинных условиях «АА-Конкор» / БелНИПИнефть. – Гомель, 2021. – 33 с.
8. Иоффе, А. В. Особенности коррозионного разрушения нефтегазопроводных труб в условиях эксплуатации Коми и Западной Сибири / А. В. Иоффе, В. А. Ревякин, С. А. Князькин // Вектор науки ТГУ : сб. науч. ст. / Самар. инженер.-технол. центр. – 2010. – С. 50–54.

УДК 622.276:620.193.197

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ КОРРОЗИОННОЙ
СТОЙКОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ МАРОК ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ
ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМЫ
НЕФТЕГАЗОСБОРА НГДУ «РЕЧИЦАНЕФТЬ»**

В. О. Кученёв

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Проведены исследования коррозионной стойкости новых образцов сталей на стендовой установке, что позволило получить более четкое понимание связи между коррозионными процессами, агрессивностью сред и химическим составом металла труб, на основании которых рекомендованы оптимальные решения для материального исполнения трубопроводов в конкретных промысловых условиях.

Ключевые слова: коррозия, агрессивность среды, трубопровод, металл труб, попутно-добываемая вода.

**ANALYSIS OF THE RESULTS OF TESTING THE CORROSION
RESISTANCE OF INDIVIDUAL GRADES OF PIPE STEEL
FOR THE OPERATION OF PIPELINES OF THE OIL AND GAS
GATHERING SYSTEM OF OIL AND GAS PRODUCTION
DEPARTMENT «RECHITSANEFT»**

V. O. Kuchenev

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

The author conducted a study of the corrosion resistance of new steel samples on a bench installation. The study showed a clearer understanding of the relationship between corrosion processes, environment aggressivity, and the chemical composition of the pipe metal. The results made it possible to recommend the optimal solution for choice of materials for pipelines in specific field conditions.

Keywords: corrosion, environment aggressivity, pipeline, pipe metal, produced water.

Добываемая продукция нефтяных месторождений РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» является коррозионно-агрессивной. Поэтому для решения данной задачи был выбран метод подбора трубопроводов различного материального исполнения. Исследования коррозионной стойкости новых образцов сталей проведены на стендовой установке «АА-КОНКОР» разработки БелНИПИнефть, которая моделирует фактические условия эксплуатации трубопроводов. Данная работа позволит нам получить более четкое понимание связи между коррозионными процессами, агрессивностью сред и химическим составом металла труб, следовательно, рекомендовать оптимальные решения для материального исполнения трубопроводов в конкретных промысловых условиях.

Добываемая продукция нефтяных месторождений РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» имеет различные физико-химические свойства. Попутно-добываемая вода является коррозионно-агрессивной, так как содержат ионы растворенных солей, растворенные агрессивные газы сероводород и углекислый газ, имеет низкие значения рН.

Данные о количестве порывов трубопроводов свидетельствуют о том, что при общем ежегодном количестве порывов на уровне 139–243 ед., основная доля порывов трубопроводов приходится на порывы по причине внутренней коррозии (134–237 ед.), обусловленной агрессивностью перекачиваемых промышленных сред.

Поэтому выбор стали, обеспечивающей требуемую долговечность и надежность трубопроводов в конкретных условиях эксплуатации, является актуальной задачей.

Для стендовых коррозионных исследований были выбраны новые образцы сталей, применяемых для строительства нефтегазопроводных трубопроводов: стали марки 13ХФА, 20КТ, 09Г2С, 20А, 12ХН3А, 40Х, 40ХН, 13Сг, 08 ХМФЧА, 10Х1МФБ, 14ХГС, Сталь 20 (ПАО «Тагмет»).

Базовой сталью, применяемой в настоящее время, является сталь 20.

Условия проведения стендовых испытаний соответствовали фактическим условиям эксплуатации системы нефтегазосбора скважин 191 Южно-Осташковичского месторождения и 48 Вишанского месторождения. Полученные результаты представлены в таблице.

Результаты определения скорости коррозии

Наименование местоорождения	Средняя скорость коррозии марок стали, г/м ² · ч						
	20	20А	20КТ	13ХФА	09Г2С	13Сг	08ХМФЧА
Скважина 191 Южно-Осташковичское	0,29	0,16	0,46	0,64	0,07	0,09	0,26
	40Х	40ХН	12ХН3А	10Х1МФБ	14ХГС	Сталь 20 (ПАО «Тагмет»)	–
	0,45	0,46	0,42	0,46	0,48	0,68	
Скважина 48 Вишанская	20	20А	20КТ	13ХФА	09Г2С	13Сг	08ХМФЧА
	0,56	0,39	0,39	0,45	0,09	0,1	0,33
	40Х	40ХН	12ХН3А	10Х1МФБ	14ХГС	Сталь 20 (ПАО «Тагмет»)	–
	–	–	–	0,33	0,64	0,44	–

По результатам стендовых исследований рост коррозионной стойкости сталей установлен в следующей последовательности. Для скважины 191 Южно-Осташковичского месторождения: 09Г2С → 13Сг → 20А → 08ХМФЧА → 20 → →12ХН3А → 40Х → 40ХН → 10Х1МФБ → 20КТ → 14ХГС → 13ХФА → Сталь 20 → → (ПАО «Тагмет»). Для скважины 48 Вишанского месторождения: 09Г2С → 13Сг → → 08ХМФЧА = 10Х1МФБ → 20КТ → 20А → Сталь 20 (ПАО «Тагмет») → 13ХФА → → 20КТ → 14ХГС. Характер коррозионных повреждений – равномерная сплошная коррозия для всех марок сталей кроме марок 09Г2С и 13Сг. Язвенные коррозионные повреждения на поверхности пластин из стали марок 09Г2С и 13Сг не позволяют рекомендовать ее к использованию в промышленных условиях, не смотря на низкие значения общей скорости коррозии. Сталь марки 20А показала хорошую коррозионную стойкость в условиях скважины 191 Южно-Осташковичского месторождения. Также стали марок 10Х1МФБ и 08МФЧА показали хорошую коррозионную стойкость в условиях скважины 48 Вишанского месторождения. По сравнению с типичными, применяемыми в настоящее время трубопроводами из стали марки 20 при условии применения трубопроводов из сталей марок 08МФЧА и 10Х1МФБ на Вишанском

месторождении, а также стали марки 20А на Южно-Осташковичском месторождении их срок эксплуатации может быть увеличен в два раза. Следует продолжить эксперименты по исследованию коррозионной стойкости сталей, чтобы подобрать наилучший материал для изготовления труб с целью применения на месторождениях Республики Беларусь. По результатам стендовых испытаний наилучшие марки сталей рекомендованы к проведению промысловых испытаний.

Л и т е р а т у р а

1. Особенности коррозионного разрушения нефтегазопроводных труб в условиях эксплуатации Коми и Западной Сибири / А. В. Иоффе [и др.] // Вектор науки ТГУ : сб. науч. ст. / Самар. инженер.-технол. центр. – 2010. – С. 50–54.
2. Кученев, В. О. Результаты стендовых испытаний по исследованию термического воздействия на интенсивность коррозии нефтепромысловых труб / В. О. Кученев, А. С. Асадчев, А. Г. Ракутько // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 26–27 апр. 2018 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2018. – С. 118–120.
3. Кученев, В. О. Сравнительные коррозионные испытания сталей повышенной эксплуатационной надежности в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» / В. О. Кученев, А. С. Асадчев // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XIX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 25–26 апр. 2019 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2019. – С. 91–94.

УДК 622.276:658.58

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛИННОХОДОВЫХ ПРИВОДОВ
ШТАНГОВОГО ГЛУБИННОГО НАСОСА**

В. С. Горбаченко

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

В качестве наземного привода штангового глубинного насоса на скважинах Припятского прогиба применяются станки-качалки, которые ограничены длиной хода – 3 м и числом двойных качаний – 6,7 об/мин. Из-за большого значения числа качаний насосное оборудование в быстрых темпах накапливает усталость материала, что приводит к его разрушению и, соответственно, к снижению межремонтного периода. С целью снижения темпов накопления усталости материала оборудования предлагается применять длинноходовые гидравлические привода с длиной хода устьевого полированного штока 6 м и числом двойных ходов – до 4 об/мин.

Ключевые слова: станок-качалка, штанговый глубинный насос, усталостное разрушение скважинного насосного оборудования, длинноходовой наземный привод, гидравлический привод.

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF LONG-STROKE DRIVES OF A DRIVE ROD PUMP

V. S. Gorbachenko

BelNIPIneft RUE "Production Association "Belorusneft", Gomel

Pumping units are used as a ground drive of a sucker rod pump in the wells of the Pripyat trough, which are limited by the stroke length – 3 meters, and the number of double swings – 6.7 rpm. Due to the large value of the number of swings, pumping equipment rapidly accumulates material fatigue, which leads to its destruction and, accordingly, to a decrease in the overhaul period. In order to reduce the rate of accumulation of equipment material fatigue, it is proposed to use long-stroke hydraulic drives with a wellhead polished rod stroke of 6 meters and a number of double strokes of up to 4 rpm.

Keywords: pumping unit, sucker rod pump, fatigue resolution of downhole pumping equipment, long-stroke surface drive, hydraulic drive.

По состоянию на 31.12.2021 г. действующий фонд добывающих скважин НГДУ «Речицанефть» представлен более 800 скважинами. Из них эксплуатируемых с помощью установок штанговых глубинных насосов (УШГН) – 464 скважины, что составляет большую часть (51 %) добывающего фонда. Эти данные подтверждают, что широко распространено применение установок штангового глубинного насоса для добычи нефти на скважинах Припятского прогиба. Следовательно, направление по повышению технико-технологических и экономических показателей установок штангового глубинного насоса является актуальным для белорусского нефтегазодобывающего предприятия.

В настоящее время в качестве привода штангового глубинного насоса применяются станки-качалки (СК) грузоподъемностью 8, 10 и 12 т. Механизм станка-качалки позволяет преобразовывать вращательное движение вала асинхронного электродвигателя в возвратно-поступательное движение головки балансира. Фактический срок службы данного привода, исходя из мирового опыта [1], достигает 20 лет и более.

Станки-качалки в силу заложенного в них принципа действия и необходимости уравнивания обладают высокой металлоемкостью (в среднем 15–25 т), что повышает требования к сооружаемому массивному железобетонному или стальному фундаменту. Таким образом, из-за высокой металлоемкости монтаж СК является длительным (до 14 суток) и трудозатратным процессом.

Процесс работы штангового глубинного насоса представлен повторяющимся циклом перемещений плунжера. Следовательно, при эксплуатации скважины УШГН происходит постоянное циклическое воздействие (нагрузка/разгрузка) на все элементы установки – от двигателя до приемного клапана глубинного насоса. Циклический характер работы с малым периодом цикла и большой асимметричностью нагрузок является одним из главных недостатков штанговой скважинной насосной установки со станком-качалкой. Интенсивность накопления усталостных явлений в элементах штанговой установки составляет 5500–10000 циклов в сутки, что является частой причиной поломок оборудования УШГН, связанных с постепенным разрушением материала штанг и элементов СК. При поломке подземного оборудования требуется выполнение подземного ремонта, что является затратным процессом. Таким образом, в результате поломок подземного насосного оборудования возникают простои скважин и появляются незапланированные вынужденные затраты для ремонта.

Анализ многолетней работы установок штангового глубинного насоса с балансирным приводом показал, что данная установка имеет относительно низкий КПД из-за невысоких коэффициентов наполнения насосов, что в большей степени (при нормальных условиях эксплуатации) обусловлено растяжением колонны насосных штанг. Значительное растяжение колонны насосных штанг обусловлено большой глубиной спуска штангового глубинного насоса, добычей обводненной продукции, водонефтяной эмульсии, вязкой нефти. Подсчет коэффициентов подачи на месторождениях Припятского прогиба показывает, что средний коэффициент подачи штангового глубинного насоса находится в интервале 0,4–0,5.

Таким образом, опыт применения СК на скважинах Припятского прогиба позволил выделить следующие недостатки:

- 1) значительная металлоемкость;
- 2) большая скорость накопления усталости материала;
- 3) процесс монтажа и ремонта СК является длительным и затратным процессом;
- 4) неудовлетворительное центрирование канатной подвески, обусловленное неточностью изготовления головки балансира и приводящее к ускоренному износу устьевого уплотнения;
- 5) неудобство смены длины хода устьевого полированного штока из-за возникающих сложностей перестановки пальцев шатунов и высокая трудоемкость перемещения грузов при уравнивании.

Практика показывает, что с увеличением длины хода устьевого полированного штока величина растяжения практически остается неизменной, а коэффициент подачи насоса увеличивается. Следовательно, при увеличении длины хода полированного штока и снижении числа двойных ходов в минуту можно достичь прежнего (запланированного) дебита, но при этом увеличивается коэффициент наполнения насоса, увеличиваются сроки служб штанг и насоса, межремонтный период скважин, улучшаются энергетические характеристики установки в целом.

Один из возможных длинноходовых приводов – гидравлический привод штангового глубинного насоса (рис. 1) компании ООО «НТЦ «Промгидравлика». В данном приводе рабочим элементом, осуществляющим подъем и спуск КНШ, является гидроцилиндр.

Технические характеристики гидравлического привода штангового глубинного позволяют осуществлять добычу на скважинах с нагрузкой в точке подвеса полированного штока (ТПШ) до 200 кН. По грузоподъемности гидравлические привода разделены по максимальной нагрузке в ТПШ 60, 80, 120, 160 и 200 кН. Для проведения опытно-промысловых испытаний гидравлического привода на скважинах Припятского прогиба рассматривается применение гидравлического привода штангового скважинного насоса с максимальной грузоподъемностью 12 т и максимальной длиной хода устьевого полированного штока – 6 м (ПШСНГ-120-6.0).

Гидравлический привод ПШСНГ-120-6.0 компании ООО «НТЦ «Промгидравлика» оснащен системой автоматизации процесса добычи нефти, которая позволяет плавно (бесступенчато) настраивать режимы работы штангового скважинного насоса с учетом коэффициента заполнения насоса. За счет этого механизма обеспечивается увеличение коэффициента наполнения насоса и увеличение объема добычи нефти за отчетный период времени.

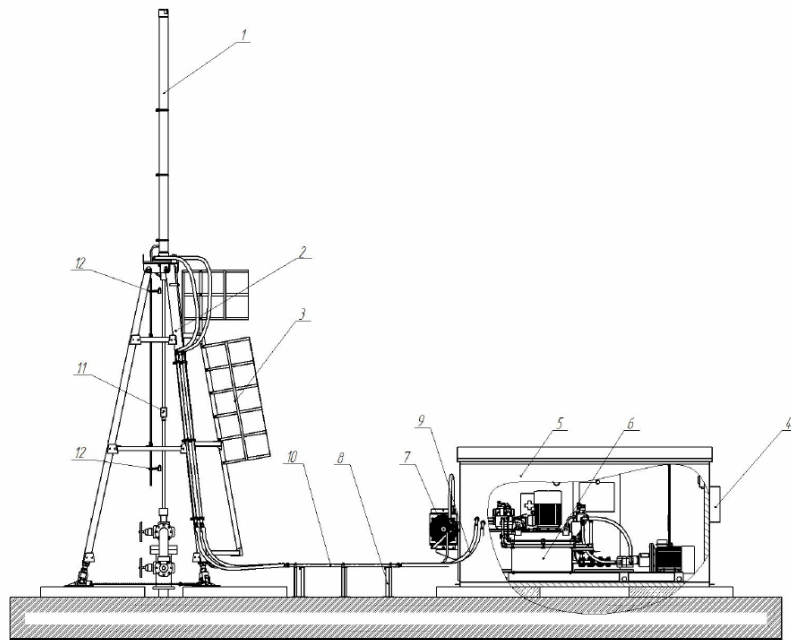


Рис. 1. Гидравлический привод:

1 – гидроцилиндр; 2 – опора шатрового типа; 3 – лестница; 4 – рубильник;
5 – укрытие гидростанции; 6 – гидростанция; 7 – теплообменник; 8 – подставка;
9 – рукав высокого давления; 10 – трубопровод; 11 – муфта; 12 – индукционный
бесконтактный выключатель

Из анализа опыта работы зарубежных компаний в части эксплуатации скважин длинноходовыми гидравлическими приводами можно выделить следующие преимущества рассматриваемых приводов [2]:

1) высокая мобильность привода, что позволяет выполнять оперативный монтаж (до 14 ч) привода на скважинах после геолого-технологических мероприятий (ГТМ) с целью проведения отработки скважины и проведения гидродинамических исследований;

2) возможность регулирования производительности насоса в относительно широком диапазоне, что важно при несоответствии фактического дебита жидкости и планируемого после ГТМ;

3) имеется технологическая возможность автоматической поддержки оптимальных параметров эксплуатации скважины и оборудования в условиях снижения притока жидкости из пласта;

4) увеличение эффективной длины плунжера при работе насоса (уменьшение влияния растяжения штанг на 10 % и более), в итоге – увеличение коэффициента подачи и снижение удельного электропотребления;

5) уменьшение износа рабочих поверхностей плунжера/цилиндра и клапанных пар;

6) снижение износа штанг и устьевого штока (уменьшение накопленной усталости металла);

7) уменьшение степени истирания штанговыми муфтами внутренней поверхности НКТ;

8) снижение рисков образования водонефтяной эмульсии (особенно с обводненностью 60–80 %) и влияния высокой вязкости продукции.

Таким образом, применение длинноходовых приводов на скважинах Припятского прогиба позволит получить следующий эффект:

1. Увеличить коэффициент полезного действия УШГН (на 20 % и более).
2. Увеличить срок службы глубинно-насосного оборудования, что позволит снизить эксплуатационные затраты, вызванные проведением подземного ремонта скважины и закупкой нефтепромыслового оборудования.
3. Сократить простои скважины и потери в добыче нефти, которые вызваны выходом из строя подземного насосного оборудования, длительным временем монтажа СК УШГН.

Литература

1. Петров, А. А. Анализ существующих приводов штангового глубинного насоса / А. А. Петров. – Йошкар-Ола : Коллоквиум, 2018. – 48 с.
2. Мырзахметов, Б. А. Длинноходовые приводы штанговых насосов на базе серийных станков-качалок для эксплуатации скважин в осложненных условиях / Б. А. Мырзахметов, А. С. Латынов // Вестн. КазНТУ. – 2014. – С. 253–258.

УДК 528.7

СОЗДАНИЕ 3D-МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ МЕТОДОМ АЭРОФОТОГРАММЕТРИИ СОВМЕСТНО С НАЗЕМНЫМ ЛАЗЕРНЫМ СКАНИРОВАНИЕМ

В. В. Юдашкин

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Рассмотрена тема внедрения современных методов геодезических изысканий с целью сокращения временных затрат, увеличения точности и информативности конечных результатов. Приведены преимущества применения наземного лазерного сканирования совместно с аэрофотограмметрией в сравнении с классической топографической съемкой. На примере реального объекта в работе представлены результаты разработки и использования методов наземного лазерного сканирования совместно с аэрофотограмметрией.

Ключевые слова: сканирование, аэрофотограмметрия, аэрофотосъемка, беспилотный летательный аппарат.

CREATING A 3D TERRAIN MODEL BY AERIAL PHOTOGRAMMETRY IN JOINTLY WITH SURFACE LASER SCANNING

V. V. Yudashkin

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

The paper considers the topic of introducing modern methods of geodetic surveys in order to reduce time costs, increase the accuracy and information content of the results. The article presents the advantages of using surface laser scanning together with aerial photogrammetry in comparison with classical topographic survey. On the example of a real object, the paper presents the results of the development and use of surface laser scanning methods together with aerial photogrammetry.

Keywords: scanning, aerial photogrammetry, aerial photography, unmanned aerial vehicle.

Использование метода аэрофотосъемки совместно с наземным лазерным сканированием (НЛС) в полном объеме удовлетворяет требованиям, предъявляемым к

современным методам производства геодезических работ.

Лазерное сканирование – технология, позволяющая создать цифровую трехмерную модель объекта в виде множества точек, каждая из которых имеет пространственные координаты (X, Y, Z). Полученное множество точек называется «облаком точек».

Фотограмметрия, используемая в аэрофотосъемке, – это метод определения размеров объекта по фотографиям для дальнейшего создания карт, топопланов, трехмерного изображения объекта или участка местности.

Основные сферы применения лазерного сканирования и аэрофотограмметрии:

- строительство;
- автомобильная и железнодорожная отрасли;
- нефтегазодобыча;
- маркшейдерское дело;
- археология и архитектура;
- мониторинг чрезвычайных ситуаций;
- землеустройство.

Благодаря использованию НЛС и беспилотного летательного аппарата (БПЛА), в аэрофотосъемке удастся сократить время полевых изысканий на 30–40 %, а время камеральной обработки – на 10–15 %. При этом вследствие применения аэрофотограмметрии и наземного лазерного сканирования изыскательские работы становятся более автоматизированными, исключаются ошибки «человеческого фактора», а конечная модель местности становится более точной и информативной. Появляется возможность пропустить этап формирования 2D-чертежа и передать проектному отделу 3D-модель.

Используя НЛС, удастся достичь:

- высокой детализации конечных материалов;
- минимальной загруженности чертежей;
- максимальной информативности;
- возможности уйти от загруженных данными и нечитабельных 2D-чертежей к интуитивно и визуально понятным 3D-моделям (рис. 1).

Наряду с очевидными преимуществами лазерное сканирование имеет и свои недостатки:

- недоступность для сканера высотных объектов;
- недоступность для сканера объектов, закрытых постройками, установками и т. п.;
- сложность сканирования больших площадей.

В этом случае наземное сканирование дополняется материалами аэрофотограмметрии (рис. 2), что в комплексе дает полную 3D-модель местности.

Использование аэрофотограмметрии помимо всего прочего позволяет получить:

- отсутствие препятствий со стороны технологического процесса, протекающего на территории объекта, и наличия сложных технологически установок;
- снижение физической нагрузки на исполнителя;
- ситуационную 3D-модель местности;
- цифровую модель рельефа местности;
- снижение влияния отрицательных погодных и природных факторов (дождь, леса, реки).

При отсутствии на объекте пунктов полигонометрии и невозможности работы с GNSS оборудованием планово-высотное обоснование создается при помощи технологий RTK (от англ. *Real Time Kinematic* – «кинематика реального времени») или PPK (от англ. *Post Processing Kinematic* – «кинематика в постобработке»).

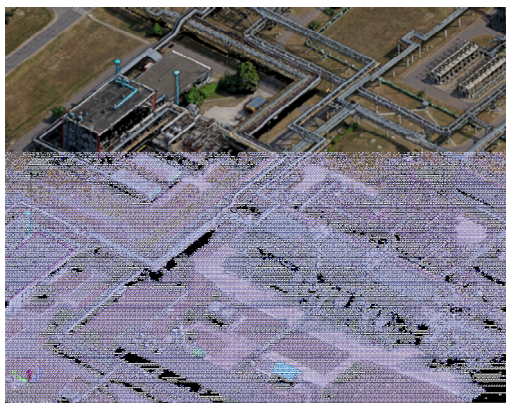


Рис. 1. Плотное облако точек, технологическая площадка БППЗ

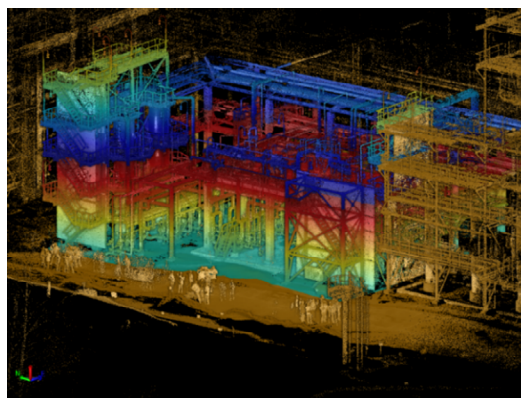


Рис. 2. Аэрофотосъемка, БППЗ

Технологии НЛС совместно с аэрофотосъемкой были изучены, а также выработаны методы их применения. Эти технологии успешно опробовали в рамках выполнения геодезических работ по объекту «Реконструкция ГЗУ-3 Мармовичского нефтяного месторождения» (рис. 3).

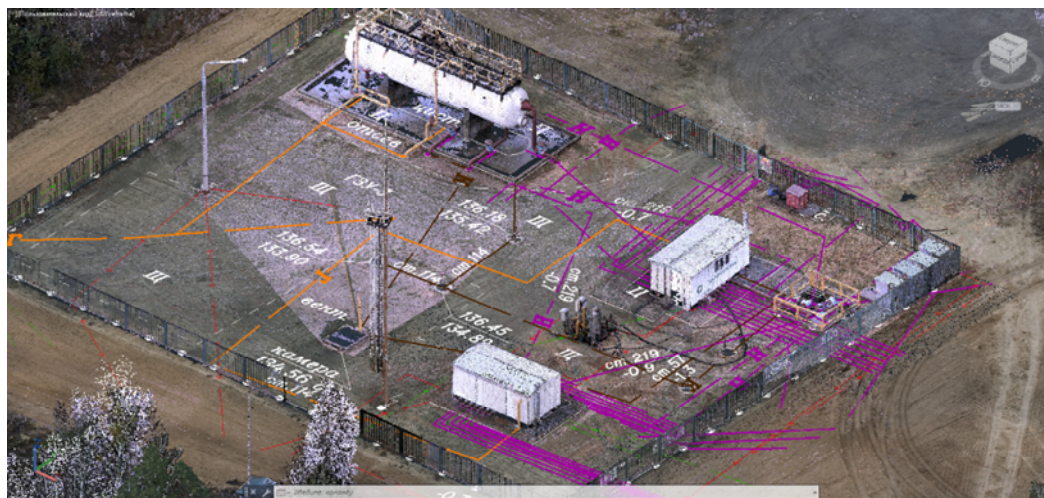


Рис. 3. Результаты наземного лазерного сканирования и аэрофотосъемки в среде AutoCAD Civil 3D

Несмотря на значительную стоимость оборудования для НЛС совместно с аэрофотосъемкой, информативность полученного результата, точность и высокая скорость производства работ дали этому методу огромное преимущество. Так, на этапе проектирования данного объекта после проверки на коллизии были выявлены несоответствия с проектом, выполненным на материалах классической топографической съемки прошлых лет. Вследствие этого удалось не допустить критических ошибок, удорожания строительно-монтажных работ и материалов, а также задержек по времени на этапах строительства. Применение данной технологии показало высокую

точность и значительную возможность сокращения сроков выполнения работ по объектам.

В заключение хотелось бы отметить, что данные технологии еще мало распространены в Республике Беларусь, не имеют упорядоченных методов производства работ современными приборами, а имеющиеся статьи можно характеризовать как разрозненные и несистематизированные. Поэтому изучение новых методов производства полевых и камеральных работ является актуальной задачей, их внедрение дает возможность не отставать от современных технологий производства геодезических изысканий и оставаться конкурентоспособным на рынке геодезических услуг.

УДК 528.8

**РОЛЬ КОСМОСТРУКТУРНОГО КАРТИРОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ
ПЛОЩАДЕЙ В ПРЕДЕЛАХ АКТИВНЫХ
НА НЕОТЕКТОНИЧЕСКОМ ЭТАПЕ ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НЕФТЕПОИСКОВЫХ РАБОТ
В ПРИПЯТСКОЙ И ОРШАНСКОЙ ВПАДИНАХ**

О. К. Абрамович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Проанализирован опыт применения данных дистанционного зондирования Земли на месторождениях России, Туровской депрессии и Оршанской впадине в Беларуси в комплексе с геологической и геофизической информацией для поисковых целей на нефть и газ. Дистанционные съемки в сравнении с полевыми работами более оперативны, характеризуются непрерывным полем данных в отличие от дискретных данных при наземных съемках, высоким спектральным и пространственным разрешением, обеспечивают быстрое получение детальных и качественных данных при относительно небольших затратах.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования, нефтепоисковые работы, дешифрирование, структурное картографирование, многозональные снимки.

**THE ROLE OF COSMOSTRUCTURAL MAPPING OF INDIVIDUAL
AREAS WITHIN DEEP FAULTS ACTIVE AT THE NEOTECTONIC
STAGE DURING OIL EXPLORATION IN THE PRIPYAT AND ORSHA
DEPRESSIONS**

O. K. Abramovich

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The article analyzes the experience of using Earth remote sensing data in the fields of Russia, the Turov Depression and the Orsha Depression in Belarus in combination with geological and geophysical information for oil and gas prospecting purposes. Remote surveys, in comparison with field work, are more operational, characterized by a continuous data field in contrast to discrete data for ground surveys, high spectral and spatial resolution, provide rapid acquisition of detailed and high-quality data at relatively low cost.

Keywords: remote sensing data, oil exploration, decryption, structural mapping, multi-zone images.

В настоящее время для изучения природных ресурсов в развитых странах мира используется большое количество космических систем. Снимки получают на разных уровнях генерализации и в различных спектральных диапазонах, а также многозо-

нальные с разрешением порядка первых десятков метров. Использование материалов дистанционного зондирования Земли позволяет решать задачи, связанные в том числе и с нефтепоисковыми работами. Интересные с научной и практической точки зрения результаты можно получить при совместной интерпретации данных дистанционного зондирования и геолого-геофизических данных, например, для уточнения природы нефтеносных бассейнов, нефтегеологического районирования и прогнозной оценки запасов нефти. Если рассмотреть статистику по сходимости результатов космоструктурных и сейсморазведочных работ в России в Волго-Уральской нефтеносной провинции и далее на восток и на север, то корреляция данных оценивается от 70 до 90 %. Статистика свидетельствует о том, что по мере роста плотности сети сейсмопрофилей суммарная подтверждаемость результатов космоструктурных работ растет. В настоящее время в нефтегазовой геологии используются новые направления дистанционных исследований:

- геофизическое, связанное с изучением гравитационного и магнитного полей на основе уточненных параметров геоида;
- геодинамическое – с использованием спутниковых навигационных систем;
- структурное картографирование посредством радиолокационных съемок;
- геохимическое, базирующееся на мультиспектральных и гиперспектральных съемках [1].

Важнейшая задача оценки перспектив нефтегазоносности решается косвенным способом. Информация в видимом диапазоне электромагнитного спектра полезна при оценке нефтегазоносности ловушек, подготовленных к глубокому бурению. Аналогичную задачу решает лидарная съемка. Инфракрасная съемка позволяет проверить качество ловушки нефти и газа, локализовать разрывные нарушения через трассирование зон разгрузки глубинных вод, установить непосредственный канал связи между скоплениями углеводородов и земной поверхностью для проведения геохимических исследований. Методика дистанционных съемок достаточно хорошо отработана на месторождениях России, особенно в пределах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Опыт проведения дистанционных исследований был использован и в Беларуси при обследовании Туровской депрессии и Оршанской впадины. Территория Туровской депрессии входит в Припятскую нефтегазоносную область. Проведенные дистанционные исследования Туровской депрессии позволили выделить фотоаномалии, сопоставляемые с локальными структурными формами [2].

Близость Туровской депрессии к хорошо изученной центральной и восточной части Припятской нефтеносной области позволила применять аналоговый метод дешифрирования. Основное внимание уделялось ярко выраженным формам пликтивно-дизъюнктивных структурных особенностей, которые уверенно выделяются средствами геофизики. Структурные признаки не всегда удавалось выделить однозначно. Полученные при прогнозировании нефтеперспективности детальные карты позволяют обосновать очередность ввода конкретных объектов в последующие стадии работ и определиться с локализацией геофизических и буровых работ. В качестве дешифровочных признаков в основном использовались линейно ориентированные компоненты ландшафта – линеаментный анализ, который успешно проводится при компьютерной обработке снимков. Результативность работ по интерпретации результатов анализа во многом зависит от квалификации и опыта специалиста и постановки многоуровневого системно-геологического моделирования. На практике линеаменты обычно сопоставляются с системами зонами и фрагментами дизъюнк-

тивных и пликативных дислокаций по предполагаемой поверхности нефтесзначимых отложений, контуров геологических разностей отложений, сопоставляемых с зонами возможного выклинивания и замещения, неогеодинамических поднятий и опусканий. Результаты проведенных дистанционных работ показали, что для данного района характерны элементы зональности. Наиболее выраженная зональность отмечается для межсолевых отложений. Для подсолевых отложений преобладает сочетание зональности и мозаичности. Для верхнесолевых отложений зональность выражена слабо. Наиболее отчетливо зональные тенденции проявляются в центральной (осевой) части района работ, вытянутой с юго-запада на северо-восток. Здесь наблюдается и наибольшая дислоцированность поверхности подсолевых, межсолевых и верхнесолевых отложений, обусловленная крупными сбросами (иногда сбросо-сдвигами) значительной амплитуды. В зональном простирании доминируют северо-восточное и субширотное направления. Предполагаемая нефтеперспективность объектов неравнозначна. В качестве первоочередных рекомендованы объекты, расположенные в центральной и восточной части анализируемой территории. Площади перспективных объектов варьируют от 1 до 28 км², преобладающий размер площадей – около 2,5 км². Локализация геолого-геофизических работ после проведенных исследований повысилась в 5–6 раз.

На основе разновременной космической информации на территории Оршанской впадины площадью 4000 км² выделяются крупные субрегиональные, региональные и локальные разломы, а также локальные аномалии ландшафта, отождествляемые с пликативными дислокациями. Степень разломообразования увеличивается в северном направлении, в сторону Крестцовского грабена Среднерусского авлакогена. Разрывные нарушения с вертикальной амплитудой от первых десятков до нескольких сотен метров расчлняют поверхность фундамента, проникают в различные горизонты верхнепротерозойских отложений и нередко контролируют локальные и иные структуры. Относительно перспективной территорией для поисков углеводородов по комплексу показателей является северная часть Оршанской впадины, которая по волынским и валдайским отложениям представляет собой склон Московской синеклизы, а по рифейским комплексам – центриклиналь Крестцовского прогиба, или отделена от него небольшой и малоамплитудной перемычкой. Границы Оршанской предполагаемой нефтегазоносной области определены с учетом особенностей тектоники. Эти границы примерно соответствуют абсолютной глубине залегания поверхности фундамента на отметках около 1000 м. Прямые признаки нефтегазоносности в виде проявлений нефти и газа и газонасыщенности керна установлены и на соседних структурах – Любимской и Дьяконовской, а также ближе к северо-восточному замыканию Оршанской впадины на Северо-Молоковской площади. Вопрос о возможной нефтегазоносности Оршанской впадины был поставлен после получения притоков нефти из отложений рифея Припятского прогиба в скважине 13 Давыдовской площади. Практическим решением проблемы нефтегазоносности Оршанской впадины явилось бурение Оршанской опорной скважины № 2. Однако из-за небольшого объема геофизических и буровых работ открытие крупных или средних месторождений не прогнозировалось. При дальнейшей детализации геофизических работ в разрезе Оршанской впадины были выделены коллекторы и непроницаемые толщи пород, служащие флюидоупорами. В разрезе осадочного чехла Оршанской впадины преобладают высокопористые песчаники и алевролиты. Пласты глинистых образований, рассматриваемые в качестве флюидоупоров, имеют ограниченное развитие.

Анализируя опыт применения данных дистанционного зондирования для поисковых целей, можно выделить ряд положительных моментов при подключении их к комплексу геологических и геофизических работ:

- непрерывное поле данных, высокое амплитудное и спектральное разрешение;
- прогнозирование залежей нефти в осадочных бассейнах древних платформ;
- определение пространственных закономерностей распределения неотектонически активных мантийных разломов, создающих условия миграции углеводородов под действием флюидно-газовых потоков и формирования залежей нефти;
- картирование структур разгрузки флюидов;
- прогнозирование структурных ловушек для постановки поисковых сейсмо-разведочных работ;
- выявление зон трещиноватости в карбонатных резервуарах, обладающих высокими фильтрационно-емкостными свойствами [2].

Дешифрирование материалов дистанционного зондирования основано на косвенных признаках, поэтому важную роль играет выбор эталонных объектов, расположенных в непосредственной близости от вводимых в бурение структур или в пределах одной структуры второго порядка, возможно использование антиэталона разбуренного непродуктивного поднятия и плотности сетки геофизических исследований.

Литература

1. Абрамович, О. К. Анализ и интерпретация результатов сопоставления региональной и локальной информации о современных геодинамических процессах / О. К. Абрамович // Заметки ученого. – 2022. – № 3, ч. 1.
2. Губин, В. Н. Космоструктурное картирование при поисках глубинной нефти в Припятском нефтегазоносном бассейне / В. Н. Губин // 4-е Кудрявцевские чтения : материалы Всерос. конф. по глубинному генезису нефти и газа. – М., 2015. – С. 32–38.

УДК 553.98

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПОРОД КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

Р. В. Асвинов

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

П. В. Асвинова

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Изучение проблемы нефтегазоносности кристаллических пород фундамента обусловлено необходимостью поиска новых направлений и новых нефтегазоносных объектов в регионах с уже установленной нефтегазоносностью осадочного чехла на больших глубинах и может создать условия для увеличения сырьевой базы нефтяной промышленности Республики Беларусь.

Ключевые слова: нефть, газ, нефтегазоносность, кристаллический фундамент, геология.

**PROSPECTS OF OIL AND GAS POTENTIAL
OF ROCKS OF THE CRYSTALLINE BASEMENT
OF THE PRIPYAT TROUGH AREA**

R. V. Asvinov

BelNIPIneft RUE "Production Association "Belorusneft", Gomel

P. V. Asvinova

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The study of the problem of oil and gas potential of crystalline basement rocks is conditioned by the need to search for new directions and new oil and gas-bearing objects in regions with already established oil and gas content of the sedimentary cover at great depths and can create conditions for increasing the raw material base of the oil industry of the Republic of Belarus.

Keywords: oil, gas, oil and gas potential, crystal foundation, geology.

Открытие в последние годы значительных по запасам месторождений нефти и газа в породах кристаллического фундамента (КФ) во многих регионах вызывает серьезный интерес к этому объекту у геологов всего мира [1]. К настоящему времени выявлено свыше 450 месторождений в разновозрастных образованиях фундамента с промышленными скоплениями углеводородов (УВ) в 54 нефтегазоносных бассейнах (НГБ) мира [2–4], в том числе в Днепровско-Донецком НГБ (Украина). В частности, открыты месторождения УВ: нефтяное Хухринское, газоконденсатное Юльевское, нефтегазовое Гашиновское. На отдельных площадях установлена продуктивность разуплотненных пород КФ: Скворцовская (нефть, газ), Нарыжнянская (газ, конденсат), Каравановская (газ), Коробочкинская (газ), Островерховская (газ, конденсат) находятся в Центральной части Северного борта Днепровско-Донецкая впадины (ДДВ). Нефтепроявления из пород фундамента или при совместном испытании их с осадочным чехлом отмечены на ряде площадей Северного борта (Тростянецкая, Прокопенковская, Коломийчихинская, Кудрявская) или в северной прибортовой зоне вблизи краевого разлома (Козиевская площадь). Кроме того, на ряде площадей Северного борта (Турутинская, Воскресеновская, Дружелюбовская, Радянская) и грабена (Ловиньская, Чемерская, Колайдинцевская) получены значительные притоки пластовой воды, что свидетельствует о продуктивности пород фундамента [5–6].

Краткая характеристика (обзор) скважин, являющихся открывателями промышленных скоплений УВ в пределах ДДВ, приведена далее.

Скважина 1 Хухринская

Заложена в узле пересечения Ворсклинского глубинного разлома и зоны Северного краевого нарушения. Породы фундамента вскрыты в интервале 3187–3455 м. В интервале 3187–3220 м встречена кора выветривания фундамента (зона глинистая (каолинизации) – 4 м, зона выщелачивания – 10, зона дезинтеграции – 19 м), перекрытая отложениями верхневизейского подъяруса нижнего карбона (глинисто-карбонатными алевролитами). В отобранном керне в интервалах 3209–3215 м (кора выветривания: зона выщелачивания и зона дезинтеграции), 3291–3295 и 3330–3334 м (зоны разуплотнения) трещиноватая порода, представленная гранитами, была насыщена нефтью. Испытанию подверглись интервалы 3304–3363 м (притока нет) и 3309–3439 м (получено 11,52 м³ раствора за 110 мин с пленкой нефти). По геофизическим исследованиям скважин (ГИС) перспективные объекты в фундаменте отсутствовали. При испытании в колонне получен приток 58 м³/сут нефти и 69,1 тыс. м³/сут газа. По результатам промыслово-геологических исследований (ПГИ) поступ-

ление газа связано с интервалом 3204–3206 м (17–19 м от поверхности фундамента), нефти – с глубины 3257–3272 м (70–85 м от поверхности фундамента). Таким образом, скважина 1 Хухринская выявила два самостоятельных объекта (кора выветривания и разуплотненные зоны ниже по разрезу фундамента) в отсутствии залежей УВ в осадочном чехле, и стала первооткрывательницей Хухринского нефтяного месторождения [7, 8].

Скважина 2 Юлиевская

Заложена и пробурена на горстообразной структуре в наиболее приподнятой части Юлиевской складки. Породы фундамента вскрыты в интервале 3464–3800 м. Отобранный керн в интервалах КФ представлен плагиогранитами, эпидот-хлорит-плагиоклазовой породой, горнблендитами, метасоматитами. Встречены открытые поры (6–15 %), трещины до 1 мм, установлена газопроницаемость в размере $(0,29-1,97) \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ и карбонатность на уровне 15–32 %. По ГИС выделены перспективные, но «неопределенные» интервалы 3468–3486, 3686–3690, 3693–3698 м. Выполнены испытания в открытом стволе в интервалах 3488–3591 м (получен газ дебитом 394 м³/сут), 3640–3710 м (газ дебитом 4800 м³/сут), 3685,0–3698,4 м (газ дебитом 5700 м³/сут с нефтью). Испытание в интервале 3636–3800 м: приток (штуцер 7 мм) газа – 77 тыс. м³/сут, конденсата – 13,5 м³/сут. Испытание в колонне: 3587–3607 м (слабый газ), 3516–3552 и 3494–3607 м – приток отсутствовал (после торпедирования – дебит газа – 0,594 тыс. м³/сут), 3468–3486 м (штуцер – 6,2 мм, дебит газа – 172,1 тыс. м³/сут, конденсата – 7,6 м³/сут, абсолютно свободный дебит газоконденсатной смеси – 2768,1 тыс. м³/сут. По результатам ПГИ работающие продуктивные пласты в породах кристаллического фундамента выявлены в интервалах 3468–3471, 3516–3529, 3547–3550 м (в последних двух случаях пласт «заработал» в процессе освоения интервала 3468–3486 м). Таким образом, открыто Юлиевское нефтегазоконденсатное месторождение [7, 8].

Открытие залежей нефти и газа в породах кристаллического фундамента ДДВ вселяют надежду на обнаружение залежей углеводородов и на территории Припятского прогиба, на основании признания этих территорий как генетически однородных нефтегазоносных областей единой НГП.

Изучение геологического строения и перспектив нефтегазоносности пород кристаллического фундамента глубоким бурением на территории Припятского нефтегазозносного бассейна началось с 1977 г. [9, 10].

На 01.01.2022 г. в пределах 188 площадей и месторождений проводились буровые работы на кристаллический фундамент. Общее число скважин, вскрывших КФ, достигло 344 единиц. В 325 скважинах отбирался керн, общий метраж составляет 1794 м. Наиболее представительные по мощности вскрытия и информативными являются керновые исследования в скважинах 61 Барсуковская (726,5 м), 123 Осташковичская (671 м), 60 Барсуковская (603 м), 4 Городокская (594 м), 1 Паричская (589 м), 1 Ю-Борецкая (514 м), 2 Борецкая (493 м) [11].

Фундамент представлен кристаллическими породами типа биотитового гнейса от серого до черного цвета, окварцованными, порфиroidными, с кварц-полевошпатовыми внедрениями. Породы плотные, крепкие. Выше по глубине отбора керна описаны магматические породы от серого до черного цвета, мелкозернистые, массивные, окварцеванные, плотные, крепкие. Наблюдаются редкие включения гранитоидов буровато-красных мелкозернистых, кварца и полевых шпатов. В отобранных образцах отмечается наличие разноориентированных трещин, заполненных хлоритом, гранитом, кварцем, водой (9053 Тишковская, 50 Ю-Тишковская) и самое главное, представляющее научный интерес, это наличие выпотов и

выделений нефти и газа (76 Барсуковская, 1 С-Котельниковская), налетов, примазок и включений (9 Вышемировская, 2 Судовицкая), характерного УВ запаха (101 Речицкая).

На 01.01.2022 г. выполнено 105 испытаний пород кристаллического фундамента в условиях открытого ствола скважин. В 5 скважинах проводились испытания в колонне.

Получены притоки пластовой воды в скважинах 27 С-Березинской, 4 Городокской, 1 Паричской, 2 Борецкой, 1 Ручаевской, 101 Яшицкой плотностями от 1,14 до 1,23 г/см³ и расчетным дебитом по притоку от 2 до 88 м³/сут при фактической созданной депрессии 9–11 МПа. Таким образом, подтверждено наличие пород-коллекторов в кристаллическом фундаменте на территории Припятского прогиба. Предпосылкой к продолжению исследования перспективности пород КФ на нефть явилось получение притока пластовой воды с пленкой светло-коричневой нефти дебитом 1,51 м³/сут по результатам испытания в скважине 1 Шумятинского месторождения.

В скважине 240 Речицкая при проведении испытаний в колонне со вскрытыми породами КФ получен приток нефти (расчетный дебит – 38 м³/сут). Однако информация о проведенных ПГИ свидетельствует о наличии перетока из вышележающих верхнепротерозойских отложений, которые были приобщены впоследствии, продуктивность пород КФ не подтверждена.

С учетом неопределенности работы скважины 240 Речицкой из пород КФ наиболее перспективно-представительной по выполненному комплексу исследований керна (в рамках программы изучения КФ) стала скважина 601 Речицкая. Проходка по породам КФ составила 104 м, по данным газового каротажа при бурении данных пород в буровом растворе отмечалось повышение значений концентрации УВ газа. В процессе бурения скважины было предпринято две попытки испытания на приток пород кристаллического фундамента, однако данные испытания оказались неудачными по геолого-техническим причинам. В результате освоения приток также не был получен. Однако исследования керна указывали на перспективность дальнейшего исследования: в отдельных интервалах отмечены слои с запахом УВ и многочисленными разнонаправленными трещинами с раскрытостью до 1 мм и выполненные черным битумоподобным материалом. По данным люминесцентно-битуминологического анализа породы КФ характеризуются в основном как перспективные [12].

В 2022 г. появился весомый аргумент в вопросе оценки перспектив нефтегазодности кристаллического фундамента – пробурена скважина 385 Речицкая. Вскрыто 53 м пород КФ, при бурении которых отмечалось увеличение суммарного газосодержания от 0,28 до 1,7 %. Компонентный состав газа характерен газу нефтенасыщенных пород-коллекторов, что указывает на перспективность данного интервала. По описанию керна породы плотные, крепкие, представлены гранитами, гранитогайсами серыми, темно-серыми, розовато-серыми, мелко-среднекристаллическими. Весь интервал КФ – без признаков УВ. По результатам обработки расширенного комплекса ГИС были выделены интервалы разуплотненных зон с зафиксированной трещиноватостью, при последующем освоении в колонне которых получен приток нефти дебитом 7 м³/сут. В результате впервые был выделен на территории Припятского прогиба объект разработки в породах КФ (AR-PR1 возраста). Эксплуатация скважины продолжается.

Таким образом, имеющиеся предпосылки [1] поиска залежей УВ в породах КФ (промышленная нефтеносность осадочного чехла, признаки нефтегазопроявлений и притоков воды в разуплотненных и трещиноватых породах КФ, тектоническая ак-

тивность) и последнее открытие стали основой для продолжения изучения и подтверждения перспектив нефтегазоносности КФ. В связи с этим подчеркивается дальнейшая необходимость обоснования методов опознания перспективных объектов и подходов к детальному изучению кристаллического фундамента [13].

Л и т е р а т у р а

1. Коротева, О. В. Перспективы нефтегазоносности пород кристаллического фундамента на территории Припятского прогиба / О. В. Коротева // Нефтяник. – 2021. – № 2 (40). – С. 72–77.
2. Гаврилов, В. П. Гранитоидные коллекторы и нефтегазоносность южного шельфа Вьетнама / В. П. Гаврилов, В. Л. Гулев, Ф. А. Киреев. – М. : Недра, 2010. – 294 с.
3. Заграновская, Д. Е. Региональные предпосылки перспектив нефтегазоносности доюрского комплекса Западно-Сибирского бассейна / Д. Е. Заграновская, О. А. Захарова // Углеводородный и минерально-сырьевой потенциал кристаллического фундамента : материалы междунар. науч.-практ. конф., Казань, 2–3 сент. 2019 г. – Казань, 2019. – С. 47–50.
4. Koning, T. Поисковые работы на нефть и газ в Азии и Африке в естественно трещиноватых коллекторах фундамента: лучший мировой опыт и усвоенные уроки / T. Koning // Углеводородный и минерально-сырьевой потенциал кристаллического фундамента : материалы междунар. науч.-практ. конф., Казань, 23 сент. 2019 г. – Казань, 2019. – С. 20–24.
5. Тектоно-геодинамические критерии нефтегазоносности кристаллического фундамента Северного борта Днепровско-Донецкого авлакогена / Т. С Гейко [и др.] // Геологічний журнал. – 2013. – № 4. – С. 7–23.
6. Шаталов, Н. Н. Вклад профессора Владилена Алексеевича Краюшкина в теорию абиогенно-мантийного генезиса углеводородов (к 90-летию со дня рождения) / Н. Н. Шаталов, И. Д. Багрий // Геологічний журнал. – 2019. – № 3. – С. 92–100.
7. Нефтегазоперспективные объекты Украины. Нефтегазоносность фундамента осадочных бассейнов / В. А. Краюшкин [и др.]. – Киев : Наук. думка, 2002. – 295 с.
8. Днепровско-Донецкая впадина (геофизика, глубинные процессы) / И. В. Гордиенко [и др.]. – К. : Корвин пресс, 2006. – С. 6–8.
9. Грибик, Я. Г. Перспективные горизонты кристаллического фундамента старых месторождений нефти Припятского прогиба / Я. Г. Грибик // 8-е Кудрявцевские чтения : материалы Всерос. конф. по глубинному генезису нефти, Москва, 19–21 окт. 2020 г. / ЦГЭ. – М., 2020.
10. Гузик, С. Н. Перспективы нефтегазоносности Припятского прогиба с позиции абиогенного синтеза углеводородов / С. Н. Гузик // Літасфера. – 2013. – № 1 (38). – С. 123–134.
11. Аналитическая записка по изучению нефтегазоперспективности пород кристаллического фундамента : отчет (заключ.) / Нефтегазодобывающее упр. «Речицанефть» РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» ; рук. темы Е. Г. Паремский. – Речица, 2020. – 68 с.
12. Информационная записка о вскрытии пород кристаллического фундамента по скважине 601 Речицкая : отчет (заключ.) / БелНИПИнефть, РУП «Производственное объединение «Белоруснефть». – 35 с.
13. Сколько нефти в недрах Беларуси? / Нефтехимия. – Режим доступа: <https://belchemoil.by/news/neft/skolko-nefti-v-nedrah-belarusi2>. – Дата доступа: 20.09.2022.

УДК 553.98

**ОСОБЕННОСТИ ФАЦИАЛЬНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ
НЕФТЕПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕЖСОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
ЮЖНОЙ СТРУКТУРНОЙ ЗОНЫ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА**

В. В. Даниленко

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Приведены основные результаты комплексных литолого-фациальных исследований нефтеперспективных межсолевых отложений Южной структурной зоны Припятского прогиба, а именно: новые данные о генезисе отложений, особенностях минерального состава и изменчивости фильтрационно-емкостных свойств пород.

Ключевые слова: Припятский прогиб, Южная структурная зона, литология, фации, керн.

**PROPERTIES OF FACIAL VARIABILITY OF OIL PROSPECTIVE
INTERSALT SEDIMENTS OF THE SOUTHERN STRUCTURAL
ZONE PRIPYAT DEPRESSION**

V. V. Danilenko

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

The article presents the main results of complex lithofacies studies of oil prospective intersalt deposits of the Southern structural zone of the Pripyat depression, namely, new data on the genesis of sediments, Properties of the mineral composition and the variability of the reservoir properties of rocks.

Keywords: Pripyat depression, Southern structural zone, lithology, facies, core.

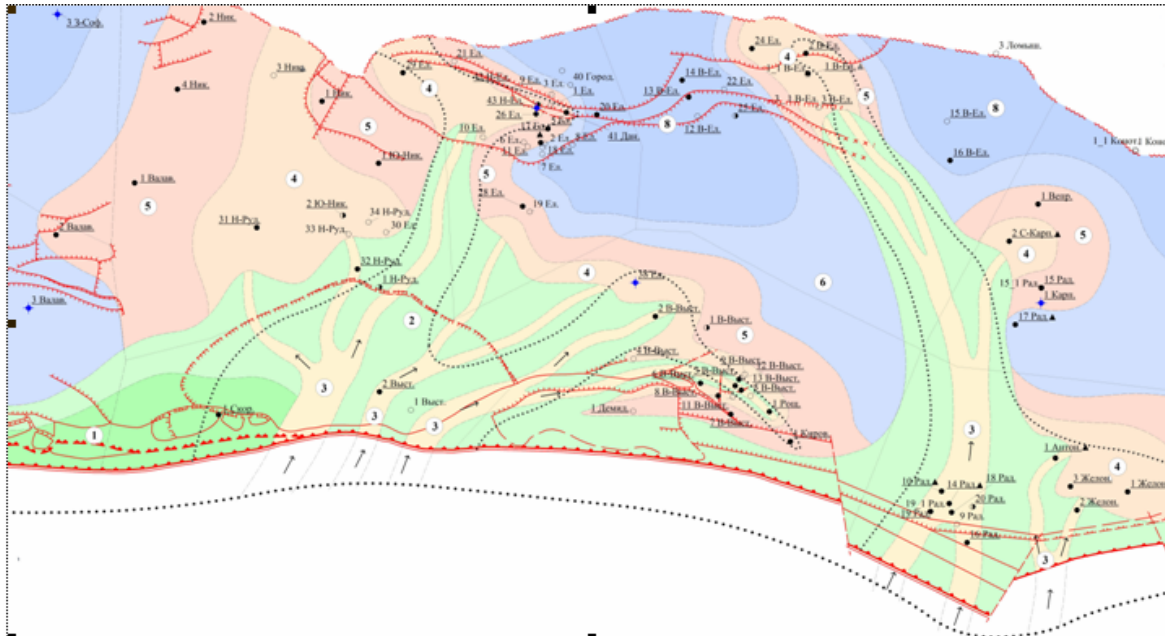
За более чем 50-летнюю историю промышленной эксплуатации Припятского прогиба по состоянию на 01.01.2022 г. в Республике Беларусь открыто 93 месторождений углеводородного сырья. Практически все выявленные месторождения и генетически связанные с ними залежи приурочены к Северной и Центральной структурно-тектоническим зонам Припятского прогиба. В пределах Южной зоны известно лишь одно месторождение, открытое в межсолевых (дроздовских) отложениях, – Новое-Ельское. Основная причина низкой успешности поисковых работ в данном регионе связана со сложным геологическим строением продуктивных толщ.

Особый практический интерес к межсолевому объекту в пределах Южной зоны Припятского прогиба с позиции литолого-фациальных исследований связан с развитием разнообразных зон скоплений терригенного материала и органогенных образований. Такие зоны характеризуются развитием отложений с высокими классами нефтепроявлений по керну, в совокупности образующих формацию, перспективную для поисков углеводородов (УВ).

В качестве наиболее приоритетной модели терригенного седиментогенеза в пределах Южной зоны Припятского прогиба принята седиментационная модель формирования флювиальной дельты типа «птичья лапка» (по Einsele, 2000, с изменениями Е. Ю. Барабошкина [1]).

Основными источниками поступления в Южный бассейн седиментации терригенной составляющей являлся Украинский кристаллический щит на юге и отчасти Микашевичско-Житковичский выступ на северо-западе. Аккумуляция терригенного

материала происходила вследствие активной работы развитых дельтовых комплексов, осложненных карбонатной седиментацией (приведены с запада на восток): Малышевско-Туровский, Валавско-Боровской, Выступовичский, Радомлянско-Желоньский и Стреличевский (рис. 1). На протяжении межсолевого времени данные фациальные комплексы развивались унаследованно.



Условные обозначения:

- 32 Н-Руд. - номер скважины, площадь
- 32 Н-Руд. - скважины с неполным вскрытым разрезом отложений
- 4 Ник. - скважины не вскрывшие отложения
- разломы
- граница зоны отсутствия отложений
- граница района исследований
- предполагаемая граница Туровской центриклинальной депрессии и Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени
- 32 Н-Руд. - скважины с керном
- ◆ 32 Н-Руд. - скважины с фактически изученным керном
- 32 Н-Руд. - скважины без керна
- предполагаемые фациальные границы
- предполагаемая береговая линия
- предполагаемое направление сноса терригенного материала
- предполагаемая граница осаднения грубообломочного материала, установленная по керну

ХАРАКТЕРИСТИКА ФАЦИЙ

- | | | |
|---------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| 1 - переходная дельтовая зона | 4 - проксимальный устьевой бар | 7 - открытое море |
| 2 - подводная дельтовая равнина | 5 - дистальный устьевой бар | 8 - отмель шельфа |
| 3 - дистрибутивное русло | 6 - прodelьта (склон дельты) | |

НЕФТЕПРОЯВЛЕНИЯ ПО КЕРНУ

- ▲ - признаки нефтенасыщенности
- ▲ - битумопроявления
- △ - запал УВ

Рис. 1. Выкопировка участка концептуальной карты литолого-фациального районирования отложений петриковского горизонта. Масштаб 1 : 100 000

На основании комплексного анализа имеющегося фактического материала по пробуренным скважинам (кern, петрографические шлифы, лабораторные исследования), с учетом каротажных данных, в пределах изучаемого района выделяются следующие фациальные зоны (приведены в порядке удаления от береговой линии): подводная часть дельтовой равнины; палеоруслa; устьевые бары (в составе прокси-

мальной и дистальной частей); лагуна; склоновая часть дельты (продельта); открытое море; шельфовая зона.

Согласно представленной концептуальной седиментологической модели (рис. 1), режим осадконакопления в пределах Южной зоны Припятского прогиба в межсолевое время выглядел следующим образом. По развитой системе *руслых каналов* (3), в пределах *подводной части дельты* (2), вглубь палеобассейна выносился терригенный материал. В зоне ближнего развития осаждался наиболее грубозернистый осадок, формируя плохоотсортированные песчаные *баровые образования* (4, 5). С этими фациальными зонами связываются максимальные объемы накопленного песчаного материала. Разрезы развитых здесь отложений имеют большие толщины и зачастую сложно коррелируются между собой (особенно в пределах В-Выступовичской и Радомлянско-Желоньской площадей). Преобладающее положение в разрезе занимают песчаники кварцевые, кварцево-полевошпатовые, неравномерно глинистые, среднекрупнозернистые, гравелитовые (до гравелитов) с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами (присутствуют «мощные» пачки пластов-коллекторов, выделенных по ГИС). Нередко песчаные образования этой фациальной области частично замещаются ангидритовыми и солевыми породами лагунных обстановок седиментогенеза.

Далее в направлении погружения палеобассейна накапливались преимущественно глинисто-карбонатные и глинистые породы *продельтового* (6) и *шельфового* (8) комплексов. В условиях ограниченного поступления песчаного материала здесь формировались карбонатно-глинистые, неравномерно песчано-алевритовые разности – мергели кремнисто-доломитовые, участками биокластовые, известняки кремнистые, слабоглинистые, биокластовые, прослоями строматолитовые (преимущественно Ельский – Ново-Ельский участки). С такими породами нередко связываются высокие классы нефтепроявлений по керну (выпоты нефти, битум), а также прослои с высокими уровнями свечения пород в ультрафиолетовом свете (от среднего до сильного). Как правило, пласты-коллекторы в таких отложениях встречаются редко, имеют ограниченное развитие, но несмотря на это, с ними может связываться определенный практический интерес.

В периоды тектонических подвижек территории в условиях замедленного развития дельтовых систем возникали локальные участки палеоподнятий. В таких областях в кратковременные периоды в зоне мелководья формировались органогенные постройки (типа линзовидных биостромов, банок), сложенные биокластовыми, строматолитовыми известняками и доломитами (вакстоун, флоатстоун-рудстоун и др.) (Липлянская, Дубницкая, Ельская и другие площади). Условия, благоприятные для формирования построек, возникали преимущественно в зоне *открыто-морской фации* (7), но иногда локально проявлялись и в более погруженных обстановках.

Развитые в межсолевых отложениях карбонатные и отчасти песчаные разности часто характеризуются проявлением средней-сильной флуоресценции в ультрафиолетовом свете, указывающей предположительно на возможное нефтенасыщение пород. Нередко подобные признаки подтверждены фактическими нефтепроявлениями в породах преимущественно дроздовско-туровского, реже – вишанско-тремлянско-кузьмичевского возраста (следы и признаки нефти, а также битума).

На основании полученных результатов основные перспективы поиска УВ в нижнефаменских отложениях Южной структурной зоны предположительно связываются с развитием двух основных потенциальных типов пород-коллекторов, генетически связанных с зонами повышенной аккумуляции терригенного материала (дельтовый комплекс фаций) и карбонатонакопления (органогенные постройки):

1) песчаник кварцевый, кварцево-полевошпатовый, неравномерно глинистый, средне-крупнозернистый, гравелитовый (до гравелита), участками пористый;

2) мергель кремнисто-доломитовый, алевроитовый, участками биокластовый, строматолитовый, нередко переходящий в известняк.

Литература

1. Барабошкин, Е. Ю. Практическая седиментология. Терригенные резервуары. Пособие по работе с керном / Е. Ю. Бара-бошкин. – Тверь : ГЕРС, 2011. – 152 с.
2. Обровец, С. М. Терригенный седиментогенез в верхнедевонском бассейне Припятского палеорифта (Беларусь) / С. М. Обровец // Материалы Всерос. конф., Петрозаводск, 12–15 нояб. 2017 г. – Петрозаводск, 2017. – С. 283–286.

УДК 550.8.013

**ОСОБЕННОСТИ ВСКРЫТИЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОВОДКИ
СКВАЖИН ПОДСОЛЕВОГО КОМПЛЕКСА В СЛОЖНЫХ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЗОНОЙ
СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО НЕСОГЛАСИЯ
(НА ПРИМЕРЕ ПРИПЯТСКОГО НГБ)**

А. А. Шарунов, В. С. Рудько, В. Л. Козырева

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Рассмотрена проблематика вскрытия целевых подсолевых отложений в условиях наличия глубоких стратиграфических несогласий в пределах Северной и Центральной структурно-тектонических зон Припятского прогиба.

Ключевые слова: подсолевой комплекс, зона стратиграфического несогласия, соленосная толща, галокинез, месторождение.

**FEATURES OF OPENING IN THE PROCESS
OF DRILLING WELLS OF THE PRESALT COMPLEX IN DIFFICULT
GEOLOGICAL CONDITIONS CAUSED BY THE ZONE
OF STRATIGRAPHIC UNCONFORMITY
(ON THE EXAMPLE OF THE PRIPYAT OGB)**

A. A. Sharunov, V. S. Rudko, V. L. Kozyreva

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

The problem of opening of target supr salt deposits in conditions of deep stratigraphic unconformities within the northern and central structural-tectonic zones of the Pripyat deflection is considered in this article.

Keywords: presalt complex, zone of stratigraphic unconformity, salt-bearing section, halokinesis, oil field.

Припятский прогиб является одним из самых уникальных в мире нефтегазодносных бассейнов. Выделяется в составе сложного Днепровско-Донецкого грабенообразного авлакогена, который разделяется Брагинско-Лоевской седловиной на Припятский и Днепровский прогибы.

В разрезе платформенного чехла присутствуют две (франская и фаменская) мощные соленосные толщи, осложненные галокинезом. Мощность галитовой подтолщи верхнесоленосных отложений в массивах диапироидов (соляных подушек)

составляет обычно 600–800 м, но иногда достигает 1400–1600 м, гораздо меньшая мощность (до 200–400 м) отмечается в смежных синклиналях. Мощность нижнесоленосных отложений изменяется от первых метров до 250–400 м.

В Припятском прогибе в связи с относительно небольшой (до 5–6 км) мощностью осадочного чехла довольно большими объемами сейсморазведки и бурения изучено геологическое строение всех комплексов. В процессе проведения геологоразведочных работ исследована структура межсолевого и подсолевого комплексов и выяснен характер соотношения соляных массивов в франской и фаменской соленосных толщах со структурами, в частности, с разломами межсолевого и подсолевого комплексов, установлены причины и движущие силы галокинеза, изучена история развития соляных структур.

Уникальность геологического строения Припятского прогиба, обусловленная тектоническими особенностями вследствие галокинеза, стала знаковой в скоплении залежей углеводородов, и вызывает большой интерес у геологов-нефтяников в его детальном изучении. В процессе изучения и разбуривания структур межсолевого и подсолевого комплексов уточняется структурный план, и приходит понимание того, что геологическое строение намного сложнее, чем ранее предполагалось. И именно галокинез явился основной причиной нарушения сводовой части подсолевых структур, где глубоким бурением были выявлены зоны, сочетающие сложные конфигурации плоскостей сбрасывателей тектонических нарушений с резкими угловыми и тектоно-стратиграфическими несогласиями, которые ранее связывались с глубинными листрическими разломами.

Этот факт установлен на ряде площадей не только по результатам глубокого бурения, но и по данным сейсморазведки. В Северной структурно-тектонической зоне тектоно-стратиграфическим несогласием осложнено строение Барсуковского, Надвинского, Малодушинского, Ведричского месторождений, в Центральной структурно-тектонической зоне яркими примерами служат Карташовское и Москвичевское месторождения.

Так, например, южная приподнятая часть Малодушинского нефтяного месторождения характеризуется наличием пологого стратиграфического несогласия (среза), образованного вследствие солевого тектогенеза. Наличие тектоно-стратиграфического несогласия подтверждается результатами бурения скважин: 12s2, 42, 42s2, 42s3, 54, 54s2, 34s2, 34s3, 59, 35, 35s2, 31, 57, 55s2, 43, 18 Малодушинские. Из разрезов данных скважин в том или ином объеме выпадают отложения подсолевого комплекса. Наибольшая глубина среза вскрыта скважинами 31, 59, 42s2 в южной части Малодушинского месторождения, где тектоно-стратиграфическим несогласием затронуты отложения саргаевского горизонта (рис. 1).

Данные несогласия (срезы) в большинстве своем приурочены к приподнятым частям блока в той части месторождений, где межсолевые отложения залегают на отметках, близких к подсолевым отложениям, и мощность нижнесоленосной толщи – минимальная.

Особенностью вскрытия подсолевого комплекса в вышеописанных условиях, обусловленных наличием среза, является сложно прогнозируемый вход в целевые отложения ввиду неоднозначной геометрии, а также глубины плоскости стратиграфического несогласия. Так, в разрезах скважин, вскрывающих подсолевые отложения через срез, часто перед входом в целевой блок отмечается наличие нерасчлененной глинисто-сульфатно-карбонатной пачки различной мощности.

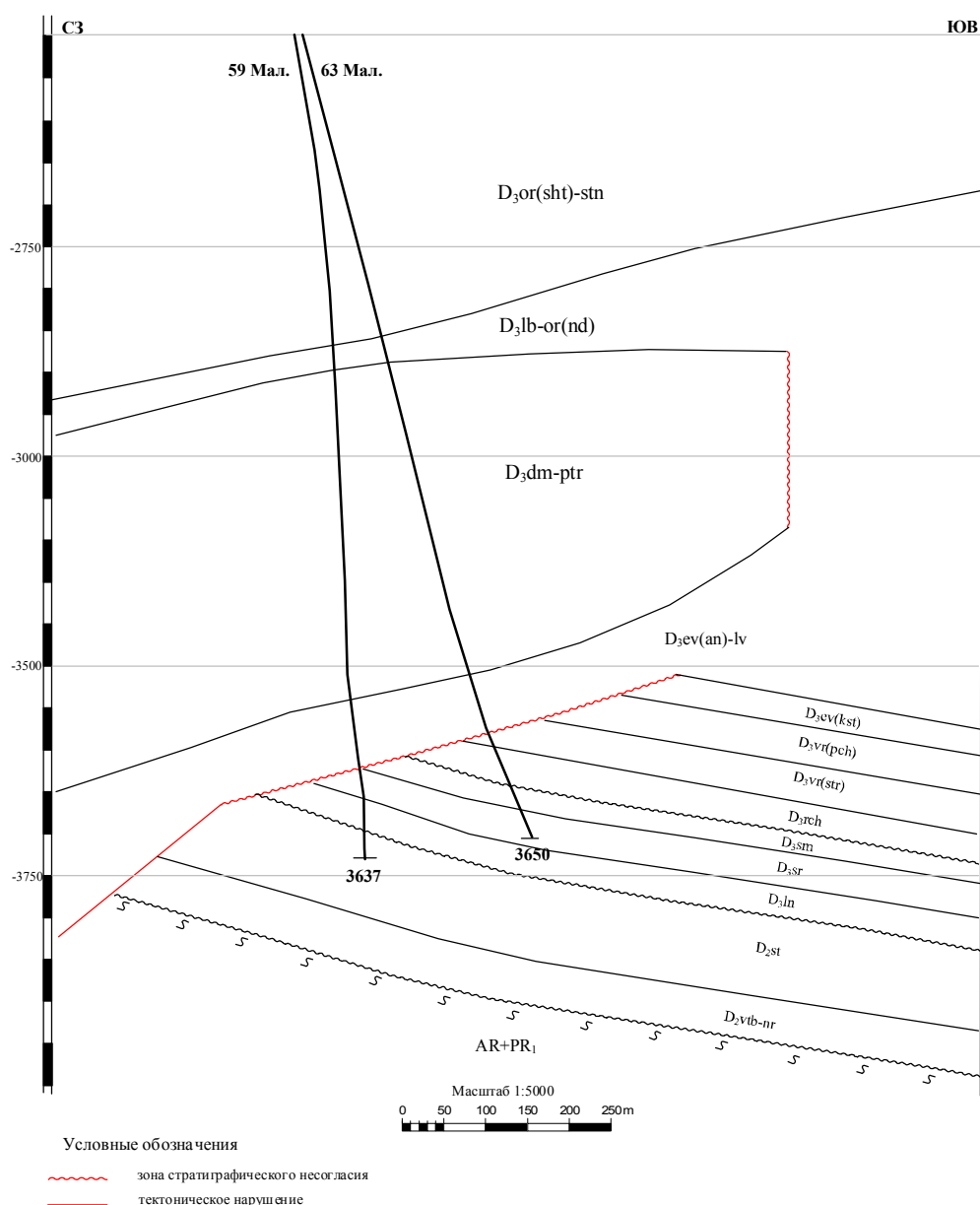


Рис. 1. Геологический разрез через скважины 59–63 Малодушинские

Учитывая стадийность и данные разработки месторождений, де-факто проектный фонд с постановкой глубокого бурения с целью выработки остаточных запасов углеводородов связан в большинстве своем со сводовой частью структур.

Для минимизации рисков осложнений в процессе бурения, связанных с возможным входом в продуктивные интервалы, в разрезе которых пласты-коллекторы прогнозируются с пониженным давлением и т. д. без спуска обсадных колонн на тяжелых буровых растворах рекомендуется проектировать профиль скважин таким образом, чтобы вскрытие пород продуктивного подсолевого комплекса производилось заблаговременно до целевого интервала, в отложениях непродуктивной части подсолевого комплекса. В качестве дополнительных мероприятий по недопущению аварийных ситуаций в процессе проводки скважины стоит выполнять следующий комплекс работ:

- непрерывный геолого-геохимический контроль станцией за 100–150 м до вскрытия продуктивных отложений;
- бурение роторным способом с использованием шарошечного типа для повышения представительности шлама;
- добавление в компоновку низа бурильной колонны (КНБК) гамма-каротажа и телесистемы «Компас»;
- использование прихватобезопасной КНБК;
- бурение пилотных скважин для уточнения плоскости зон тектоно-стратиграфического несогласия;
- проведение исследовательских работ.

Зоны тектоно-стратиграфического несогласия (срезы) довольно сложно прогнозируются и картируются по данным бурения глубоких скважин и материалам сейсморазведки, поэтому необходимо учитывать неоднозначность геологического строения при создании трехмерных структурных геологических моделей, а также проектировании новых скважин.

УДК 550.8

ОШИБКИ КОММУТАЦИИ КАНАЛОВ В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ. К ЧЕМУ ПРИВОДЯТ? КАК ИСПРАВИТЬ?

Ю. А. Чебурахин

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение» Белоруснефть,
г. Гомель*

Посвящен теме выявления и исправления ошибок, возникающих при проведении полевых сейсморазведочных работ. Приведены примеры ошибок, их влияние на конечный результат обработки сейсмических данных, описана методика выявления и исправления этих ошибок.

Ключевые слова: коммутация, контроль качества геометрии, обработка.

CHANNEL SWITCHING ERRORS IN SEISMIC EXPLORATION. WHAT ARE THE CONSEQUENCES? HOW TO FIX IT?

U. A. Chaburakhin

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

The report is devoted to the topic of identifying and correcting errors that occur during field seismic surveys. The article provides examples of errors, their impact on the final result of seismic data processing, describes the methodology for identifying and correcting these errors.

Keywords: commutation, geometry quality control, processing.

Коммутация каналов (геометрия) – это правило подключения пунктов приема (ПП) для каждого пункта возбуждения (ПВ).

Для камеральных работ в сейсморазведке принципиально важно, чтобы описание каналов, полученное при полевой регистрации, соответствовало действительному их положению. В любом случае перед началом обработки осуществляется визуальный контроль описания данных (контроль геометрии) (рис. 1).

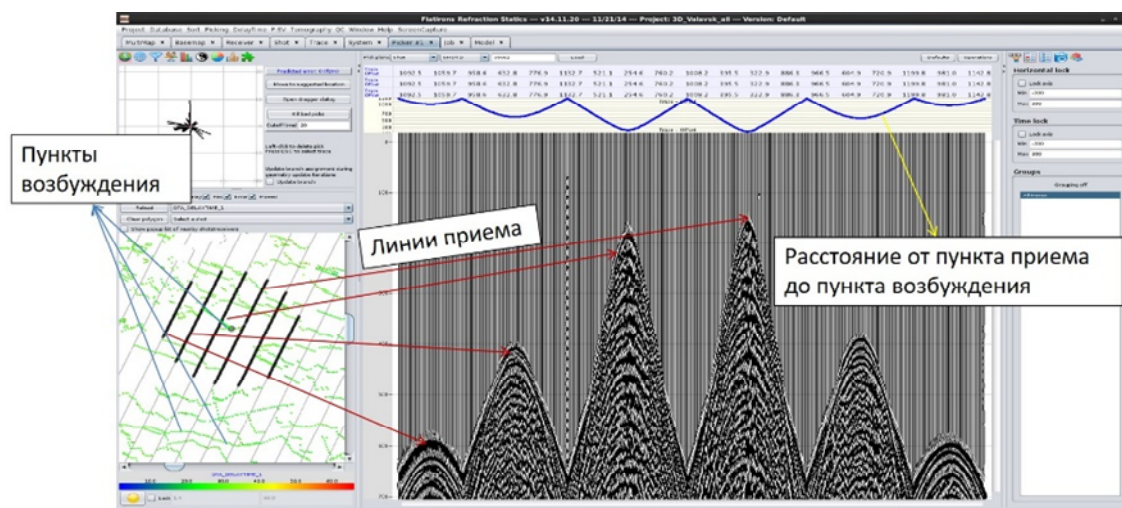


Рис. 1. Сейсмограмма общего пункта возбуждения

При проведении контроля качества геометрии сейсмического материала довольно часто встречаются ошибки. В ряде случаев это происходит из-за человеческой невнимательности при работе с большим объемом данных. Также нередко случаются сбои регистрирующей аппаратуры.

Многие обработчики считают, что ошибки коммутации не приносят существенного влияния в конечный результат обработки, особенно при высокой кратности съемки.

Показательным примером влияния ошибок геометрии является представленная ниже площадь. Без устранения данных ошибок невозможно получить разрез с хорошо прослеживаемыми горизонтами, какие бы процедуры обработки не применялись (рис. 2).

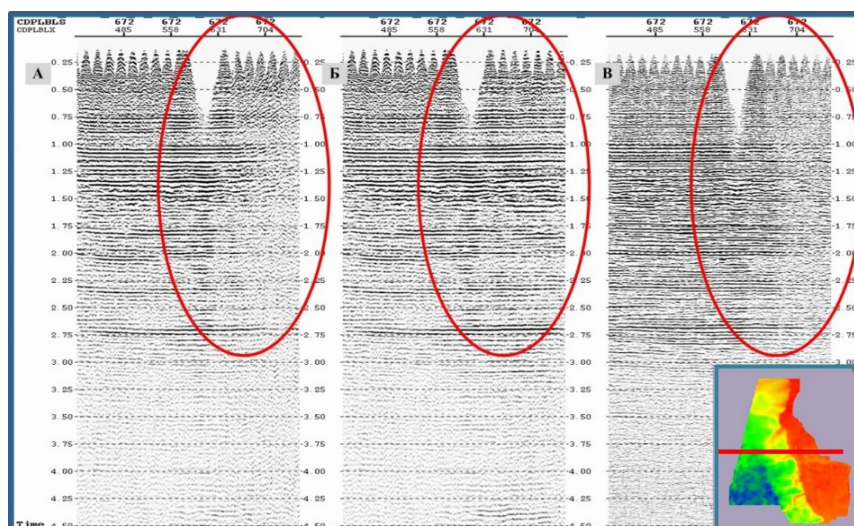


Рис. 2. Коррекция геометрии:
 а – суммарный разрез, полученный с исходной коммутацией;
 б – суммарный разрез, полученный с исправленной коммутацией;
 в – суммарный разрез предыдущего варианта обработки компанией X

Секция 6. Геология и разработка нефтяных и газовых месторождений 171

Объем ошибок на площади может быть весьма существенным. Теоретически трассы с ошибочной геометрией можно удалить из обработки и устранить их влияние на результат, но в таком случае теряется некоторое количество данных.

На представленной ниже площади ошибки геометрии носили массовый характер (рис. 3). Самым сложным было их выявление (ошибки были небольшими).

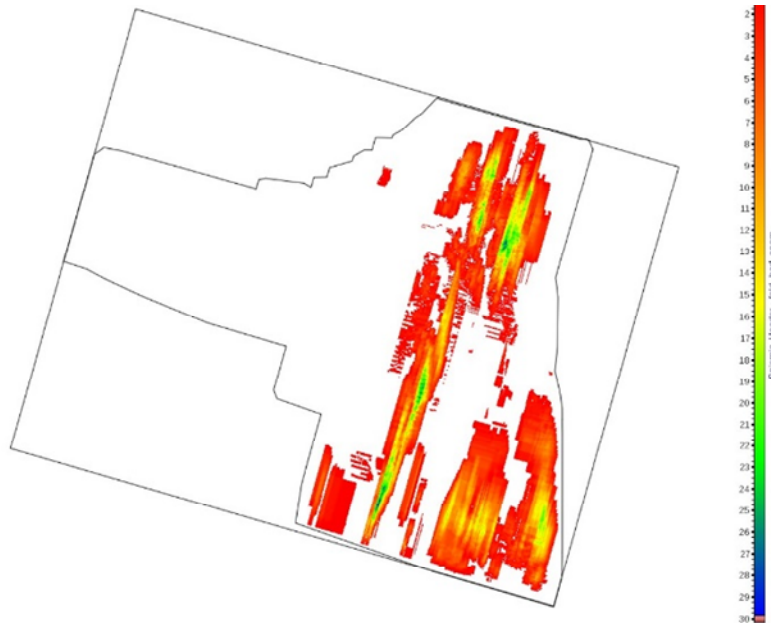


Рис. 3. Карта кратности трасс с ошибкой геометрии

В центр обработки сейсмический материал поступает в виде сейсмограмм в формате SEG-D и текстовых таблиц с описанием этих сейсмограмм. После загрузки материала в программный комплекс для обработки, в первую очередь, необходимо провести проверку геометрии (коммутации каналов) (рис. 4).

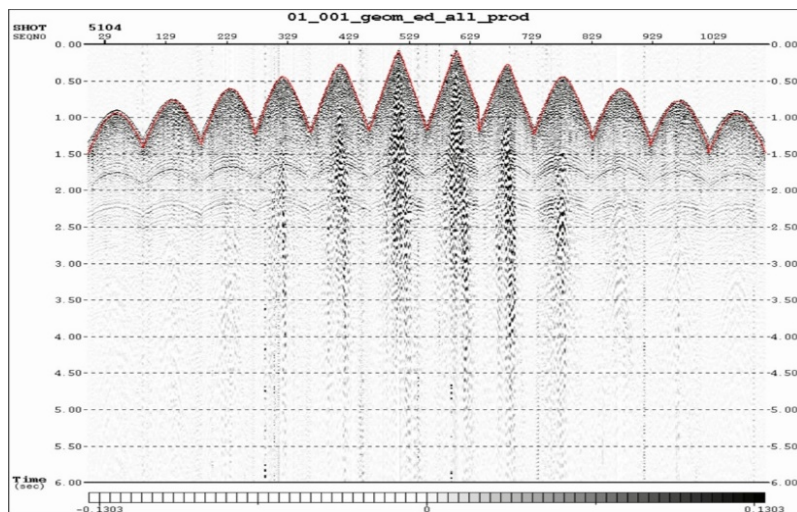


Рис. 4. Пример корректной геометрии

Задача, на первый взгляд, тривиальная. Но если учесть, что современные съемки проектируют по несколько десятков тысяч ПВ, а в каждом ПВ по 7–8 тыс. каналов, то задача становится не такой простой.

Красной линией (рис. 5) показано, где должны быть первые вступления, исходя из табличных данных (геометрии). В случае грубых ошибок это визуально можно обнаружить.

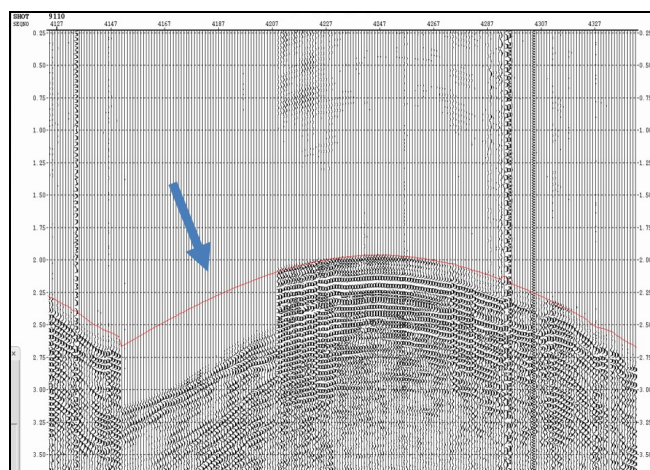
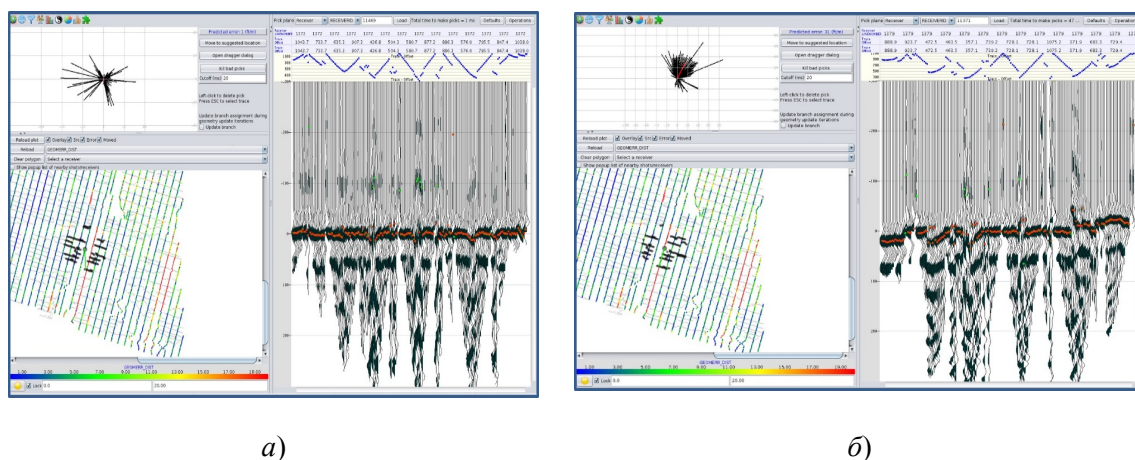


Рис. 5. Пример некорректной геометрии

Визуальный контроль геометрии – процесс долгий, монотонный и трудоемкий. В среднем на это тратится от 3 до 7 рабочих дней.

Еще один способ контроля – это программы для расчета рефракторной статики: Flatirons, SeismicStudio. Преломленная волна от первого отражающего горизонта (первые вступления) имеет постоянную скорость по всей площади. Если ввести скоростную поправку в данные, то мы увидим, что первые вступления становятся в «горизонтальную линию». Это свидетельствует о корректности геометрии в данных (рис. 6, а). Если геометрия неверная, то первые вступления будут под наклоном или выглядеть ступенькой (рис. 6, б). Данный способ облегчает визуальный контроль, но не в полной мере.



а)

б)

Рис. 6. Пример пункта приема (введена линейная кинематическая поправка):

а – с корректным описанием геометрии; б – с некорректным описанием геометрии

Исправление выявленных ошибок – это процесс, зачастую еще более долгий и трудоемкий, чем поиск этих ошибок.

В центре сейсморазведочных работ БелНИПИнефть ведущими специалистами был разработан алгоритм автоматического поиска и исправления ошибок коммутации, возникающих при полевых работах и в файлах описания геометрии (XPS). Благодаря автоматизации процесса проверки огромных массивов данных, возможно оперативно оценить материал на наличие критических для обработки ошибок и при необходимости внести исправления, что существенно экономит рабочее время (от 5 до 10 дней).

В заголовке данных формата SEGД (182-й бит) находится информация об уникальном номере прибора регистрации (FDU или DSU). При вводе сейсмограмм во внутренний формат комплекса обработки данный заголовок сохраняется. После присвоения геометрии мы имеем весь набор данных для анализа: заголовки shot, chan, rec-line, rec-station, unit_number.

Суть алгоритма заключается в сравнении номера ГПП (unit number) с соседними ГПП в линии приема. Если номер прибора совпадает с соседним прибором, то это может указывать на ошибку коммутации. Далее данные анализируются и исправляются.

Данный алгоритм внедрен в производство и опробован на нескольких проектах, как внутренних, так и зарубежных.

В заключение отметим, что ошибки геометрии всегда влияют на результат обработки, а при большом количестве таких ошибок их влияние – критическое; алгоритм проверки массивов данных на наличие ошибок позволяет оценить качество геометрии полевого материала и принять аргументированное решение о необходимости и способе устранения этих ошибок; внедрение данного алгоритма в систему контроля качества геометрии данных регистрации позволяет сократить производственные издержки в полевых и камеральных работах.

УДК 550.3:001.5(476)

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО КАРОТАЖА В УСЛОВИЯХ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

В. Н. Чаркина

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Геофизические методы исследования скважин, базирующиеся на современных физических методах исследования горных пород, используются для изучения геологического строения недр по скважинным разрезам, выявления и оценки запасов углеводородного сырья, использования промыслово-геофизической информации при проектировании, контроле и анализе, разработке месторождений нефти и газа и технического состояния скважин. Целью работы является сопоставление результатов стандартного комплекса геофизических исследований скважин и результатов, полученных при интерпретации ядерно-магнитного каротажа для получения максимально возможного объема полезной информации.

Ключевые слова: каротаж, пористость, глинистость, насыщение, магнит.

EXPERIENCE OF USING NUCLEAR MAGNETIC LOGGING (NMR) UNDER THE CONDITIONS OF PRIPYAT TROUGH

V. N. Charkina

BelNIPIneft RUE "Production Association "Belorusneft", Gomel

Geophysical methods of well research based on modern physical methods of rock research are used to study the geological structure of the subsoil by well sections, identify and assess hydrocarbon reserves, use field geophysical information in the design, control and analysis, development of oil and gas fields and the technical condition of wells. The purpose of the work is to compare the results of the standard logging complex and the results obtained during the interpretation of nuclear magnetic logging to obtain the maximum possible amount of useful information.

Keywords: logging, porosity, clay content, saturation, magnet.

Метод ядерно-магнитного каротажа (ЯМК) основан на явлении ядерно-магнитного резонанса (ЯМР), которое, в свою очередь, основано на измерении сигнала свободной прецессии, реакции ядер водорода порового флюида на действие магнитных полей.

При ядерно-магнитном каротаже в сильном поле магнита изучается затухание намагниченности флюидов в порах горной породы при передвижении прибора по стволу скважины. Приборы, работающие по методу ЯМК, устроены по общему принципу. Их главными частями являются сильные постоянные магниты и импульсные генераторы.

Внешнее магнитное поле может быть обеспечено магнитными силами нашей планеты (модификация ЯМК в поле Земли), либо создаваться при помощи сильного магнита в составе скважинного прибора (модификация ЯМК в сильном поле) (рис. 1).

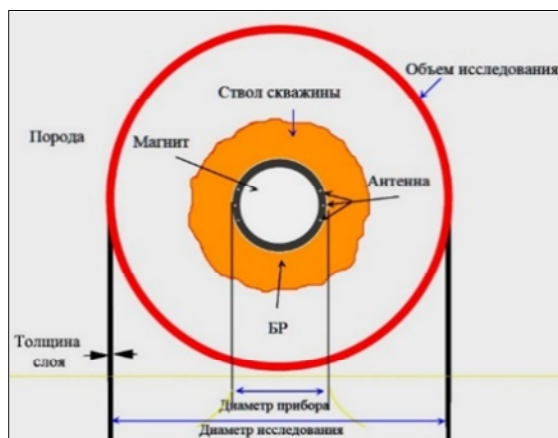


Рис. 1. Схема модификации ядерно-магнитного каротажа в сильном поле

Основными задачами ЯМК является:

- определение емкости пород;
- определение коэффициента общей пористости;
- определение коэффициента эффективной пористости;
- определение коэффициента пористости капиллярно-связанного флюида;
- определение коэффициента микропористости глин;
- определение структуры порового пространства;
- распределение пор по размерам;

- раздельная количественная оценка поровой и каверновой составляющих;
- определение остаточного флюидонасыщения;
- определение коэффициента остаточной водонасыщенности;
- определение коэффициента остаточной нефтегазонасыщенности [1].

По интерпретации ЯМК получают пористость общую, эффективную, капиллярно-связанную и микропористость глин.

Коэффициент эффективной пористости по ЯМК – отношение объема крупных пор (занятых потенциально способным к движению флюидом) к объему породы. В состав эффективной пористости входит и каверновая пористость.

Коэффициент пористости капиллярно-связанного флюида – отношение суммарного объема пор, заполненных капиллярно-связанным флюидом, к объему породы.

Коэффициент микропористости глин – отношение объема микропор к объему породы. В основном характеризует пористость, формируемую тонкодисперсной пелитовой фракцией (гидролюда, смектиты). Пористость глин характеризует содержание в породе пор глин, которые формируются тонкодисперсной фракцией. Поры каолинита (имеющих относительно крупные размеры частиц), а также поры глинистых агрегатов могут фиксироваться в составе капиллярно-связанной пористости. Наличие «мертвого времени» может не позволить полностью зафиксировать емкость наиболее тонких пор набухающих пакетов (смектиты, минералы группы монтмориллонита). Поэтому величина пористости глин может характеризовать лишь часть емкости, занимаемой глинистым материалом, в основном его тонкодисперсной фракции.

Коэффициент общей пористости по ЯМК – отношение объема пор к объему породы.

Для разбивания пористости на эффективную, капиллярно-связанную и микропористость глин применяются граничные значения. Типовые граничные значения для выделенных компонент пористости приведены в таблице [2].

Принятые интервалы T_2 для определения компонент пористости

Компоненты пористости (типовые мнемоники)	Интервал T_2 , мс
Пористость глин $K_{п. \text{глин}}$ (МСВW)	$T_{2\text{min}}-3$
Пористость, занятая капиллярно-связанным флюидом $K_{п. \text{кап-св}}$ (МВVI)	3–110 карб 3–33 терр
Эффективная пористость $K_{п. \text{эф}}$ (MFFI)	110– $T_{2\text{max}}$ карб 33– $T_{2\text{max}}$ терр
Общая пористость по ЯМК $K_{п}$ (MPHS)	$T_{2\text{min}}-T_{2\text{max}}$

По результатам сопоставления пористостей пористость по ЯМК ниже пористости, полученной по данным стандартного каротажа в глинистых разностях, – прибор не регистрирует экстремально низкие времена от глин.

В целом можно говорить о том, что полученная пористость по ЯМК совпадает с результатами лабораторных исследований на керне.

В данном случае метод ЯМК дает представление о распределении пор по размерам и способствует разделению на капиллярно-связанную пористость и поры крупного размера.

Высокое (повышенное) содержание капиллярно-связанной воды обычно характерно для неколлекторов (пример vt(pch)) или отложения 1–3 пачек Речицкой площади, однако это не означает, что данные породы являются неперспективными. Для формирования окончательных выводов необходимо оценить УВ потенциал данных

отложений, так как извлечение нефти возможно с помощью современных технологий (МГРП).

Преимущества:

- определение пористости, не зависящей от литологии матрицы;
- определение суммарного объема связанной воды и свободных флюидов (флюидальная модель породы);
- распределение пор по размерам и количественная оценка поровой и каверновой составляющих емкостного пространства отдельно;
- проницаемость, рассчитанная по данным индекса свободных флюидов и суммарного объема связанной воды;
- в коллекторах с аномальной радиоактивностью ЯМК эффективнее в определении пористости в сравнении с комплексом методов (АК, ННКт, СГК).

Недостатки:

- не отражает реальную пористость в глинах;
- не идентифицирует интервалы с развитой трещиноватой составляющей в отличие от волнового акустического каротажа;
- при расчете проницаемости учитывается только поровая и (или) порово-каверновая составляющие емкостного пространства, наличие трещин не учитывается.

Таким образом, по результатам проведенных работ в скважинах Припятского прогиба метод показал высокую эффективность и позволил получить дополнительную информацию о свойствах пород и флюидов, насыщающих эти породы. Полученные результаты дали возможность улучшить свое представление о коллекторах Припятского прогиба, их свойствах, распределении свободных и связанных флюидов в них. Эта информация позволяет с новой стороны взглянуть на петрофизическую модель пород-коллекторов, уточнить ее, тем самым повысить достоверность определения подсчетных параметров по данным ГИС.

Литература

1. Мартынова, В. Г. Геофизические исследования скважин: справочник мастера по промышленной геофизике / под общ. ред. В. Г. Мартынова, Н. Е. Лазуткиной, М. С. Хохловой. – М. : Инфра-инженерия, 2009. – 960 с.
2. Проведение ядерно-магнитного каротажа : отчет (заключ.) / ЯМК ООО «Нефтегаз-геофизика».

УДК 550.382.3

**ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
МИКРОСКАНЕРА КарСар МС-В И КРОСС-ДИПОЛЬНОГО
АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА ПРИ КОНТРОЛЕ РАЗРАБОТКИ
РЕЧИЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ СКВАЖИНЫ № 601)**

В. Ю. Златина, В. Э. Санько, И. С. Шепелева

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

А. В. Сошенко

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Рассмотрена технология проведения исследований электрического микросканера КарСар МС-В и кросс-дипольного акустического каротажа и используемая аппаратура при контроле разработки Речицкого месторождения. Раскрыты решаемые с помощью

данного метода задачи и получаемые характеристики, проведен анализ интерпретации данных, выявлены преимущества и недостатки данного метода.

Ключевые слова: микросканер, кросс-дипольный акустический каротаж, геофизические исследования скважин, аппаратура.

**INTERPRETATION OF THE DATA OF THE ELECTRICAL
MICROSCANNER KarSar MS-V AMD CROSS-DIPOLE ACOUSTIC
LOGGING IN THE CONTROL OF THE DEVELOPMENT OF THE
RECHITSKY FIELD (USING THE EXAMPLE OF WELL N 601)**

V. U. Zlatsina, V. E. Sanko, I. S. Shepeleva

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

A. V. Soshenko

BelNIPIneft RUE "Production Association "Belorusneft", Gomel

The article considers the research technology of the electrical microscanner KarSar MS-V and cross-dipole acoustic logging and the equipment used. The tasks solved with the help of this method and the obtained characteristics are disclosed, the analysis of data interpretation is carried out, the advantages and disadvantages of this method are revealed.

Keywords: electrical microscanner, cross-dipole acoustic logging, well logging, equipment.

В настоящее время при проведении нефтепромысловых работ все больше внимания уделяется исследованию анизотропии горных пород, их динамических механических свойств, характера и направления трещиноватости, а также определению направления максимальных и минимальных напряжений. Это обусловлено тем, что комплекс таких данных является одним из важнейших этапов на различных стадиях разработки месторождения. С 2020 г. БеНИПИнефть «Производственное объединение РУП «Белоруснефть» начал активно проводить геофизические исследования в открытом стволе скважин специальной высокотехнологичной геофизической аппаратурой, расширяя тем самым комплекс стандартного каротажа сканирующими методами ГИС.

Существуют различные методы исследования скважин и технических средств для их осуществления. Среди них – электрический микросканер КарСар MS-V и кросс-дипольный акустический каротаж на сегодняшний день являются одним из наиболее высокотехнологичных и информативных методов оценки трещиноватости пород, а также определения свойств акустических волн.

Цель работы – рассмотреть технологию проведения исследований с помощью методов электрического микросканера и кросс-дипольного акустического каротажа в нефтяных скважинах Речицкого месторождения.

Методы электрического микросканера и кросс-дипольного акустического каротажа применяются для получения достоверной информации о характеристике пластов в скважинном пространстве и структуре горных пород, слагающих пласт, а именно: определение структурных углов; ориентация системы трещин; определение направлений палеотечений; калибровка керна, изображений, привязка и ориентация керна; анализ тонких пластов, оценка кавернозности, включений и идентификация наслоений; обнаружение на имиджах вывалов стенок скважины и техногенных трещин, определение направления максимального и минимального горизонтальных напряжений.

Данные электрического микросканера могут быть использованы для определения:

- обстановки осадконакопления;
- тектонических условий формирования горных пород;
- их структурных и текстурных особенностей;
- стратиграфической корреляции;
- уточнения геомеханической модели среды;
- в качестве дополнения к данным, получаемым в результате исследования керна.

Электрический микросканер позволяет регистрировать удельное электрическое сопротивление в диапазоне 0,2–5000 Ом · м, изменения сопротивления пласта с вертикальным и горизонтальным разрешением 5 мм.

Кривые удельного электрического сопротивления горных пород, зарегистрированные в прискважинной зоне, обрабатываются и представляются в виде цветового образа – имиджа.

Для компенсации за пространственную ориентацию прибора и ствола скважины используются 3 магнитометра и 3 акселерометра, расположенных вдоль взаимно перпендикулярных осей X , Y , Z прибора.

Прибор кросс-дипольного акустического каротажа представляет собой акустический зонд, включающий в себя три источника акустических волн (один монополярный и два направленных дипольных, расположенных в ортогональных плоскостях) и 32 направленных приемника, которые расположены соосно с дипольными источниками. Он предназначен для одновременной регистрации продольных и поперечных волн в открытом или закрытом стволе скважин. Прибор измеряет время пробега продольной (DTP) и поперечной (DTS) волн с записью 96 волновых картин в память прибора, с привязкой волновых картин к апсидальной плоскости скважины.

Существует два основных типа имиджей, используемых в ЭМС, – статический и динамический:

- графическое отображение результатов регистрации в виде цветовой развертки сопротивлений на внутренней поверхности скважины во всем интервале исследований называется статическим имиджем. Статический имидж характеризует крупномасштабные изменения электрических свойств горных пород, например, крупные лито-стратиграфические и тектонические элементы разреза;

- в результате цветовой нормализации в скользящем окне, ширину которого определяет интерпретатор (обычно 1 м), учитывающей различные уровни сопротивлений горных пород, получается динамический имидж. Динамический имидж характеризует более детально пласты в зонах с очень высоким или низким сопротивлением, дифференцирует особенности структуры и текстуры горных пород.

С технической точки зрения эффективность использования микросканера и кросс-дипольного акустического каротажа можно обосновать следующим образом: использование данных приборов в комплексном подходе к моделированию ГРП увеличивает среднюю начальную продуктивность скважин по жидкости на 10 %. Экономический эффект при использовании микросканера и кросс-дипольного акустического каротажа по скважине № 601 Речицкого месторождения нефти, составил около 40000 руб. чистой прибыли.

В результате анализа и технико-экономической оценки электрического микросканера и кросс-дипольного акустического каротажа можно сделать вывод об эффективности применения данной аппаратуры в процессе разработки.

Литература

1. Абдуллин, Р. Н. Пример практического применения информации о трещиноватости по данным комплекса ГИС и высокотехнологических методов / Р. Н. Абдуллин, А. Р. Рахматуллина // Георесурсы. – 2018. – Т. 20, № 3. – С. 261–266.
2. Симоненко, Е. П. Возможности методов ГИС для изучения трещиноватости / Е. П. Симоненко, С. С. Долгирев, Ю. В. Кириченко // Георесурсы. – 2018. – Т. 20, № 3. – С. 267–273.
3. Использование метода электрического микросканирования для привязки полноразмерного керна / Е. С. Зрячих [и др.] // Вестн. Перм. ун-та. Геология. – 2018. – Т. 17, № 1. – С. 33–40.
4. Шумилов, А. В. Обработка данных кросс-дипольного акустического каротажа в программном комплексе СОНАТА / А. В. Шумилов, С. В. Белов, И. В. Ташкинов // Каротажник. – 2014. – Вып. 10 (244). – С. 114–126.

УДК 552.543

**ВТОРИЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД
НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ
НА КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА ПРОДУКТИВНЫХ
ГОРИЗОНТОВ**

А. Д. Порошина, О. В. Постникова

*Российский государственный университет нефти и газа
имени И. М. Губкина, г. Москва*

Освоение выявленных запасов углеводородов в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы осложнено литологической неоднородностью продуктивных пластов, которая определяется литофациальной изменчивостью отложений и их интенсивной преобразованностью вторичными процессами. В результате исследований было проведено расчленение разреза с последующим выделением продуктивных горизонтов и литотипов с улучшенными коллекторскими свойствами. Рассмотрено влияние основных вторичных процессов на фильтрационно-емкостные свойства пород.

Ключевые слова: Непско-Ботуобинская антеклиза, венд-нижний кембрий, карбонатные отложения, вторичные процессы, литотипы.

**SECONDARY ALTERATIONS OF PRODUCTIVE CARBONATE
ROCKS OF THE NEPSKO-BOTUOBINSKAYA ANTECLISE
AND ITS INFLUENCES ON RESERVOIR PROPERTIES OF ROCKS**

A. D. Poroshina, O. V. Postnikova

Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow

The development of the identified hydrocarbon reserves within the Nepsko-Botuobinskaya antecline is complicated by the lithological heterogeneity of productive layers, which is determined by the lithofacial variability of sediments and its intensive transformation by secondary processes. As a result of the research, subdivision of geological profile was carried out and productive horizons and lithotypes with better reservoir properties were determined. The influence of the main secondary processes on the filtration-capacitance properties of rocks was considered.

Keywords: Nepsko-Botuobinskaya antecline, Vendian-Lower Cambrian, carbonate deposits, secondary processes, lithotypes.

Объектом исследования являлся венд-кембрийский разрез скважины, расположенной на северо-восточном склоне Непского свода Непско-Ботуобинской антеклизы.

зы. Скважина вскрыла ербогаченский, преображенский, усть-кутский и осинский нефтегазоносные горизонты. Они имеют преимущественно доломитовый состав. При более детальном исследовании пород продуктивных горизонтов скважины было выделено девять литотипов: доломиты разнокристаллические, доломиты разнокристаллические с реликтовой цианобактериальной структурой, доломиты микрокристаллические, доломиты интракластовые, доломиты микро-тоннокристаллические горизонтально-слоистые, доломиты мелкокристаллические, доломиты комковато-сгустковые, доломиты строматолитовые, ангидрито-доломиты.

Проведенные исследования, а также проработка литературных источников [1–3] позволили установить, что на коллекторские свойства литотипов пород всех горизонтов в различной степени повлияли постседиментационные процессы (рис. 1). Выщелачивание, доломитизация и в меньшей степени – перекристаллизация положительно влияли на фильтрационно-емкостные свойства пород рассмотренных горизонтов. Данные процессы протекали практически во всех литотипах разреза. Однако наиболее интенсивно они проявились в доломитах разнокристаллических и доломитах разнокристаллических с реликтовой цианобактериальной структурой.

Влияние процессов трещинообразования и стилолитизации на коллекторские свойства пород не всегда однозначное. Эти процессы почти не повлияли на пористость пород, однако заметно сказались на повышении их проницаемости. Стилолитовые швы и трещины являлись путями миграции флюидов, в том числе и агрессивных к карбонатам вод, что в отдельных случаях приводило к формированию каверн и улучшению коллекторских свойств.

Негативно на коллекторские свойства повлияли процессы аутигенного минералообразования: кальцитизация, доломитообразование, окремнение, сульфатизация и галитизация. Наибольшее влияние данные процессы оказали в ербогаченском и преображенском горизонтах, практически уничтожив первично хорошие фильтрационно-емкостные свойства.

Для выявления влияния вторичных процессов на фильтрационно-емкостные свойства литофаций было проведено визуальное исследование керн и шлифов, а также были использованы результаты обработки промыслово-геофизических и петрофизических данных.

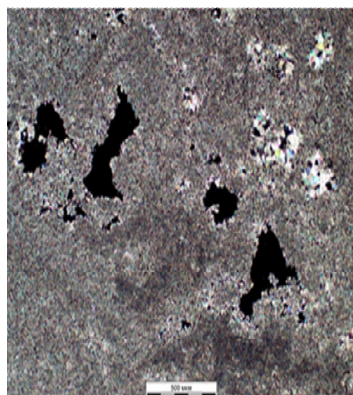
Установлено, что в ербогаченском горизонте породы имеют низкие коллекторские свойства, среди которых наилучшими показателями характеризуются доломиты разнокристаллические с реликтовой цианобактериальной структурой и доломиты разнокристаллические, в среднем их пористость составляет 4–4,3 %.

Фильтрационно-емкостные свойства пород преображенского горизонта также достаточно низкие. Пористость пород-коллекторов изменяется от 3,7 до 6,6 %, а проницаемость – от 0,6 до 4 мД. Наилучшими показателями в этом горизонте характеризуются ангидрито-доломиты, повышенная проницаемость которых, вероятно, обусловлена трещиноватостью.

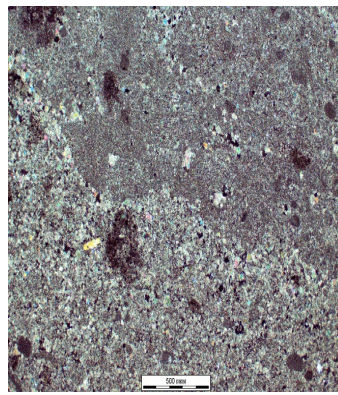
В усть-кутском горизонте породы нижнего пласта обладают средними коллекторскими характеристиками. Наилучшие фильтрационно-емкостные свойства имеют доломиты разнокристаллические с реликтовой цианобактериальной структурой и доломиты разнокристаллические. Их пористость составляет 4,5–7,1 %, а проницаемость – от 4 до 19 мД.

Верхний усть-кутский пласт характеризуется более низкими коллекторскими свойствами по сравнению с нижним пластом, что, вероятно, связано с его более интенсивным засолением. При этом наилучшими фильтрационно-емкостными свойствами здесь характеризуются доломиты строматолитовые. Пористость этих пород

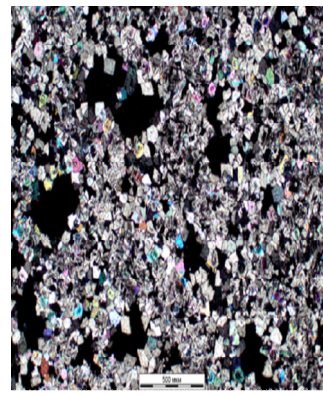
составляет 2,9 %, а проницаемость достигает 23 мД. Пористость остальных литотипов не превышает 2,3 %, а проницаемость – 91 мД.



Выщелачивание



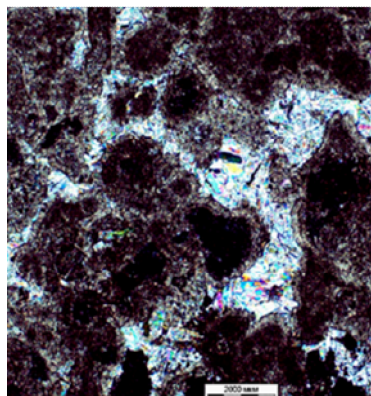
Перекристаллизация



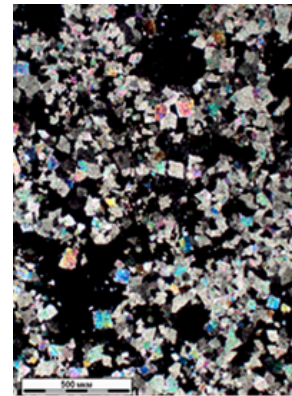
Доломитизация



Галитизация



Сульфатизация



Доломитообразование

Рис. 1. Наиболее часто встречаемые вторичные процессы

В осинском горизонте породы зачастую обладают высокими коллекторскими свойствами. Наилучшими показателями являются доломиты с реликтовой цианобактериальной структурой и разнокристаллические доломиты. Пористость этих пород в среднем составляет 9,5–10,7 %. Проницаемость пород изменяется от 8,3 до 24 мД.

Таким образом, проведенный анализ позволил установить, что в целом коллекторские свойства пород ербогаченского и преображенского горизонтов очень низкие, что связано с интенсивным протеканием процессов аутигенного минералообразования, прежде всего, кальцитизации и сульфатизации, которые уничтожили первичные коллекторские свойства пород.

В усть-кутском и осинском горизонтах первичные коллекторские свойства были гораздо выше, а вторичная минерализация пустотного пространства протекала не так активно, что способствовало сохранению определенной доли пустотного пространства.

В целом во всех горизонтах наилучшими значениями пористости и проницаемости характеризуются доломиты разнокристаллические и разнокристаллические с реликтовой цианобактериальной структурой. Их первично хорошая пористость спо-

способствовала активному проявлению постседиментационных процессов: выщелачиванию, перекристаллизации и доломитизации, при этом их седиментационная и диagenетическая пористость увеличивалась. Полезная емкость данных литотипов обусловлена межкристаллическими, остаточными порами и пустотами выщелачивания, а высокая проницаемость часто связана с более низкопористыми, но хрупкими породами, для которых характерно широкое распространение трещиноватости. Следует отметить, что и в данных литотипах пород активно проявились вторичные процессы сульфатизации и засоления, что местами заметно снизило первично высокие значения их пористости и проницаемости.

В целом изучение вторичных процессов проводилось для установления закономерностей и особенностей распространения пород с повышенными емкостными и фильтрационными свойствами, с которыми может быть непосредственно связан определенный нефтегазопромысловый и нефтепромысловый интерес. Результаты данных исследований могут быть использованы для более эффективного освоения нефтегазовых запасов и ресурсов северо-восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы.

Литература

1. Китаева, И. А. Типы и генезис фильтрационно-емкостного пространства пород-коллекторов нижнекембрийских карбонатных отложений юго-западного склона Непско-Ботуобинской антеклизы : дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.06 / И. А. Китаева. – М., 2020. – 179 с.
2. Лемешко, М. Н. Литолого-геохимические критерии локализации карбонатных коллекторов усть-кутского нефтеносного горизонта центральных районов Непско-Ботуобинской антеклизы : дис. ... канд. тех. наук : 25.00.16 / М. Н. Лемешко. – Томск, 2016. – 156 с.
3. Махнач, А. А. Постседиментационные изменения межсолевых девонских отложений Припятского прогиба / А. А. Махнач. – Минск : Наука и техника, 1980. – 198 с.

УДК 552.541

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИТОЛОГИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ КАРБОНАТНЫХ ПРИРОДНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

С. А. Севастьянова

*Российский государственный университет нефти и газа
имени И. М. Губкина, г. Москва*

Территория Тимано-Печорской провинции характеризуется сложным геологическим строением, что влечет за собой необходимость рассматривать природные резервуары как комплексные объекты, разные части которых имеют различные фильтрационно-емкостные характеристики. В результате исследования были установлены закономерности пород-коллекторов задонского горизонта на территории юга Денисовской впадины и сделан прогноз их распространения.

Ключевые слова: Денисовская впадина, задонский горизонт, карбонатная порода, коллектор, природный резервуар, литолого-фациальный анализ, анизотропия проницаемости.

STUDY OF LITHOLOGICAL HETEROGENEITY OF CARBONATE NATURAL RESERVOIRS IN THE TIMAN-PECHORA PROVINCE

S. A. Sevastyanova

Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow

The territory of the Timan-Pechora province is characterized by a difficult geological structure, which entails the need to consider natural reservoirs as complex objects, various parts of which have different reservoir characteristics. As a result of the study, development patterns and a forecast of areal extent were made for the reservoir rocks of the Zadonsky horizon in the south of the Denisovskaya depression.

Keywords: Denisovskaya depression, Zadonsky horizon, carbonate reservoir rock, natural reservoirs, lithofacies analysis, permeability anisotropy.

Объектом исследования являлись верхнедевонские карбонатные отложения, приуроченные к югу Денисовской впадины. Целью проекта было проведение литологического исследования и оценка геологической неоднородности задонских пород-коллекторов. В ходе работы были решены следующие задачи: детальное изучение литологического состава верхнедевонских отложений, оценка влияния вторичных процессов на фильтрационно-емкостные характеристики пород, типизация коллекторов и характеристика их коллекторских свойств, оценка анизотропии проницаемости задонских отложений, а также был сделан прогноз зон развития пород-коллекторов по результатам литологических и петрофизических исследований.

В описываемом разрезе было выделено двенадцать основных литотипов и дана характеристика их пустотного пространства, что позволило определить фациальную приуроченность исследуемых разрезов и сделать прогноз локализации наиболее перспективных участков рассматриваемого месторождения. Для решения поставленных задач использовался керновый материал по трем скважинам, отобранный из продуктивных верхнедевонских отложений, привлечены литолого-петрографические, петрофизические и геофизические материалы.

Отложения задонского горизонта на исследуемой территории представлены преимущественно плотными и пористыми разностями известняков строматопорово-водорослевых, комковатых и интракластово-комковатых, в меньшем количестве присутствуют доломиты разнокристаллические [1].

Основными вторичными процессами в изучаемых отложениях являются кальцитизация, доломитизация, выщелачивание, перекристаллизация и трещинообразование. Достаточно четко было прослежено влияние первых трех процессов. Кальцитизация представлена практически повсеместно и оказывает преимущественно отрицательное влияние на коллекторские свойства – пустотное пространство заполнилось несколькими генерациями кальцита, в результате чего пористость и проницаемость пород значительно снизились. Процесс доломитизации также выявлен практически повсеместно, однако он не оказывает значительного влияния на фильтрационно-емкостные характеристики, так как затрагивает преимущественно каркас породы. В результате выщелачивания пористость и проницаемость отложений были значительно увеличены, что выражается в наличии значительного числа пор и каверн [2].

При помощи литологических, петрофизических методов и методов геофизического исследования скважин была проведена оценка генетических типов пустотного пространства пород-коллекторов. В исследуемом разрезе были выделены следующие типы коллекторов: поровый, порово-каверновый, трещинно-порово-каверновый, тре-

щинно-поровый и трещинный. Наиболее распространенным типом коллектора является порово-каверновый.

Наилучшими фильтрационно-емкостными характеристиками обладает порово-каверновый тип коллекторов, представленный известняками комковато-водорослевыми (грейнстоунами) с элементами структуры баундстоунов и разностями известняков строматопорово-водорослевых. Среднее значение пористости таких пород составляет около 8 %, а проницаемости – 71,5 мД. Такие высокие коллекторские свойства, вероятно, связаны с породами, обладавшими повышенной первичной пористостью, которая впоследствии возросла за счет активного процесса выщелачивания.

Исследование анизотропии проницаемости пород проводилось на образцах полноразмерного керна по трем направлениям. В результате чего можно сделать вывод, что горизонтальная проницаемость во всех типах коллекторов закономерно превышает вертикальную. Латеральная анизотропия проницаемости обнаружена только в порово-каверновом типе коллектора (коэффициент корреляции (R^2) составляет 0,02). Анизотропия проницаемости в вертикальном направлении отмечается в трещинно-поровом ($R^2 = 0,03$), порово-каверновом ($R^2 = 0,13$), трещинном ($R^2 = 0,33$) и поровом ($R^2 = 0,67$). В них показатели превышения горизонтальной проницаемости над вертикальной составляют в среднем в порово-каверновом типе в 7,1 раз, в трещинно-поровом типе в 17,8 раз, в поровом – в 24,7 раз, а в трещинном достигает 83 раз (рис. 1).

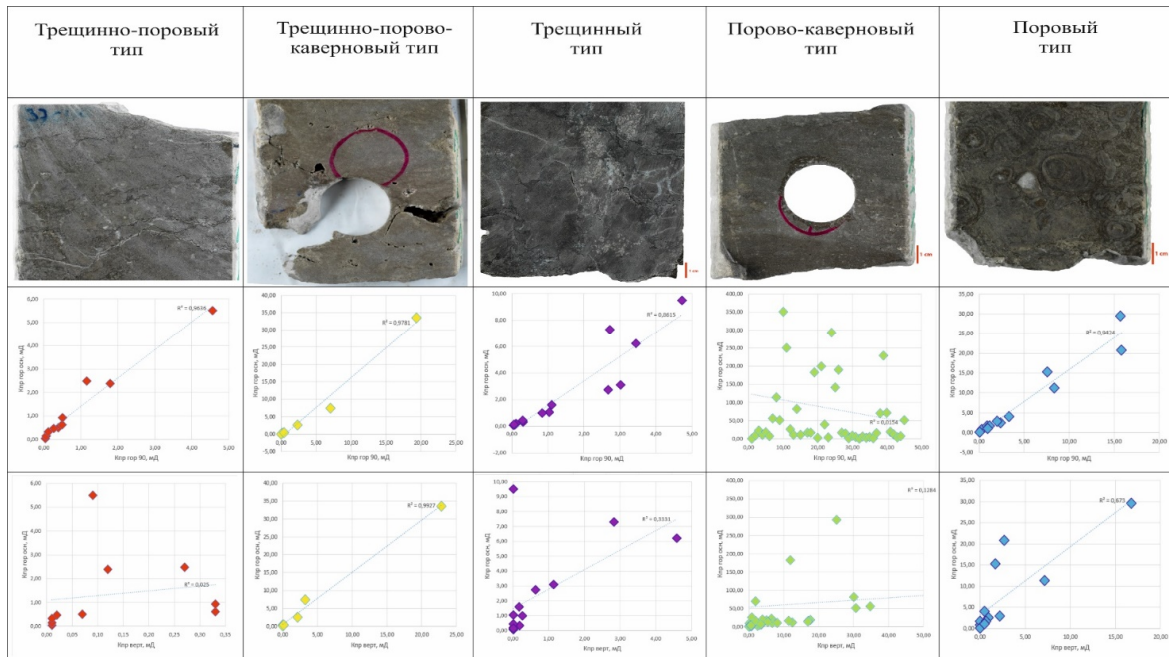


Рис. 1. Сопоставление величин проницаемости пород-коллекторов различного типа в горизонтальном и вертикальном направлениях

Проведенные исследования позволили установить, что наиболее высокие значения фильтрационно-емкостных характеристик связаны с известняками комковато-водорослевыми (грейнстоунами) с элементами структуры баундстоунов, известняками строматопорово-водорослевыми и известняками строматолитоподобными. Все вышеперечисленные литотипы обладают порово-каверновым типом коллектора.

Данный тип коллектора преимущественно связан с ядерной частью органогенной постройки. В зарифовых фациях преобладают другие типы коллекторов: трещинный и трещинно-поровый. На основе полученных данных была построена схема распространения наиболее перспективных участков исследуемого объекта, приуроченных к ядру органогенной постройки.

В ходе работы было выяснено, что исследуемый резервуар отличается высокой степенью геологической неоднородности, обусловленной чередованием в его объеме пород с различными типами коллекторов, обладающих разными фильтрационно-емкостными свойствами. Выявленные закономерности пространственного распределения пород-коллекторов и результаты оценки их коллекторских свойств могут быть учтены при построении геологической и гидродинамической моделей рассмотренного объекта, подсчете запасов нефти, оптимизации процесса разработки, в том числе при заложении новых эксплуатационных скважин.

Литература

1. Кузнецов, В. Г. Литология. Осадочные горные породы и их изучение : учеб. пособие для вузов / В. Г. Кузнецов. – М. : Недра-Бизнесцентр, 2007. – 511 с.
2. Кузнецов, В. Г. Природные резервуары нефти и газа карбонатных отложений / В. Г. Кузнецов. – М. : Недра, 1992. – 240 с.

УДК 622.276

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ В РАЗРАБОТКЕ КОЛЛЕКТОРОВ НЕТРАДИЦИОННОГО ТИПА В РУП «ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «БЕЛОРУСНЕФТЬ»

А. О. Цыганков, А. А. Кудряшов

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Представлен опыт РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» в разработке нефтенасыщенных низкопроницаемых отложений нетрадиционного типа на примере I–III пачек Речицкого месторождения. Выделены три этапа разработки объекта исследований, включающие опережающее бурение, заложение горизонтальных добывающих скважин на основании результатов комплексных лабораторных исследований, а также первые попытки проведения работ по повышению нефтеотдачи.

Ключевые слова: нетрадиционный коллектор, нефтематеринские отложения, низкопроницаемые отложения.

IMPROVEMENT OF UNCONVENTIONAL RESERVOIRS DEVELOPING IN PA BELORUSNEFT

A. Tsygankov, A. Kudryashov

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

The article presents the experience of PA "Belorusneft" in the development of oil-saturated low-permeability deposits of an unconventional type on the example of I–III units of the Rechitskoye field. Three stages of development of the object of study are identified, including advanced drilling, building of horizontal production wells based on the results of complex laboratory studies and the first attempt for enhanced oil recovery.

Keywords: unconventional reservoir, oil source rocks, low-permeability deposits.

Все крупные месторождения нефти Припятского нефтегазонасного бассейна (НГБ) находятся на завершающей стадии разработки. Текущая ресурсная база углеводородного сырья (УВС) ограничена. Одним из актуальных направлений восполнения ресурсной базы и поддержания добычи нефти является организация разработки низкопроницаемых нетрадиционных нефтематеринских отложений. Первый опыт выявления и дальнейшей разработки объектов с низкопроницаемыми коллекторами нетрадиционного типа получен по елецко-петриковским отложениям Речицкого месторождения. Разработку елецко-петриковских отложений Речицкого месторождения можно условно разделить на три этапа.

Первый этап. Включает изучение особенностей геологического строения, геолого-физических свойств елецко-петриковских отложений, определение зон с наибольшим разуплотнением пород. В этих зонах построены две разведочные горизонтальные скважины, расположенные в разных частях «залежи» (в восточной и западной). Скважины имели относительно невысокую протяженность горизонтальной части ствола (до 500 м), были освоены 5-стадийным гидравлическим разрывом пласта (ГРП) с суммарными объемами жидкости разрыва до 1300 м³ и массой пропанта до 170 т. Работы показали, что из нетрадиционных коллекторов можно получать промышленные притоки нефти с дебитами 25–35 т/сут. Для обеих скважин характерно достаточно интенсивное снижение дебита жидкости после ввода в эксплуатацию. По скважине 310g уже на следующий месяц после ввода в эксплуатацию начальный дебит нефти снизился с 35 до 7 т/сут, а затем до 4 т/сут. Работы по повторному многостадийному ГРП в 2019 г. и 2020 г. способствовали росту дебита в скв. 310g, однако эффект был непродолжительным – по скважине резко снижается дебит до значений, близких к базовым (рис. 1).

Второй этап. На втором этапе проведено комплексное изучение елецко-петриковских отложений, включая исследования керна, в том числе геохимические; геофизические; степень хрупкости пород; направление максимального стресса; анализ сейсмомониторинга ГРП. Это позволило выявить наиболее перспективные зоны для последующего заложения новых скважин и внести корректировки в технологию их строительства и освоения.

По состоянию на сентябрь 2022 г. пробурено еще десять добывающих скважин. Работы по освоению выполнялись с многокластерным, многостадийным ГРП преимущественно – по технологии Plug&Perf. Длина горизонтальной части ствола добывающих скважин увеличена до 2140 м. Количество стадий ГРП при освоении достигло 28 (в среднем – 14), количество кластеров – до 96. Объем жидкости разрыва достигал 25,5–31,6 тыс. м³, пропанта 3,2–4,2 тыс. т. В результате совершенствования подходов к выбору зон заложения и направления стволов скважин, технологии бурения и освоения начальный дебит нефти удалось увеличить в пять и более раз (рис. 2). Увеличение площади дренирования способствовало снижению темпа падения дебита и, как следствие, – большим объемам добычи нефти. На графике, представленном на рис. 2, видно, что скважины № 411g, 41602g, 418g, 467g, 513g, 516g2 характеризуются менее быстрым темпом снижения начального дебита (в сравнении со скважинами № 310g и 292g), начальный дебит нефти по скважинам № 418g, 41602g, 467g, 513g и 516g2 значительно превышает значение по скважине 310g, что связано с большим количеством стадий ГРП и соответственно – с большим объемом закачанной жидкости разрыва по указанным скважинам.

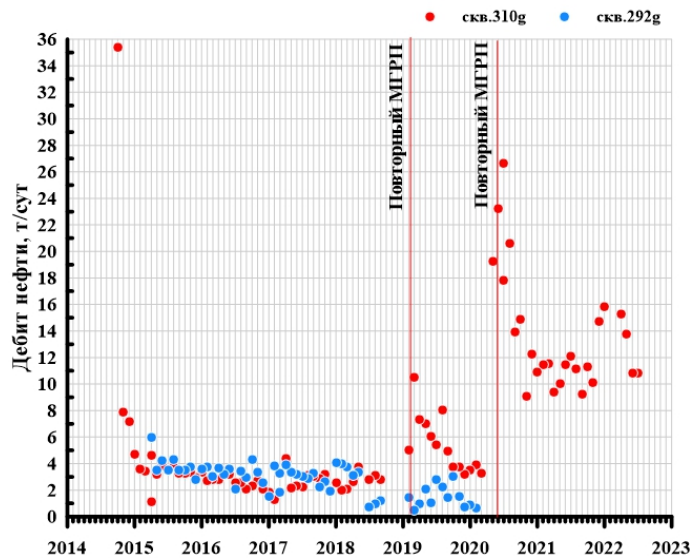


Рис. 1. Динамика дебита нефти по первым горизонтальным скважинам I–III пачек Речицкого месторождения

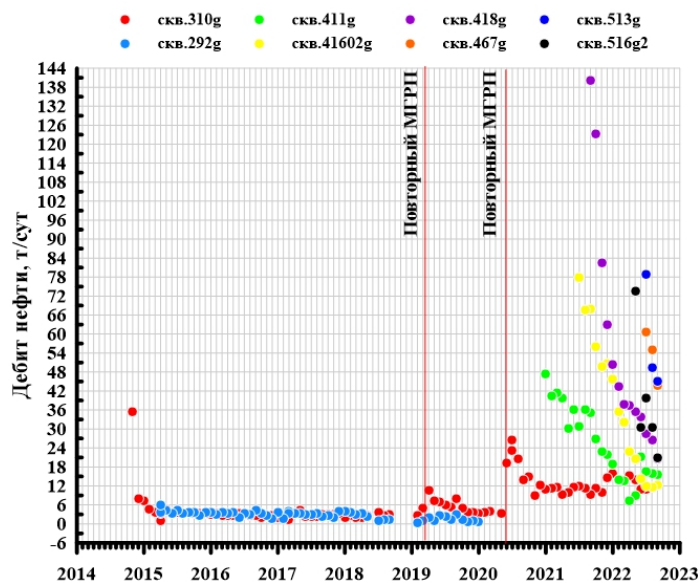


Рис. 2. Динамика дебита нефти по добывающему фонду скважин I–III пачек Речицкого месторождения

Третий этап связан с опытно-промышленной разработкой (ОПР) по повышению эффективности разработки нетрадиционных коллекторов. На данном этапе предпринята попытка к восстановлению энергетики в «залежи» путем перевода под закачку воды первой разведочной скважины, введенной в восточной части объекта. По состоянию на 01.09.2022 г. закачка воды осуществляется всего два месяца – мы находимся в самой начальной стадии реализации ОПР, что не позволяет делать выводы об их эффективности.

Таким образом, совершенствование технологий бурения и освоения скважин, основанное на комплексном изучении нетрадиционных отложений, результатов и эффективности их разработки, способствовало увеличению начального дебита нефти и снижению темпа его падения по вновь пробуренным скважинам. Для повышения эффективности разработки перешли к следующему этапу – ОПР по восстановлению энергетики в залежи.

УДК 556.3

ОЦЕНКА СОВМЕСТИМОСТИ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПЛАСТОВЫМИ РАССОЛАМИ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

Н. И. Набатов, А. В. Третьякова

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

На примере Золотухинского, Красносельского, Надвинского и Карташовского нефтяных месторождений рассмотрена совместимость минерализованных вод юрского и триасового водоносных комплексов с пластовыми рассолами межсолевых и подсолевых отложений. Определена степень насыщения смесей вод карбонатными, сульфатными и хлоридными солями.

Ключевые слова: пластовый рассол, минерализованные подземные воды, система поддержания пластового давления, совместимость, солеотложения.

COMPATIBILITY ASSESSMENT OF MINERALIZED GROUNDWATER WITH FORMATED BRINES OF THE PRIPYAT DEFLECTION

N. I. Nabatov, A. V. Tretyakova

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

On the example of the Zolotukhinskoye, Krasnoselskoye, Nadvinskoye and Kartashovskoye oil fields, the compatibility of mineralized waters of the jurassic and triassic aquifers with formation brines of intersalt and subsalt deposits is considered. The degree of saturation of water mixtures with carbonate, sulfate and chloride salts was determined.

Keywords: formation brine, mineralized underground waters, pressure maintenance system, compatibility, scaling.

При разработке и эксплуатации нефтяных месторождений в мировой практике широко используется система поддержания пластового давления (ППД), позволяющая достигать максимальных показателей отбора нефти путем закачки вод различной минерализации в пласт.

Согласно имеющимся нормативным документам, для вод, используемых в системе ППД, обязательно должна выполняться оценка совместимости закачиваемых вод с пластовой водой [2].

Для этой цели авторами использован программный комплекс SOMIX_BL (разработчик – Институт геоэкологии РАН), который имитирует геохимические процессы образования минеральных осадков при смешении рассолов нефтяных месторождений с водами различного химического состава в определенных термобарических условиях. Содержание выпавших солей – более 50 г/м³, полученное при расчетах

по данному программному комплексу, означает наличие угрозы выпадения минеральных осадков [1].

Для расчетов также использовались прикладные компьютерные программы В. Н. Озябкина (ИГЭ РАН, Санкт-Петербург) и Л. А. Абуковой (ИПНГ РАН, Москва).

Программа В. Н. Озябкина позволяет определить возможное количество сульфатных и хлоридных минералов, которые могут дополнительно раствориться в воде или осаждаться из нее в определенных термобарических условиях. Положительные значения, полученные при расчетах по данной программе, показывают отсутствие угрозы выпадения хлоридных и сульфатных солей, отрицательные – наоборот [1].

Программа Л. А. Абуковой позволяет рассчитать степень насыщения вод карбонатом кальция S . При $S < 0$ – нет угрозы выпадения карбонатных солей; при $S = 0-0,5$ – вода приближается к равновесию с карбонатными минералами; при $S > 0,5$ – есть угроза выпадения карбонатных солей. При использовании данного метода большое значение имеет точность определения величины рН в анализируемой воде [1].

Оценка совместимости пластовых и закачиваемых минерализованных вод рассмотрена на примере Золотухинского, Красносельского, Надвинского и Карташовского нефтяных месторождений, расположенных в Речицком и Хойникском районах Гомельской области.

В системе ППД на *Золотухинском нефтяном месторождении* используется артезианская скважина 70v, оборудованная на водоносный нижнетриасовый и водупорный локально водоносный среднеюрский терригенный комплекс. Воды скважины гидрокарбонатно-натриевого типа, от слабокислых до щелочных (рН – от 6,3 до 9,22), среднеминерализованные (M – от 8,49 г/дм³ до 13,82 г/дм³), плотностью 1,004–1,010 г/см³. Согласно расчетам, выполненным в программах Л. А. Абуковой и В. Н. Озябкина, данные воды в термобарических условиях пласта ($P_{пл} = 30$ Мпа, $t = 70$ °С) недонасыщены по хлоридным и сульфатным минералам (галит – 369,90 г/дм³, ангидрит – 2,640 г/дм³), а также находятся в равновесии по карбонатным минералам ($S = 0,460$).

Пластовые рассолы Золотухинского нефтяного месторождения являются высокоминерализованными рассолами хлор-кальциевого типа, от кислых до слабощелочных (рН – от 4,30 до 7,6), с минерализацией 237,4–399,2 г/дм³ и плотностью 1,237–1,282 г/см³. В данных водах наблюдаются высокие концентрации йода (до 83,16 мг/дм³), брома (до 5010 мг/дм³) и железа (до 5668 мг/дм³). В пластовых термобарических условиях рассолы недонасыщены по хлоридным минералам (галит – 7,25 и 17,95 г/дм³) и незначительно перенасыщены по сульфатным минералам (ангидрит – 0,597 г/дм³ и – 0,177 г/дм³); данные воды в зависимости от рН среды могут быть как перенасыщены ($S = 1,299$), так и недонасыщены ($S = -0,870$) по карбонатным минералам.

Результаты смешения пластовых вод подсолевой карбонатной залежи с закачиваемыми водами скважины 70v с помощью программы SOMIX_VL указывают на отсутствие угрозы осаждения хлоридных, карбонатных и сульфатных минералов (суммарное содержание солей не превышает 1,90 г/м³) на рабочем оборудовании и в стволах скважин. Однако необходимо отметить, что при изменении величины рН воды до щелочной может возникнуть вероятность угрозы отложения карбонатных солей. Также при закачке слабоминерализованной воды из скважины 70v в подсолевую залежь будет происходить смешение вод разного генезиса, геохимического типа и реакции среды. В таком случае существует вероятность смешения ионных равновесий, и, как следствие, – это может привести к физико-химическим процессам растворения-осаждения минералов.

Система ППД на *Красносельском нефтегазоконденсатном месторождении* организована на базе двух артезианских скважин 207_1v и 207_2v. В работе выполнена оценка совместимости вод артезианской скважины 207_2v, оборудованной на водоносный корневский терригенный горизонт. Воды скважины гидрокарбонатно-натриевого типа, от слабокислых до щелочных (рН – 6,9–8,38), среднеминерализованные (M – от 8,49 г/дм³ до 13,82 г/дм³), плотностью 1,004–1,010 г/см³. В пластовых термобарических условиях воды недонасыщены по хлоридным и сульфатным минералам (галит – 372,3 г/дм³, ангидрит – 2,35 г/дм³) и способны их дополнительно растворить. Данные воды находятся в равновесии по карбонатным минералам и не представляют угрозы выпадения карбоната кальция ($S = 0,1$). Термобарические условия пласта: $P_{пл.} = 22$ Мпа, $t = 78$ °С.

Пластовые рассолы Красносельского месторождения являются высокоминерализованными рассолами хлор-кальциевого типа, от слабокислых до нейтральных (рН – 6,6–6,8), с минерализацией 328–352 г/дм³ и плотностью 1,21–1,23 г/см³. В данных водах содержатся высокие концентрации йода (до 37,6 мг/дм³) и брома (до 2171 мг/дм³). Согласно выполненным расчетам, в пластовых термобарических условиях рассолы недонасыщены по хлоридным и сульфатным минералам (галит – 265,6 г/дм³, ангидрит – 0,225 г/дм³) и способны их растворить, перенасыщены по карбонатным минералам и несут угрозу выпадения карбоната кальция ($S = 1,5$).

Моделирование геохимических процессов при смешивании артезианской воды из скважины 207_2v с пластовыми рассолами елецко-задонской залежи по программе SOMIX_BL показало, что при закачке угроза осаждения карбонатных и сульфатных минералов на рабочем оборудовании и в стволах скважин (суммарное содержание солей не превышает 0,04 г/м³) отсутствует. Однако, как и для артезианской скважины 70v Золотухинского месторождения, существует вероятность смещения ионных равновесий при смешении вод разного генезиса.

Система ППД на *Надвинском нефтяном месторождении* организована на базе артезианской скважины 31v, эксплуатирующей водоупорный локально водоносный байосский-батский терригенный комплекс. Воды данной скважины гидрокарбонатно-натриевого типа, слабощелочные (рН – 7,39–8,14), среднеминерализованные (M – 8,56–14,77 г/дм³), плотностью 1,005–1,012 г/см³. В термобарических условиях пласта они недонасыщены хлоридными (галит – 363,7 г/дм³), сульфатными (ангидрит – 2,944 г/дм³) и карбонатными ($S = -0,039$) минералами. Термобарические условия пласта для Надвинского месторождения приняты следующие: $P_{пл.} = 20$ Мпа, $t = 60$ °С.

Пластовые рассолы рассматриваемого месторождения являются высокоминерализованными рассолами хлор-кальциевого типа, имеют слабокислую реакцию среды (рН – 5,0), минерализацию – 320–360 г/дм³ и плотность – 1,240–1,260 г/см³. В пластовых термобарических условиях рассолы находятся в равновесии по карбонатным ($S = 0,028$), недонасыщены по хлоридным (галит – 27,7 г/дм³) и незначительно пересыщены по сульфатным (ангидрит – 0,405 г/дм³) минералам.

Оценка совместимости пластового рассола Надвинского месторождения нефти с водой из скважины 31v по программам Л. А. Абуковой и В. Н. Озябкина показала, что вода артезианской скважины недонасыщена по хлоридным, сульфатным и карбонатным минералам и сама по себе не несет угрозы выпадения солей. Однако при смешении ее с пластовыми рассолами химические равновесия нарушаются и образовавшиеся смеси будут перенасыщены карбонатом кальция ($S = 0,580–1,182$), что говорит о возможности осаждения карбонатных солей, а также перенасыщены

по сульфатным солям (ангидрит – от $-0,072$ г/дм³ до $-0,341$ г/дм³), при преобладании пластового рассола свыше 80 %.

Моделирование геохимических процессов при смешении воды из скважины 31v с пластовыми рассолами по программе SOMIX_BL также показало вероятность перенасыщения сульфатными минералами (ангидритом) при преобладании в смесях пластового рассола выше 80 % (суммарное содержание солей составило $51,9-157,8$ г/м³, при других соотношениях – не превысило $29,7$ г/м³).

Система ППД на *Карташовском нефтяном месторождении* организована на базе двух артезианских скважин 1v и 9002v. Оценка совместимости рассмотрена на примере скважины 9002v. Скважина эксплуатирует слабоводоносный кореневский терригенный горизонт в интервале 771–788,5 м. Воды, извлекаемые скважиной, по химическому составу хлоридного натриевого типа, рассольные ($M - 88,78-106,86$ г/дм³), от слабокислых до слабощелочных (рН – 6,33–7,44). Термобарические условия пласта Карташовского месторождения: $P_{пл} = 40$ Мпа, $t = 80$ °С.

Пластовые воды месторождения являются высокоминерализованными рассолами хлор-кальциевого типа, имеют кислую реакцию среды (рН – 4,99–5,29), минерализацию – $342-360,3$ г/дм³ и плотность – $1,243-1,257$ г/см³. Содержание брома в данных водах составляет $4363-4686$ мг/дм³.

Вода скважины 9002v недонасыщена по хлоридным (галит – $274,9$ г/дм³), сульфатным (ангидрит – $1,75$ г/дм³) и карбонатным ($S = -0,3$) минералам и сама по себе не несет угрозы выпадения солей. Однако при смешении ее с пластовыми рассолами химические равновесия нарушаются и образовавшиеся смеси будут перенасыщаться сульфатами (ангидрит – от $-1,37$ г/дм³ до $-0,34$ г/дм³), что говорит о возможности осаждения сульфатных солей, и приближаться к равновесию по карбонатным минералам ($S = 0,2-0,4$). Угроза выпадения хлоридных солей отсутствует (галит – от $72,1$ г/дм³ до $224,6$ г/дм³).

На основании выполненных работ можно сделать следующие выводы:

1. Моделирование геохимических процессов при смешении вод из скважины 70v с пластовыми рассолами подсолевой залежи Золотухинского нефтяного месторождения и из скважины 207_2v с пластовыми рассолами межсолевой залежи Красносельского нефтегазоконденсатного месторождения показывает, что при использовании их в системе ППД угрозы осаждения всех основных минералов не отмечается.

2. Результаты расчетов смешения воды из артезианской скважины 31v с пластовыми рассолами Надвинского месторождения при существующих термобарических условиях указывают на возникновение угрозы осаждения сульфатных и карбонатных солей. Перенасыщение сульфатными минералами (ангидритом) возможно при преобладании в смесях пластового рассола свыше 80 %.

3. Моделирование смешения пластового рассола Карташовского нефтяного месторождения с водой из артезианской скважины 9002v показало, что при смешении химические равновесия сдвигаются и образовавшиеся смеси будут приближаться к равновесию по карбонатным минералам и перенасыщаться сульфатами, что говорит о вероятности осаждения сульфатных солей. Угроза выпадения хлоридных солей отсутствует.

Необходимо отметить, что в результате закачки минерализованной воды из артезианских скважин, организованных для системы ППД, в межсолевые и подсолевые залежи нефтяных месторождений Припятского прогиба происходит смешение вод различного генезиса, геохимического типа и реакции среды. В таком случае существует вероятность смещения ионных равновесий, и, как следствие, это может привести к физико-химическим процессам растворения-осаждения солей. При определении

степени насыщения карбонатными минералами большое значение имеет точность определения величины рН. Щелочная реакция среды способствует увеличению угрозы выпадения карбонатных минералов.

В большинстве случаев опыт использования закачиваемых вод артезианских скважин показывает отсутствие проблем солеотложений в пласте, на подземном оборудовании и в стволах скважин.

Л и т е р а т у р а

1. Изучение условий образования и разработка способов предупреждения солевых отложений на насосном оборудовании при добыче нефти из обводнившихся залежей с высокой минерализацией пластовых и попутных вод на нефтяных месторождениях РУП «ПО «Белоруснефть»: отчет о НИР (заключ.) / БелНИПИнефть; рук. темы В. В. Коцур. – Гомель, 2012. – 128 с.
2. СТП 09100.17015.043–2012. Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству / РУП «ПО «Белоруснефть». – Гомель, 2012. – 25 с.

УДК 556.314:662.276

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЙОДА И БРОМА В ПОПУТНЫХ ВОДАХ БЕРЕЗИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КАЧЕСТВЕ ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

С. Л. Порошина, Т. В. Атвиновская

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Предложен новый методический подход по оценке процесса разубоживания попутных вод нефтяных месторождений Беларуси при их использовании в качестве гидроминерального сырья. Полученные расчеты показали, что за десятилетний период произойдет снижение концентраций брома и йода в попутных водах залежи III блока Березинского месторождения на 4 и 9 % соответственно.

Ключевые слова: гидроминеральное сырье, процесс разубоживания, йод, бром, засоленные коллекторы, попутные воды.

ASSESSMENT OF CHANGES IN THE CONCENTRATIONS OF IODINE AND BROMINE IN THE ASSOCIATED WATERS OF THE BEREZINSKY FIELD WHEN THEY ARE USED AS HYDROMINERAL FEEDSTOCK

S. L. Poroshina, T. V. Atvinovskaya

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

A new methodological approach is proposed for assessing the process of dilution of associated waters of oil fields in Belarus when they are used as hydromineral raw materials. The obtained calculations showed that over a ten-year period there will be a decrease in the concentrations of bromine and iodine in the associated waters of the deposit of block III of the Berezinsky field by 4% and 9%, respectively.

Keywords: hydromineral feedstock, dilution process, iodine, bromine, saline reservoirs, associated waters.

Одна из наиболее сложных задач, связанных с оценкой ресурсной базы промышленно ценных элементов при использовании попутных вод нефтяных месторождений в качестве гидроминерального сырья, состоит в необходимости учета процесса их разубоживания при закачке в продуктивные пласты добытых вод после извлечения из них конкретных компонентов. Эти сложности обусловлены, прежде всего, необходимостью учета геологических особенностей строения месторождений, применяемых систем их разработки и технологий добычи углеводородного сырья. В связи с этим до настоящего времени не существует регламентирующих методических документов, пригодных для любого нефтедобывающего региона и любой нефтяной залежи по оценке влияния процесса разубоживания попутно добываемых совместно с нефтью вод на изменение концентраций конкретных полезных компонентов.

Большинство нефтяных месторождений Припятского прогиба размещается в засоленных природных резервуарах. Для поддержания пластового давления в этих месторождениях в продуктивные пласты закачиваются пресные и соленые (с невысокой минерализацией по сравнению с пластовыми рассолами) воды, которые обогащаются в пластовых условиях большим количеством хлорида натрия [1]. Таким образом, плотность и общая минерализация попутно добываемых с нефтью вод белорусских месторождений формируются не только за счет смешения закачиваемых вод с пластовыми рассолами, но и за счет растворения находящихся в продуктивных пластах галитовых включений. Поэтому для корректного решения стоящей задачи по сведениям об общей минерализации нефтепромысловых вод следует знать ту ее часть, которая сформирована за счет растворенного галита. Эту задачу можно решать предложенными ранее гидрохимическими методами.

Анализ существующих гидрохимических методов прогноза разубоживания попутно добываемых с нефтью вод для месторождений с засоленными коллекторами свидетельствует, что наиболее сложная их часть связана с корректным определением долевого участия пластовых и закачиваемых вод в попутных рассолах. Для решения данной задачи нами было предложено использовать суммарное содержание ионов кальция и магния [2]. В таком случае определить долю закачиваемых вод в попутно добываемых рассолах можно по следующей формуле:

$$X = \frac{(Ca + Mg)_{пл} - (Ca + Mg)_{поп}}{(Ca + Mg)_{пл} - (Ca + Mg)_з},$$

где $(Ca + Mg)_{пл}$, $(Ca + Mg)_{поп}$, $(Ca + Mg)_з$ – суммарное содержание ионов кальция и магния в пластовой, попутной и закачиваемой воде, мг/л.

Еще одной причиной, осложняющей использование в качестве индикатора смешения плотности и общей минерализации пластовых, закачиваемых и попутных вод, является применяющаяся на большинстве добывающих скважин технология предупреждения и борьбы с отложением хлоридных солей. Заключается она в постоянно проводимых подливах пресных вод в скважины, что приводит к существенному снижению общей минерализации попутно добываемых вод. Учесть такое влияние можно, применяя гидрохимический подход, разработанный в последние годы в ГГТУ им. П. О. Сухого [2, 3], суть которого сводится к оценке представительности данных и учете степени влияния технологических обработок на химический состав попутно добываемых с нефтью вод.

Обобщая вышеизложенное, следует еще раз отметить, что корректных методических разработок по оценке процесса разубоживания попутных вод нефтяных ме-

сторождений Беларуси при их использовании в качестве минерального сырья до настоящего времени не существует. В связи с этим авторами предпринята попытка решить данную задачу с помощью гидрохимических сведений, что демонстрируется ниже на примере Березинского месторождения нефти.

Березинское месторождение открыто в 1975 г. скважиной 3. В апреле 1977 г. оно введено в пробную эксплуатацию, а в мае 1981 г. – в промышленную разработку. По кровле межсолевых отложений III блок месторождения представляет собой антиклинальную складку, ограниченную со всех сторон разрывными нарушениями. Основные запасы нефти (более 80 %) Березинского месторождения приурочены к залежи этого блока. Залежь массивная, сводовая, тектонически-ограниченная. Она находится на четвертой стадии разработки, характеризующейся постепенным снижением добычи нефти при продолжающемся увеличении обводненности продукции. Пластовое давление в залежи поддерживается посредством закачки в продуктивные пласты пресных вод. Пластовые воды представлены крепкими рассолами хлоркальциевого типа с общей минерализацией около 355 г/л.

Авторы предлагаемого методического подхода по оценке интенсивности разбуживания гидроминерального сырья при извлечении промышленно ценных компонентов из попутно добываемых с нефтью вод и закачки этих вод в систему ППД исходят из того, что концентрации промышленно ценных компонентов в пластовых водах остаются практически неизменными [4]. Поэтому, зная доленое участие пластовых рассолов в попутно добываемых водах, мы можем оценить нижний предел содержащихся в них компонентов на весь период разработки залежей. Эта величина может изменяться лишь при изменении показателя, отражающего долю пластовых рассолов в попутно добываемых водах. Поэтому первоочередной задачей проводимых исследований является прогноз величины данного показателя по конкретным залежам на период работы предприятия по переработке гидроминерального сырья. В дальнейшем решается задача по разбавлению оставшейся в залежи смеси пластовых и закачанных ранее вод отработанными водами после извлечения из них ценных компонентов с использованием формулы А. Р. Ахундова и Ш. Ф. Мехтиева [5].

Проведенные в соответствии с изложенным методическим подходом расчеты по оценке изменения концентраций полезных компонентов использовали обобщенную зависимость изменения величины доленого участия пластовых рассолов в попутно добываемых водах ($1 - X$) для всех скважин Березинского месторождения (рис. 1). Результаты этих расчетов приведены в таблице.

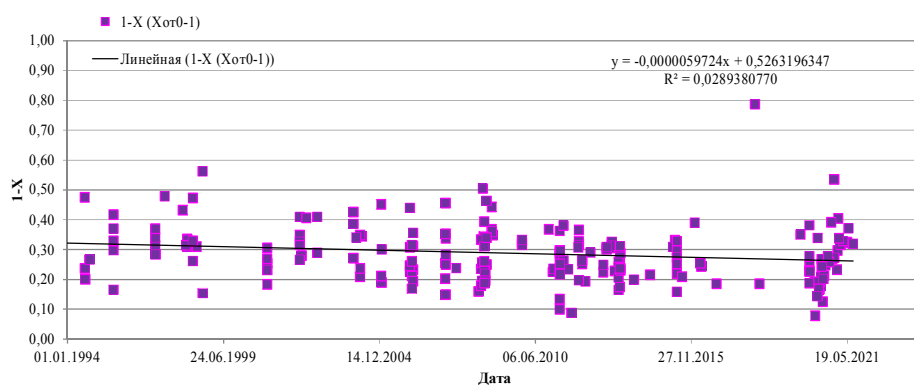


Рис. 1. Изменение величины доленого участия пластовых рассолов в попутно добываемых водах в процессе разработки Березинского месторождения

Представленные материалы свидетельствуют о том, что снижение концентраций брома и йода в попутных водах залежи III блока Березинского месторождения за десятилетний период их разубоживания оценивается соответственно на 4 и 9 %, что позволяет говорить о целесообразности использования попутных вод рассматриваемой залежи нефти в качестве гидроминерального сырья совместно с попутными водами других разрабатываемых белорусских месторождений.

Результаты оценки изменения концентраций йода и брома в попутных водах залежи III блока Березинского месторождения до 2030 г.

Год	$C_{пл}$, мг/л	X_1 (1 - X)	C_{min} , мг/л	$Q_{пв}$, тыс. т	C , мг/л	Год	$C_{пл}$, мг/л	X_1 (1 - X)	C_{min} , мг/л	$Q_{пв}$, тыс. т	C , мг/л
бром					931,59	йод					11,49
31.12.21	2644,978	0,260	688,18	12,6	925,47	31.12.21	21,869	0,260	5,69	12,6	11,30
31.12.22	2644,978	0,258	682,41	12,1	920,81	31.12.22	21,869	0,258	5,64	12,1	11,16
31.12.23	2644,978	0,256	676,65	12,1	916,18	31.12.23	21,869	0,256	5,59	12,1	11,02
31.12.24	2644,978	0,254	670,87	12,1	911,89	31.12.24	21,869	0,254	5,55	12,1	10,90
31.12.25	2644,978	0,251	665,10	12,1	907,96	31.12.25	21,869	0,251	5,50	12,1	10,79
31.12.26	2644,978	0,249	659,33	11,6	904,02	31.12.26	21,869	0,249	5,45	11,6	10,69
31.12.27	2644,978	0,247	653,57	11,2	900,05	31.12.27	21,869	0,247	5,40	11,2	10,58
31.12.28	2644,978	0,245	647,79	10,8	896,05	31.12.28	21,869	0,245	5,36	10,8	10,48
31.12.29	2644,978	0,243	642,02	10,4	892,04	31.12.29	21,869	0,243	5,31	10,4	10,38

Литература

1. Порошин, В. Д. Методы обработки и интерпретации гидрохимических данных при контроле разработки нефтяных месторождений / В. Д. Порошин, В. В. Муляк. – М. : Недра, 2004. – 220 с.
2. Порошина, С. Л. Новые подходы к оценке масштабов рассоления коллекторов нефтяных месторождений Беларуси по промысловым гидрохимическим данным / С. Л. Порошина // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2019. – № 4. – С. 3–12.
3. Порошина, С. Л. К вопросу представительности данных о химическом составе попутных вод нефтяных месторождений Беларуси и методических приемах их обработки (интерпретации) / С. Л. Порошина // Літасфера. – 2021. – № 1 (54). – С. 58–70.
4. Научно-методическое обоснование и оценка изменения концентраций промышленно-ценных компонентов в попутных водах нефтяных месторождений Беларуси при их использовании в качестве гидроминерального сырья : отчет о НИР (заключ.) / ГГТУ им. П. О. Сухого ; рук. темы В. Д. Порошин ; исполн. С. Л. Порошина. – Гомель, 2022. – 120 с. – № ГР 20213731.
5. Мехтиев, Ш. Ф. Практические вопросы нефтепромысловой гидрогеологии / Ш. Ф. Мехтиев, А. Р. Ахундов, Е. А. Ворошилов. – Баку : ЭЛМ, 1975. – 188 с.

УДК 553.98.048

**ОЦЕНКА ЗАПАСОВ И РЕСУРСОВ ПРОМЫШЛЕННО-ЦЕННЫХ
КОМПОНЕНТОВ В ПОПУТНЫХ ВОДАХ НЕФТЯНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЕЛАРУСИ**

В. Д. Порошин

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

А. Г. Ракутько, С. И. Гримус

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Приведены новые данные о текущих содержаниях брома и йода, их запасах и ресурсах в попутных водах основных разрабатываемых нефтяных месторождений Беларуси по состоянию на 2021 г. Впервые выполнена оценка изменения средних концентраций рассматриваемых промышленно-ценных компонентов в попутно добываемых с нефтью водах за десятилетний период в случае их использования в качестве гидроминерального сырья гидрохимическим методом, а также путем гидродинамического моделирования истории разработки для двух крупных месторождений нефти.

Ключевые слова: запасы, ресурсы, бром, йод, попутные воды, месторождения нефти.

**ASSESSMENT OF RESERVES AND RESOURCES
OF INDUSTRIAL-VALUABLE COMPONENTS
IN ASSOCIATED WATER OF OIL FIELDS OF BELARUS**

V. D. Poroshin,

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

A. G. Rakutko, S. I. Grimus

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

New data on the current contents of bromine and iodine, their reserves and resources in associated waters of the main developed oil fields of Belarus as of 2021 are presented. For the first time, an assessment was made of the change in the average concentrations of the considered industrially valuable components in associated waters produced with oil over a ten-year period in the case of their use as hydromineral raw materials by the hydrochemical method, as well as by hydrodynamic modeling of the development history for two large oil fields.

Keywords: reserves, resources, bromine, iodine, associated waters, oil fields.

При разработке нефтяных месторождений Республики Беларусь ежегодно извлекается более 6,7 млн м³ попутных вод. В настоящее время эти воды используются только лишь для поддержания пластовых давлений в продуктивных пластах, что не совсем рационально. Практический интерес в данном случае представляет содержание в попутных водах нефтяных месторождений таких ценных микрокомпонентов, как бром и йод, высокие концентрации которых позволяют отнести их к ценному гидроминеральному сырью. Учитывая то, что извлечение попутных вод не требует строительства инфраструктуры (строительства скважин, систем сбора и т. п.) и дополнительных затрат на подъем гидроминерального сырья на поверхность, возможность использования их в качестве гидроминерального сырья в значительной степени определяется содержанием промышленно-ценных компонентов в этих водах, их

Секция 6. Геология и разработка нефтяных и газовых месторождений 197

запасами и ресурсами. Оценка запасов позволяет составить объективное представление о возможном уровне развития йодо-бромного производства в настоящее время, а оценка ресурсов – о масштабах такого производства в перспективе. Освоение гидроминеральных ресурсов наиболее целесообразно на завершающей части разработки нефтяных месторождений, когда попутные воды составляют большую часть продукции добывающих скважин, а рентабельность добычи нефти снижается, что в целом характерно для большинства разрабатываемых нефтяных месторождений Беларуси.

Первые работы по технико-экономическому обоснованию применения попутных вод в качестве гидроминерального сырья (для извлечения йода и брома) выполнены в 1993 г. в БелНИПИнефть РУП «ПО «Белоруснефть». Эксплуатационных запасов и потенциальных ресурсов этих элементов в попутных водах нефтяных месторождений Беларуси, как было показано при этом [1], было вполне достаточно для организации на их основе промышленного производства.

В 2021 г. в БелНИПИнефть с привлечением сотрудников кафедры «Нефтегазо-разработка и гидропневмоавтоматика» ГГТУ им. П. О. Сухого проведена научно-исследовательская работа по оценке текущих запасов и ресурсов брома и йода в попутно добываемых с нефтью водах по 16 наиболее крупным залежам нефти Припятского прогиба. Для оценки текущих концентраций брома и йода в попутных водах месторождений нефти РУП «ПО «Белоруснефть» проведена обработка и интерпретация химического состава этих вод за весь срок разработки, рассчитаны концентрации, запасы и ресурсы этих компонентов по состоянию на указанную дату (см. таблицу).

Текущие концентрации, запасы и ресурсы брома и йода в попутных водах шести наиболее крупных нефтяных залежей по состоянию на 2021 г.

Месторождения	Залежь	Текущие концентрации, мг/л		Ресурсы, т		Запасы, т/год	
		бром	йод	бром	йод	бром	йод
Речицкое	sm	1110,6	18,8	31921,7	540,9	767,5	13,0
Речицкое	Zd (VIII)	1062,0	17,1	8217,5	186,3	211,7	3,4
Речицкое	zd (IV)	1063,0	24,1	7172,5	162,6	341,7	7,7
Осташковичское	ptr-zd	1789,9	31,5	79198,4	1397,3	3856,1	68,0
Вишанское	vr-sr	1003,8	21,0	16665,2	348,8	356,5	7,4
Ю-Сосновское	ptr-zd	1341,3	29,2	17974,3	391,2	532,9	11,6

Отмечено, что повышенные концентрации брома и йода преобладают в основном в попутных водах межсолевых залежей. Разработка таких залежей отличается тем, что в пределах участков, наиболее удаленных от нагнетательных скважин, в залежь поступают преимущественно высокоминерализованные пластовые рассолы с очень высокими концентрациями микрокомпонентов. Самые большие запасы попутных вод и рассматриваемых промышленно-ценных компонентов связаны с межсолевой залежью Осташковичского месторождения. Текущие высокие концентрации брома и йода в попутной воде данной залежи обеспечиваются за счет поступления пластовых рассолов к добывающим скважинам на отдельных участках ее разработки, что позволяет поддерживать кондиционные концентрации на протяжении всего периода разработки залежи и в перспективе – на значительный период времени.

Так, при годовом объеме попутной воды из межсолевой залежи нефти Осташковичского месторождения, равном 2154 тыс. м³/год, добыча брома может составить 3856 т/год, а добыча йода – 68 т/год. При полной утилизации попутно добываемых вод 16 рассмотренных залежей нефти ежегодно из них может быть получено более 7417 т брома и около 135 т йода.

Сопоставление величин эксплуатационных запасов и ресурсов рассматриваемых компонентов по оцененным залежам показывает, что запасы составляют около 1,8 % от их ресурсов. В дальнейшем эта величина будет уменьшаться, так как ресурсы попутных подземных вод постоянно увеличиваются (это связано с увеличением накопленных объемов добытой нефти, заполняющихся в залежи пластовыми и закачиваемыми водами), а эксплуатационные запасы снижаются.

Одна из наиболее сложных задач, связанных с оценкой ресурсной базы промышленно ценных компонентов при использовании попутных вод нефтяных месторождений в качестве гидроминерального сырья, состоит в необходимости учета процесса их обеднения бромом и йодом при закачке в продуктивные пласты добытых вод после извлечения из них данных компонентов. В рамках данной работы впервые выполнены расчеты изменения концентраций брома и йода в попутно добываемой воде этих залежей на десятилетний период с учетом использования для системы поддержания пластового давления (ППД) вод, обедненных данными компонентами в процессе их извлечения.

Достоверные результаты при решении этой задачи могут быть получены с помощью гидродинамического моделирования истории разработки нефтяных месторождений с использованием специального методического подхода. Предлагаемый подход основан на прогнозе изменения концентраций йода и брома в попутно добываемых с нефтью водах за счет изменения устанавливаемого для конкретной залежи долевого участия пластовых рассолов в этих водах и разбавления находящихся в залежи вод отработанными (после извлечения ценных компонентов) водами.

Для разрабатываемых месторождений с системой ППД при использовании ранее созданной и адаптированной на историю разработки гидродинамической модели нефтяной залежи проводились ретроспективные и прогнозные расчеты показателей разработки с учетом опции трассирования минерализации пластовой и закачиваемой воды. Гидродинамическая модель настраивалась с учетом имеющихся гидрохимических данных за весь период разработки объекта (плотность, минерализация пластовой и закачиваемой для ППД воды и др.). В ходе расчетов на модели определялась доля пластовых рассолов в общем объеме попутной воды за весь период разработки залежи и на десятилетний прогноз. В прогнозных расчетах на каждом временном шаге, равном одному году, рассчитывались степень разбавления пластовой воды закачиваемой обедненной водой и соответствующее изменение концентраций брома и йода в добываемой воде на период до 2030 г. Моделирование было выполнено для межсолевых залежей нефти Осташковичского и Южно-Осташковичского месторождений. Для этих залежей и для остальных целевых объектов разработки оценка изменения концентрации брома и йода производилась также с помощью гидрохимических расчетов. Эти расчеты выполнялись сотрудниками ГГТУ им. П. О. Сухова независимо от результатов моделирования по предложенной ими методике.

Полученные результаты моделирования показывают, что, например, за десять лет закачки обедненной воды (содержание брома и йода в ней менее 10 % от начальной) в межсолевою залежь Осташковичского месторождения степень разбавления ее пластовой воды может составить 19 %. За счет этого за десять лет разработки концентрация брома в попутной воде может снизиться до 1460,38 мг/л, а концентрация

йода – до 25,7 мг/л. В попутной воде межсолевой залежи Ю-Осташковичского месторождения ожидается снижение концентраций микрокомпонентов на 5 % от текущих значений. Расхождение результатов моделирования с гидрохимическими расчетами для обеих залежей составило менее 1 %.

По результатам гидрохимических расчетов для других рассматриваемых залежей нефти следует также ожидать заметное снижение концентраций брома и йода за десятилетний период использования попутных вод в качестве минерального сырья. Наиболее существенно оно проявляется для залежи нефти IV пачки Речицкого месторождения (23,5 и 22,0 % соответственно для брома и йода), Ю-Сосновского месторождения (22,0 и 24,7 %), и воронежско-саргаевского объекта разработки Вишанского месторождения (13,8 и 22,6 %). Значительное снижение концентраций объясняется, прежде всего, повышенными объемами закачки за этот срок отработанных (и соответственно обедненных бромом и йодом) вод в данные залежи по отношению к их ресурсам (35,2–63,6 %).

На конечные концентрации брома и йода в попутных водах оказывают заметное влияние также величина доли пластовых рассолов в попутно добываемых с нефтью водах и темп ее изменения в процессе разработки, а также концентрация извлекаемых компонентов в пластовых рассолах конкретных залежей нефти.

Таким образом, проведенная оценка текущих концентраций брома и йода, их эксплуатационных запасов и ресурсов в попутных водах нефтяных месторождений показывает, что РУП «ПО «Белоруснефть» обладает достаточной сырьевой базой для организации йодо-бромного производства. Даже без учета возможности пополнения суммарного объема гидроминерального сырья за счет добычи пластовых рассолов при полной утилизации эксплуатационных запасов попутных вод их ресурсов будет достаточно для производства йода и брома на 10 лет и более отдаленную перспективу.

Литература

1. Порошин, В. Д. Оценка запасов и ресурсов промышленно-ценных компонентов в попутных водах нефтяных месторождений Беларуси / В. Д. Порошин, В. П. Хайнак, Н. В. Хайнак // Стратегия развития нефтедобывающей промышленности Республики Беларусь на 2000–2015 годы : материалы науч.-практ. конф., Гомель, 14–17 сент. 1999 г. – Гомель, 1999. – С. 410–415.

УДК 556.314:662.276

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ АНАЛИЗЕ И КОНТРОЛЕ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ЗАСОЛОНЕННЫМИ КОЛЛЕКТОРАМИ (НА ПРИМЕРЕ ЗАЛЕЖИ III БЛОКА БЕРЕЗИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

В. Д. Порошин, С. Л. Порошина, П. В. Асвинова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Для изучения истории разработки нефтяных залежей гидрохимические сведения применяются ограниченно. На примере залежи нефти III блока Березинского месторождения показано, что при наличии массовых данных о химическом составе нефтепромысловых вод по месторождениям с засоленными коллекторами и существовании эффективных ме-

тодических приемов обработки и интерпретации этих материалов целесообразно более широкое их использование для оценки влияния нагнетательных скважин на добывающие и изучения энергетики законтурной зоны, а также контроле за изменением фильтрационно-емкостных свойств продуктивных пластов в процессе разработки залежей.

Ключевые слова: залежь нефти, засоленный коллектор, попутные воды, галит, химический состав, плотность вод.

THE MAIN DIRECTIONS OF THE USE OF HYDROCHEMICAL DATA IN THE ANALYSIS AND CONTROL OF THE DEVELOPMENT OF OIL FIELDS IN SALINE RESERVOIR ROCKS (THROUGH THE EXAMPLE OF THE DEPOSIT OF THE III BLOCK OF THE BEREZINSKY FIELD)

V. D. Poroshin, S. L. Poroshina, P. V. Asvinova

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

During the study of history of the development of oil deposits, hydrochemical information is limited. Using the example of the oil deposits of the III block of the Berezinsky field, it is shown that if there are mass data of the chemical composition of oilfield waters of fields with saline reservoirs-rocks and if there are effective methods of processing and interpreting these materials, it will be advisably to use them more widely to assess the impact of injection wells on the producing wells and to study the energy in the edge water zone and during the monitoring in changes of filtration-the capacitive properties of productive layers during the process of developing deposits.

Keywords: oil deposit, saline reservoir, associated waters, halite, chemical composition, water density.

При рассмотрении истории и анализе текущего состояния разработки нефтяных залежей гидрохимические сведения обычно используются весьма ограниченно. Наличие массовых данных о химическом составе и плотностях пластовых, закачиваемых и попутных вод по нефтяным месторождениям Беларуси, а также методических приемов обработки и интерпретации этих материалов свидетельствуют о возможности более широкого их использования при решении ряда оперативных и ретроспективных нефтепромысловых задач [1–3]. Наибольшая эффективность рассматриваемых методов отмечается для залежей нефти, первичное пустотное пространство продуктивных пород которых в значительной мере залечено вторичным галитом, что характерно для месторождения Беларуси и Восточной Сибири. Объясняется это происходящими процессами рассоления коллекторов при использовании для поддержания пластового давления (ППД) в залежах пресных и слабоминерализованных вод. Эти процессы приводят как к изменению фильтрационно-емкостных свойств продуктивных пород, так и к заметному изменению плотности попутно добываемых с нефтью вод, их общей минерализации и химического состава [1].

С помощью новых, разработанных в ГГТУ им. П. О. Сухого методов и накопленного опыта проведения подобных исследований мы попытались уточнить существующие представления об истории разработки межсолевой залежи нефти III блока Березинского месторождения, оценить возможности и целесообразность использования гидрохимических данных для выяснения положительного и отрицательного нефтегазопромыслового опыта для принятия верных управленческих и технологических решений.

Березинское месторождение открыто в 1975 г. и в мае 1981 г. введено в промышленную разработку. Основные запасы нефти (более 80 %) месторождения при-

Секция 6. Геология и разработка нефтяных и газовых месторождений 201

урочены к залежи III блока. Залежь массивная, сводовая, тектонически-ограниченная, находится на четвертой стадии разработки. Пластовое давление в залежи поддерживается посредством закачки в продуктивные пласты пресных вод. Пластовые воды представлены крепкими рассолами хлоркальциевого типа с общей минерализацией около 355 г/л.

Проведенные исследования показали, что химический состав попутных вод рассматриваемой залежи нефти формировался не только за счет смешения закачиваемых и пластовых вод, но и за счет растворения катагенетических галитовых выделений трещин, пор и каверн, широко развитых в продуктивной части разреза (см. таблицу). Это позволяет широко использовать сведения о химическом составе нефтепромысловых вод для контроля изменения объема сети фильтрационных каналов в процессе ее разработки.

Березинское месторождение. Залежь нефти III блока. Содержание хлорида натрия в пластовых, закачиваемых и попутно добываемых водах

Тип вод	Номер скважин	Минерализация, г/л	X	Содержание, мг/л			
				Ca + Mg	Na + K	NaCl	NaCl _{изб}
Пластовые воды	6, 221	350	–	70 767	55 284	140 422	–
Закачиваемые воды	103, 117	3	–	270	494	1 256	–
Попутные воды	122	327	0,69	22 300	104 850	266 319	221 274
	122	310	0,72	19 860	102 230	259 664	219 470
	147	317	0,73	18 850	106 010	269 265	231 078
	147	291	0,69	21 690	91 340	232 004	188 171

Обработка и интерпретация химических анализов попутных вод, согласующихся с массовыми замерами их плотности, проводились по методике Галит-1 [2], а по выпадающим точкам, связанным с влиянием технологических обработок скважин путем подлива пресных вод, – по методике Галит-1т [3]. Проведены расчеты величины долевого участия закачиваемых вод в попутно добываемых с нефтью водах X и избыточного содержания в них хлоридов натрия NaCl_{изб.}, а также объемов растворенного в продуктивных пластах и вынесенного с попутными водами галита по всем добывающим скважинам, которые легли в основу построения соответствующих схематических карт и графиков.

Обработка этих данных позволяет говорить в целом о растущей роли закачиваемых вод в поддержании энергетики рассматриваемой залежи (снижение средней величины $1 - X$) и снижении влияния законтурной области на процесс вытеснения нефти. Вместе с этим для ряда скважин установлен более сложный характер изменения рассматриваемого показателя в процессе их эксплуатации. Проведенные исследования свидетельствуют о существенном влиянии объемов закачиваемых вод в конкретные нагнетательные скважины на особенности изменения плотностей попутных вод реагирующих добывающих скважин и величины избыточных концентраций в них хлоридов натрия NaCl_{изб.}, что позволило установить некоторые особенности вытеснения нефти к забоям добывающих скважин пластовыми рассолами и закачиваемыми водами в различных частях залежи, которые рекомендуется учитывать при моделировании и регулировании ее разработки.

Общую картину распределения значений величины долевого участия пластовых рассолов и закачиваемых вод в системе поддержания пластового давления в залежи можно получить из схематических карт, построенных по отдельным периодам ее разработки. Анализируя эти карты, отмечено большее влияние пластовых вод на энергетику продуктивных пластов и вытеснение нефти к забоям добывающих скважин на первом этапе разработки залежи (до 1995 г.). На следующем этапе (1995–2005 гг.) наблюдается закономерный рост влияния закачиваемых вод на поддержание пластового давления в продуктивных пластах, который в целом характерен и для третьего этапа разработки. Среднее значение величины X (долевого участия закачиваемых вод в попутно добываемых) по этапам составило соответственно 0,63, 0,72 и 0,68. Средневзвешенные значения избыточных концентраций хлорида натрия в попутных водах по первому, второму и третьему этапам разработки залежи оценены соответственно в 107, 131 и 120 г/л. т. е. с каждым кубометром попутно добытой с нефтью воды выносилось в растворенном состоянии в среднем около 123 кг галита. Построенные по результатам проведенных расчетов схематические карты величин избыточного содержания в попутных водах растворенного галита по отдельным этапам разработки залежи свидетельствуют о закономерном обогащении закачиваемых вод хлоридами натрия по мере их продвижения от зон нагнетания к зонам отбора. Проведенные расчеты показали, что с начала разработки залежи нефти III блока Березинского месторождения закачиваемыми для ППД водами растворено в продуктивных пластах и попутно добываемыми совместно с нефтью рассолами вынесено около 145 тыс. м³ галитовых выполнений, что привело к существенному изменению сети фильтрационных каналов и оказало заметное влияние на процесс разработки данной залежи. Очевидно, что вынос катагенетического галита из основных каналов фильтрации закачиваемых вод приводит не только к многократному увеличению проницаемости продуктивных пластов, но и к перераспределению пластовых давлений. Происходит существенное изменение пространственной структуры фильтрационных потоков и условий вытеснения нефти из матрицы горных пород, что создает благоприятные условия для регулирования процесса разработки рассматриваемой нефтяной залежи путем изменения объемов и состава закачиваемых для ППД вод. Авторы данной работы полагают, что наиболее важные результаты проведенных гидрохимических исследований по анализу разработки нефтяной залежи III блока Березинского месторождения могут быть использованы для корректировки существующей гидродинамической модели этой залежи и подготовки нового проектного документа с дальнейшей ее разработкой.

Литература

1. Порошин, В. Д. Методы обработки и интерпретации гидрохимических данных при контроле разработки нефтяных месторождений / В. Д. Порошин, В. В. Муляк. – М. : Недра, 2004. – 220 с.
2. Порошина, С. Л. Новые подходы к оценке масштабов рассоления коллекторов нефтяных месторождений Беларуси по промысловым гидрохимическим данным / С. Л. Порошина // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2019. – № 4. – С. 3–12.
3. Порошина, С. Л. К вопросу представительности данных о химическом составе попутных вод нефтяных месторождений Беларуси и методических приемах их обработки (интерпретации) / С. Л. Порошина // Літасфера. – 2021. – № 1 (54). – С. 58–70.

УДК 620.178.4.6

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ
ГОРНОЙ ПОРОДЫ НА ЕЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ДЮРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

И. Н. Степанкин, Р. Е. Гутман

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Н. В. Бочаров, В. М. Ткачев

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», г. Гомель*

Исследовано влияние таких неоднородностей горной породы, как пористость, минералогический состав, дисперсность составляющих литофаций, трещиноватость на ее механические свойства методом индентирования. Полученный разброс значений предела прочности при приблизительно одинаковом минералогическом составе керна материала показывает влияние дисперсности составляющих литофаций.

Ключевые слова: горная порода, механические свойства, минералогия, индентирование.

**STUDY OF ROCK HETEROGENEITY IMPACT ON ITS MECHANICAL
PROPERTIES BY THE DUROMETRIC METHOD**

I. N. Stepankin, R. E. Hutman

BelNIPIneft RUE "Production Association "Belorusneft", Gomel

N. V. Bocharov, V. M. Tkachev

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The influence of such heterogeneities of the rock as porosity, mineralogical composition, dispersity of lithofacies constituents, fracturing on its mechanical properties has been studied by indentation, the resulting spread of tensile strength values with approximately the same mineralogical composition of the core material and shows the effect of dispersity of lithofacies constituents.

Keywords: rock, mechanical properties, mineralogy, indentation.

Современные подходы к исследованию керна отличаются углубленной оценкой влияния неоднородностей горной породы на ее механические свойства. Подробная детализация лежит в основе концепции цифрового керна, активно развиваемой в последние годы [1]. Одним из путей реализации обозначенного подхода является дюрометрическое исследование прочностных характеристик, позволяющее локализовать зону исследования до нескольких миллиметров, и подробно изучить влияние минералогического состава [2].

Объекты и методики исследований. В качестве объектов исследований использованы образцы керна стандартных размеров $\varnothing 30 \times 60$. Для оценки их прочностных свойств применяли оригинальную методику индентирования, которая помимо прочности при сжатии позволяет также определить модуль Юнга исследуемой области горной породы [3]. Концептуальная задача по оценке влияния минералогического состава на прочностные характеристики решалась посредством механического отбора пробы из области керна, подвергнутой индентированию с последующим анализом на рентгеновском дифрактометре SmartLab SE Ригаку 100000010411. Объем

отобранной пробы не превышал нескольких кубических миллиметров, что обеспечивало возможность неоднократного повторения исследования на торцевой поверхности стандартного керна. Дополнительные исследования по оценке дисперсионного состава исследуемых образцов горных пород осуществляли с помощью электронного микроскопа TESKAN.

Результаты исследований и их обсуждение. Влияние минералогического состава на прочностные и упругие характеристики выявило дополнительный аспект по теме исследований. Как будет показано ниже, в некоторых случаях наблюдается существенный разброс итоговых показателей прочности при близких по соотношениям концентрациям минералов, составляющих керновый образец. Речь идет о необходимости учета зернистого состава горной породы, и, как следствие, – его связи с локальной пористостью.

В приведенном на рис. 1 результате исследований показано, что в некоторых случаях образцы, состоящие преимущественно из доломита, отличаются достаточно однородным распределением свойств по объему. Отмеченная особенность в полной мере подтверждает первоначальную гипотезу исследований о влиянии минералогии на локальную неоднородность. Отмеченный аспект в первом приближении применяется для построения моделей цифрового геомеханического керна с учетом возможности компьютерной гомогенизации распределенных пор [1].

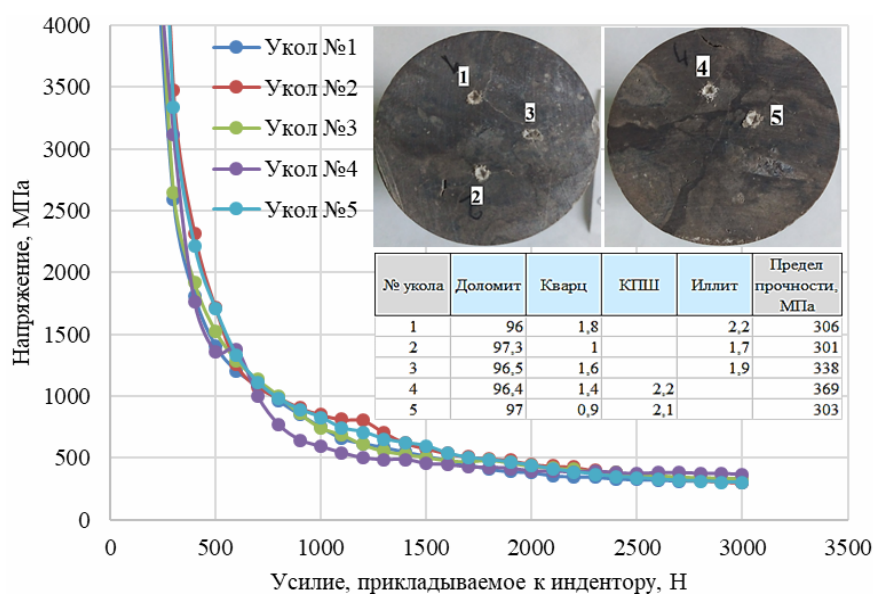


Рис. 1. Исследование образца керна скважины № 160q Мармовичского месторождения (горизонт – D3el; глубина – 3068,56 м)

Однако подобное упрощение не является универсальным граничным условием. Результаты исследований достаточно разнородных по своему составу образцов показали влияние размерного фактора – степени дисперсности зерен породы на ее характеристики. В частности, результаты, представленные на рис. 2, показывают, что испытания под номером 4 и 5 (укол 4 и укол 5) произведены для зонального объема горной породы с подавляющим преобладанием кальцита – 97,07 и 98,4 % соответственно. Полученные результаты (178 и 80 МПа) различаются практически в два раза. Учитывая высокий уровень адаптации индентора к реакциям испытываемого материала за счет многократного повторения испытания с постепенным возрастанием при-

Секция 6. Геология и разработка нефтяных и газовых месторождений 205

кладываемой нагрузки, можно сделать вывод о достаточно высокой зависимости конечного результата от дополнительного фактора, которым в нашем случае является размер зерен.

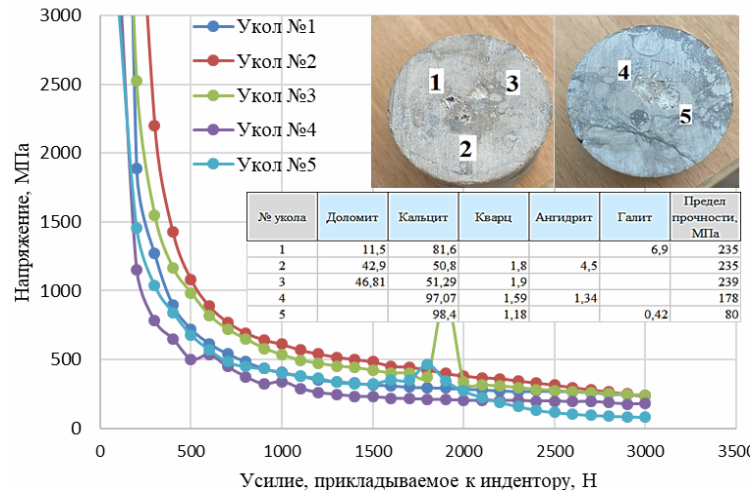


Рис. 2. Исследование образца керна скважины № 3 Бескопыльновского месторождения (горизонт – D3sr; глубина – 3079,57 м)

Для проверки указанного предположения образец, представленный на рис. 2, был дополнительно исследован с помощью электронной микроскопии. Ее результат подтвердил наличие разномасштабного строения породы в окрестности уколов 4 и 5. Проведенный анализ поверхности образца керна со сбором спектральной информации с отдельных площадок показал наличие под индентором двух разных литофаций (рис. 3), а также разномасштабное строение литофаций одного минералогического состава, что непосредственно оказывает существенное влияние на результат индентирования.

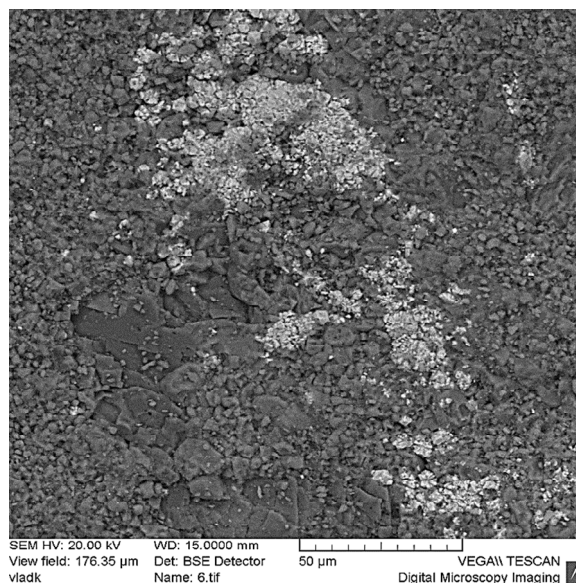


Рис. 3. Морфология разномасштабного строения поверхности керна с выраженным наличием двух разнородных литофаций

Таким образом, проведенные исследования показали эффективность предложенного метода определения упруго-прочностных свойств горных пород с высокой степенью неоднородности по сравнению с одноосным сжатием. Установлено, что разнородное строение литофаций одного минералогического состава оказывает существенное влияние на упруго-прочностные свойства.

Литература

1. Начев, В. А. Физико-математическое моделирование процессов механического разрушения пород-коллекторов в микро- и наномасштабах / В. А. Начев, А. В. Казак, С. Б. Турунтаев // ПРОНЕФТЬ. – 2019. – декабрь. – Вып. 4. DOI: 10/24887/2587-7399-2019-4-48-55
2. К вопросу использования индентирования для исследования свойств породы / И. Н. Степанкин [и др.] // SPE International : материалы Рос. нефтегаз. техн. конф., Москва, 12–15 окт. 2021 г. – М., 2021. – 11 с.
3. Способ определения предела прочности на сжатие образца горной породы : пат. 23260 Респ. Беларусь, МПК (2006.1) G 01 N 3/32 / Степанкин И. Н., Халецкий А. В., Ткачев В. М., Гутман Р. Е. ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Опубл. 30.12.20.

УДК 004.942:622.276

**ЦИФРОВАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИ КЕРНА**

Н. В. Бочаров, В. М. Ткачев

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

И. Н. Степанкин, Р. Е. Гутман

БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», г. Гомель

Представлены результаты применения принципов 3D-моделирования в отношении макроструктуры образцов горных пород. Проведены эксперименты по сегментации исходного рентгеновского изображения. На их основе построена конечно-элементная модель керна, пригодная для виртуального исследования с целью анализа напряженно-деформированного состояния и моделирования других геомеханических исследований.

Ключевые слова: цифровой керн, геомеханика, компьютерная томография, сегментация.

DIGITAL INTERPRETATION OF THE GEOMECHANICAL CORE MODEL

N. V. Bocharov, V.M. Tkachev

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

I. N. Stepankin, R. E. Hutman

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

The paper presents the results of the principles of 3D modeling application in relation to the macrostructure of rock samples. Experiments were carried out to make a segmentation of the original X-ray image. On their basis a finite element model of the core was built, suitable for virtual research in order to analyze the stress-strain state and simulate other geomechanical research.

Keywords: digital core, geomechanics, computerized tomography, segmentation.

Цифровой керн – это мультимасштабная (от метров до нанометров) компьютерная совокупность данных об образце горной породы, включающая объемную 3D-модель образца, построенную на основе изображений рентгеновской компьютерной томографии (КТ). Она содержит информацию о петрофизических, механических свойствах, а также информацию и о минеральном составе породы. Сегодня цифровое моделирование керна становится одним из традиционных лабораторных исследований, а иногда является единственно возможным.

В некоторых статьях рассматриваются цифровые модели образцов керна, применяемые для оценки фильтрационно-емкостных свойств [1–4]. Размеры таких образцов не превышают нескольких миллиметров. Образцы, применяемые для таких исследований, представляют собой материал с равномерно распределенной микропористостью, и не учитывают распространенную в Припятском прогибе вторичную неоднородность горных пород, представленную кавернами и трещинами. Данный факт не позволяет использовать эти модели для оценки упруго-прочностных характеристик пласта-коллектора.

Целью данной работы является анализ современных возможностей построения цифровых аналогов геомеханических моделей стандартных образцов керна для компьютерной топологической верификации их лабораторных исследований.

Высокая дискретизация томографической съемки – до 1–2 мкм осуществляется путем существенного уменьшения размеров образца – кусочки объемом несколько кубических миллиметров. Такой образец представляет собой однородный микропористый материал. Подобные модели применяются для моделирования характеристик проницаемости, многофазного течения, а также эффектов смачиваемости и капиллярности. Уменьшение образца приводит к существенному повышению объема информации, хранящейся в снимках КТ. Обработка таких изображений и создание на их основе 3D-моделей высокодетализированных структур, а также дальнейшее моделирование требует чрезвычайно больших вычислительных мощностей.

Высокое разрешение КТ не позволяет увеличить размер исследуемого образца до таких масштабов, которые помимо микропор могли бы учитывать еще и макрообъекты в виде крупных каверн и трещин, имеющих более высокое значение для геомеханических исследований.

Далее авторами статьи предлагается новый подход к созданию цифровой модели стандартного образца керна с сохранением макронеоднородностей, которые в большей степени влияют на прочностные характеристики образца.

Для создания цифровых геомеханических моделей керна необходимо использование стандартных образцов с размерами – $\varnothing 30 \times 60$ мм. Томографическая съемка стандартных образцов возможна только с небольшим разрешением (около 30 мкм). При низкой степени дискретизации микропористость становится неразрешенной, но при этом сохраняются крупные макродефекты образца, именно они и влияют на упруго-прочностные свойства.

На этапе сегментации изображений компьютерной томографии, т. е. выделения различных фаз, неразрешенная микропористость (рис. 1) определяется как матрица, а каверны и трещины – как пустотное пространство. Данный подход позволяет сохранить именно геомеханически важные элементы, отражающие анизотропию керна.

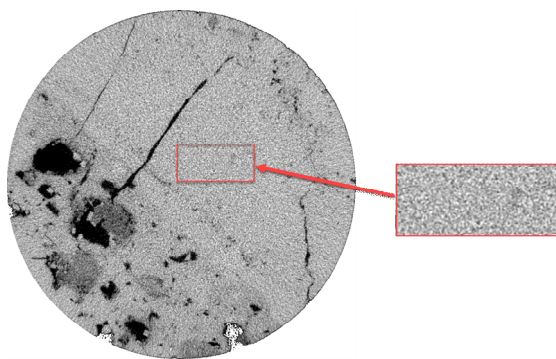


Рис. 1. Неразрешенная микропористость на снимке компьютерной томографии стандартного образца ядра

Для сохранения влияния микропор на этапе моделирования предлагается замена матрицы с неразрешенной микропористостью однородным материалом путем использования специальных алгоритмов, реализованных в различных программных продуктах для конечно-элементного анализа, например, алгоритм Друкера–Прагера. Таким образом, моделируется поведение конкретного образца ядра, при этом механические свойства его матрицы, во многом обусловленные литологически, определяются методом индентирования реальных образцов. Применение индентирования обусловлено тем фактом, что этим испытанием охватывается небольшой локально однородный объем образца, следовательно, на его результаты оказывает влияние микропористость, не учтенная при построении цифровой модели.

В качестве примера для опробования методики был выбран образец ядра с геометрическими размерами $\varnothing 29,92 \times 61,76$ мм, отобранный из скважины № 524 5–6 пачки Речицкого месторождения. Создание объемной 3D-модели и конечно-элементной модели проводилось в специализированном ПО Avizo. Моделирование и анализ напряженно-деформированного состояния были осуществлены с помощью программного пакета ANSYS. Результат создания цифрового геомеханического ядра представлен на рис. 2.

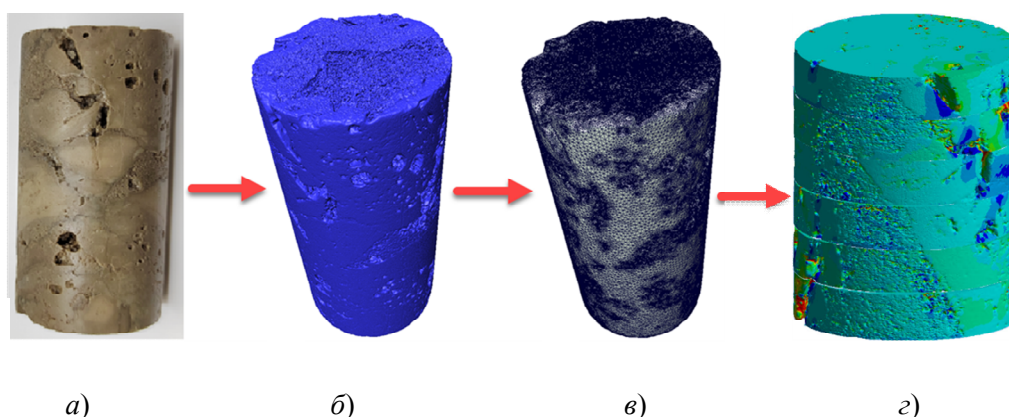


Рис. 2. Этапы создания цифровой геомеханической модели стандартного образца ядра № 5862 524 скважины Речицкого месторождения (слева-направо): а – КТ реального образца; б – создание объемной 3D-модели; в – создание конечно-элементной модели; г – распределение полей напряжений, полученных в результате численного моделирования

Таким образом, разработанный алгоритм сегментации – децимации результатов компьютерной томографии натурального образца керна горной породы позволил реализовать концепцию цифрового геомеханического керна в части оценки напряженно-деформированного состояния в окрестности макродефектов – крупных каверн и трещин. Этапы реализации алгоритма обеспечивают продуктивное решение таких современных задач в отрасли нефтедобычи, как топологическая верификация результатов лабораторных исследований керна, создание виртуального кернохранилища и многократное использование одного и того же цифрового двойника для различных геомеханических тестов без опасения внесения деструктивных изменений в структуру горной породы.

Литература

1. Повжик, П. П. Комплексные методические подходы к изучению нетрадиционных пород-коллекторов на кернах в Республике Беларусь / П. П. Повжик, А. А. Ерошенко, Е. П. Калейчик // Нефтяник Полесья. – 2022. – № 2. – С. 108–113.
2. Characterization of Coal Micro-Pore Structure and Simulation on the Seepage Rules of Low-Pressure Water Based on CT Scanning Data / G. Zhou [et al.]. // Minerals. – 2016. – Vol. 6, iss. 78. <https://doi.org/10.3390/min6030078>
3. Kamaljit Singh Partial dissolution of carbonate rock grains during reactive CO₂-saturated brine injection under reservoir conditions / Singh Kamaljit [et al.]. // Advances in – Water Resources. – 2018. – Vol. 122. – P. 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.09.005>
4. Визуализация качества трехмерных томографических изображений при создании цифровой модели керна / А. С. Корнилов [и др.] // Науч. визуализация. – 2020. – № 12.1. – С. 70–82. DOI: 10.26583/sv.12.1.06

СЕКЦИЯ 7. ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

УДК 232.4

ТОЧЕЧНОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ ЛИНИИ РОСТА ДЕНДРИТА В ПЕРЕОХЛАЖДЕННОМ РАСПЛАВЕ

О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль, И. А. Концевой

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Дано аналитическое описание возбужденного состояния стационарного контура свободного дендрита на конечном удалении от его вершины. Построены два варианта точечного возмущения линии роста: монотонный (экспоненциальный по координате) и немонотонный (имеющий вид уединенной волны).

Ключевые слова: дендритный рост, морфологические свойства фазовой границы кристаллизации, боковая ветвь дендрита.

POINT PERTURBATION OF THE DENDRITE GROWTH LINE IN A SUPERCOOLED MELT

O. N. Shablovsky, D. G. Krol, I. A. Kontsevoy

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The article considers the analytical description of excited state of stationary loop of free dendrite at final distance from its apex. There are two variants of the point perturbation of the growth line: monotonic (exponential in coordinate) and non-monotonic (having the appearance of a secluded wave).

Keywords: dendritic growth, morphological properties of phase boundary of crystallization, lateral branch of dendrite.

Разработка новых технологий получения материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами требует решения теоретических и экспериментальных задач высокоскоростной кристаллизации чистых веществ. Дендритный режим роста кристалла в условиях высокоскоростной кристаллизации наблюдается при достаточно глубоких переохлаждениях ΔT расплава. При изучении эволюции дендрита принципиально важен вопрос о морфологической устойчивости фазовой границы кристаллизации (ФГК). Предвестниками бокового ветвления дендрита являются изломы, изгибы и складки, генерирующие неустойчивость поверхности роста [1]. Цель работы – изучить воздействие волновых возмущений на дендритный режим роста кристалла.

Моделируем ФГК плоской линией сильного разрыва $x - F(y, t) = 0$. Здесь t – время; координата x направлена вдоль оси симметрии в сторону твердой фазы; y – поперечная декартова координата. Нормаль \mathbf{n} границы образует с осью x угол θ : $\cos \theta = 1/G$, $G = (1 + (\partial F / \partial y)^2)^{1/2}$. ФГК перемещается со скоростью N справа налево

($N = Nn$, $N < 0$) и на ее вершине $\partial F / \partial y = 0$, $\cos \theta = 1$. По мере удаления от вершины $\theta \rightarrow \pi/2$. Угол заострения линии роста равен $\theta_1 = (\pi/2) - \theta$. Уравнение роста записываем в виде [2]:

$$\partial^2 F / \partial y^2 = \alpha B + \varphi (\partial F / \partial t) [1 + (\partial F / \partial y)^2], \quad \alpha = L / (UT_c), \quad \varphi = \alpha / \mu. \quad (1)$$

Здесь μ – кинетический коэффициент роста; $B = T_c - T_j(\theta = 0)$ – переохлаждение ФГК на вершине дендрита; μB – модуль характерной скорости роста на вершине. Остальные условные обозначения такие же как в работе [3]. Расплав находится в однородном отрелаксировавшем состоянии.

После линеаризации уравнения (1) на точном решении

$$F^0 = A_1 t + A_2 y, \quad A_1 = -\mu B / (1 + A_2^2) < 0, \quad A_2 \equiv \text{const} \quad (2)$$

получаем:

$$F(y, t) = F^0(y, t) + f(y, t), \quad \partial^2 f / \partial y^2 = B_1 (\partial f / \partial y) + B_2 (\partial f / \partial t); \quad (3)$$

$$B_1 = 2\varphi A_1 A_2 < 0, \quad B_2 = (1 + A_2^2)\varphi > 0.$$

Здесь $f(y, t)$ – малая добавка к основному решению (2). Далее выполняем сдвиг по координате, $y \rightarrow y - Y_1 \geq 0$, где $Y_1 > 0$ – координата, соответствующая начальному поперечному сечению.

В данной работе числовые расчеты проведены для меди при следующих значениях теплофизических параметров: $T_c = 1357$ К, $L = 1,77 \cdot 10^9$ Дж/м³, $c = 4,17 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К), $\lambda = 317$ Вт/(м·К), $U = 1,351$ Дж/м², $\gamma = 4,755 \cdot 10^{-8}$ с, $\mu = 10,056$ м/(К·с), $T_* = 1177$ К, $N_b = 11,0$ м/с. Все расчеты выполнены в безразмерных величинах. Соответствие между безразмерными и размерными параметрами выглядит так: $A_1 \rightarrow (A_1 t_b / y_b) = (-N_b t_b / y_b)$, $B_1 \rightarrow B_1 y_b$, $B_2 \rightarrow (B_2 y_b^2 / t_b)$. Индексом b отмечены масштабы величин, применяемые при обезразмеривании: $t_b = 10^{-7}$ с, $y_b = 10^{-6}$ м.

Решение уравнения (3) имеет вид:

$$f/H = \frac{1}{t^{1/2}} \exp\left(h_1 t + h_2 y - \frac{y^2 B_2}{4t}\right), \quad y \geq 0, \quad t > 0, \quad (4)$$

где H – произвольная малая постоянная. Согласно (4), исходное возмущение линии роста локализовано в точке $y = 0$ при $t = +0$. Это видно из того, что $f = 0$ при $y = +0$, $t \rightarrow 0$, и вместе с тем $f \rightarrow \infty$ для $y = 0$, $t = +0$. При каждом конечном $y > 0$ функция $f(y, t)$ в (4) является немонотонной по отношению к аргументу t : $\partial f / \partial t = 0$ вдоль линии $y_m(t) = (2t - 4h_1 t^2)^{1/2} / \sqrt{B_2}$, на которой f/H достигает своего максимального по $t > 0$ значения. Скорость перемещения этой линии равна:

$$V_m(t) = \frac{(1-4h_1t)}{\sqrt{B_2(2t-4h_1t^2)^{1/2}}}, \quad t > 0; \quad V_m(t \rightarrow \infty) = \frac{2\sqrt{-h_1}}{\sqrt{B_2}} = \frac{-2A_1A_2}{(1+A_2^2)}. \quad (5)$$

Здесь (5) – немонотонная функция аргумента $A_2 > 0$, она имеет максимум при $A_2 = 1$. Перечисленные свойства точечного возмущения (4) иллюстрируются результатами численных расчетов на рис. 1.

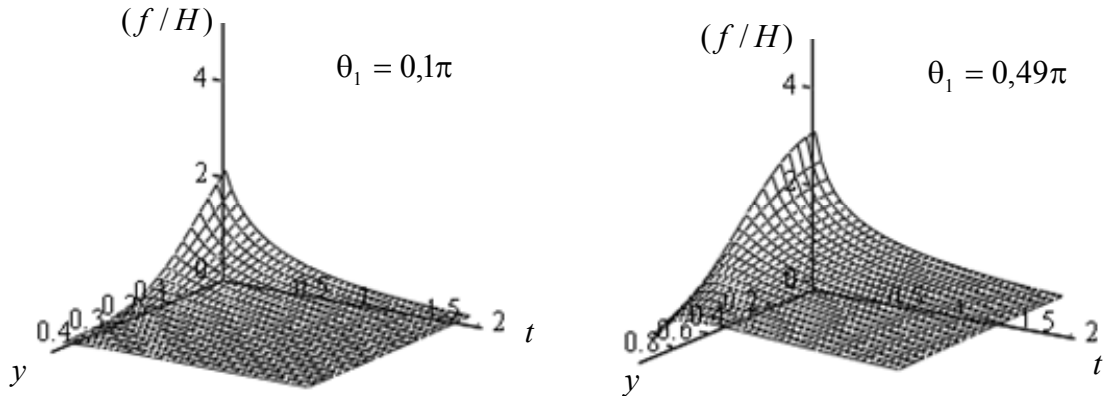


Рис. 1. Точечное возмущение (4): пространственно-временной портрет линии роста

Обсудим еще одно решение уравнения (3):

$$f/H = \frac{y}{t^{3/2}} \exp\left(h_1t + h_2y - \frac{y^2B_2}{4t}\right). \quad (6)$$

В отличие от (4) здесь имеем немонотонность по отношению к обоим аргументам y, t . Действительно, возмущение обладает такими свойствами: 1) $y=0, t=+0, f=0$; $y \rightarrow \infty, t > 0, f=0$; 2) $y=+0, t=0, f \rightarrow 0$; $y=+0, t \rightarrow \infty, f \rightarrow 0$. Функция f/H достигает максимума по отношению к аргументу $y > 0$ вдоль линии

$$y_m^{(1)}(t) = \frac{1}{B_2} [h_2t + (h_2^2t^2 + 2B_2t)^{1/2}];$$

$$V_m^{(1)}(t) = \frac{dy_m^{(1)}(t)}{dt} = \frac{1}{B_2} \left[h_2 + \frac{(h_2^2t + B_2)}{(h_2^2t^2 + 2B_2t)^{1/2}} \right] > 0, \quad t > 0.$$

Отсюда получаем предельное значение $V_m^{(1)}(t \rightarrow \infty) = 0$. Функция (6) достигает максимума по отношению к аргументу $t > 0$ вдоль линии

$$y_m^{(2)}(t) = \frac{1}{\sqrt{B_2}} (6t - 4h_1t^2)^{1/2}, \quad V_m^{(2)}(t) = \frac{dy_m^{(2)}(t)}{dt} = \frac{(3-4h_1t)}{\sqrt{B_2(6t-4h_1t^2)^{1/2}}},$$

причем $V_m^{(2)}(t \rightarrow \infty) = 2\sqrt{-h_1/B_2}$, что совпадает с (5). Это соответствие говорит о единой физической природе возмущений. Решение (6) представляет собой уединенную волну возмущения. В этом случае пространственно-временной портрет линии роста имеет морфологические свойства (рис. 2), структурно отличающиеся от свойств точечного возмущения.

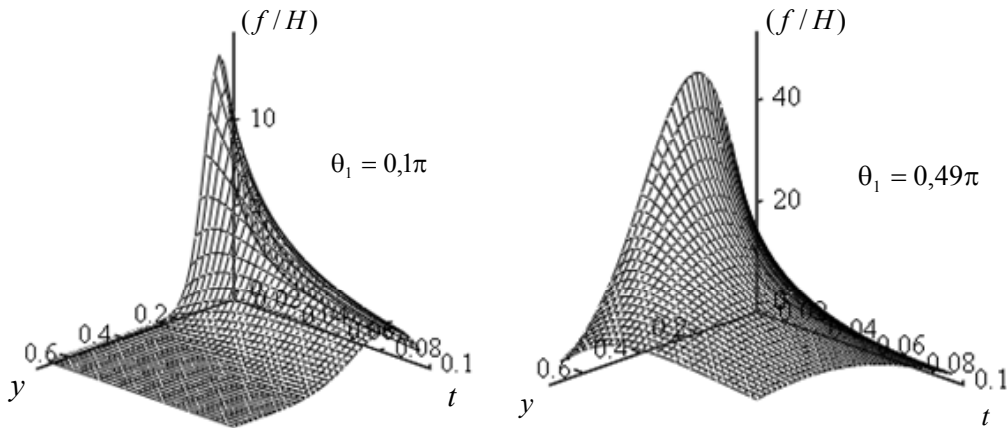


Рис. 2. Уединенная волна (6): нестационарные свойства возмущения

Дано аналитическое описание возбужденного состояния стационарного контура свободного дендрита на конечном удалении от его вершины. Построены два варианта точечного возмущения линии роста: монотонный (экспоненциальный по координате) и немонотонный (имеющий вид уединенной волны).

Литература

1. Strickland, J. On Directional Dendritic Growth and Primary Spacing – A Review / J. Strickland, B. Nenchev // *Crystals*. – 2020. – Vol. 10, N 7. – P. 627.
2. Шабловский, О. Н. Производство энтропии на фазовой границе кристаллизации / О. Н. Шабловский // *Поверхность, синхротронные и нейтронные исследования*. – 2010. – № 12. – С. 81–87.
3. Шабловский, О. Н. Динамика неустойчивости волновых возмущений и боковое ветвление дендрита в переохлажденном расплаве / О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль // *Успехи приклад. физики*. – 2022. – Т. 10, № 2. – С. 189–202.

UDC 539.12

NEW HEAVY GAUGE BOSONS DECAYING TO PAIR OF ELECTROWEAK BOSONS AT LHC AND HL-LHC WITH ATLAS

I. A. Serenkova, A. A. Pankov

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The expected ATLAS Run 3 data set with time-integrated luminosity of 300 fb^{-1} and HL-LHC option of the LHC with $L = 3000 \text{ fb}^{-1}$ in the diboson channels in semileptonic final states are used to probe a simple benchmark model with an extended gauge sector, proposed by Altarelli et al. This model accommodates new charged W' and neutral Z' vector bosons with modified trilinear Standard Model gauge couplings, decaying into electroweak gauge boson pairs WZ

or WW , where W/Z decay semileptonically. We present upper limits on the mixing parameters, $W-W'$ and $Z-Z'$, by using the expected Run 3 data and HL-LHC options of the LHC.

Keywords: gauge Z' and W' bosons, ATLAS experiment, Large Hadron Collider (LHC).

The High Luminosity LHC (HL-LHC) upgrade will eventually collect an integrated luminosity of 3 ab^{-1} of data in pp collisions at a centre-of-mass energy of 14 TeV, which should maximise the LHC potential to uncover new phenomena [1]. One of the main aims of the physics programme at the Large Hadron Collider (LHC) is to search for new phenomena that become visible in high-energy proton-proton collisions. A possible signature of such new phenomena would be the production of a heavy resonance with its subsequent decay into a final state consisting of a pair of fermions or vector bosons. Many new physics scenarios beyond the Standard Model (SM) predict such a signal. Possible candidates are charged and neutral heavy gauge bosons. In the simplest models these particles are considered copies of the SM W and Z bosons and are commonly referred to as W' and Z' bosons [2]. In the Sequential Standard Model (SSM) [3] the W'_{SSM} and Z'_{SSM} bosons have couplings to fermions that are identical to those of the SM W and Z bosons, but for which the trilinear couplings WWZ and $Z'WW$ are absent. The SSM has been used as a reference for experimental W' and Z' boson searches for decades, the results can be reinterpreted in the context of other models of new physics, and it is useful for comparing the sensitivity of different experiments.

At the LHC, such heavy W' and Z' bosons could be observed through their single production as s -channel resonances with subsequent leptonic decays

$$pp \rightarrow W'X \rightarrow lvX \quad (1)$$

and

$$pp \rightarrow Z'X \rightarrow l^+l^-X \quad (2)$$

respectively, where in what follows, $l = e, \mu$ unless otherwise stated. The production of W' and Z' bosons at hadron colliders is expected to be dominated by the process $q\bar{q}'/q\bar{q} \rightarrow W'/Z'$. Leptonic final states provide a low-background and efficient experimental signature that results in excellent sensitivity to new phenomena at the LHC.

Heavy resonances that can decay to gauge boson pairs are predicted in many scenarios of new physics, including extended gauge models (EGM) [3], models of warped extra dimensions [4], technicolour models [5] associated with the existence of technirho and other technimesons, more generic composite Higgs models, and the heavy vector-triplet (HVT) model, which generalises a large number of models that predict spin-1 charged (W') and neutral (Z') resonances etc. Searches for exotic heavy particles that decay into WZ or WW pairs are complementary to searches in the leptonic channels lv and l^+l^- of the processes (1) and (2). Moreover, there are models in which new gauge boson couplings to SM fermions are suppressed, giving rise to a fermiophobic W' and Z' with an enhanced coupling to electroweak gauge bosons. It is therefore important to search for W' and Z' bosons also in the WZ and WW final states.

Cross section and numerical analysis. Here, we will consider a new physics (NP) model where Z' interacts with light quarks and charged gauge bosons via their mixing with the SM Z assuming that the Z' couplings exhibit the same Lorentz structure as those

of the SM. In particular, in the present analysis we will focus on a gauge boson of the SSM and EGM. Here, we will consider a new physics (NP) model where Z' interacts with light quarks and charged gauge bosons via their mixing with the SM Z assuming that the Z' couplings exhibit the same Lorentz structure as those of the SM. In particular, in the present analysis we will focus on a gauge boson of the EGM. In the simple reference model described in [3], the couplings of the Z' boson to fermions (quarks, leptons) and W bosons are a direct transcription of the corresponding standard-model couplings. Note that such a Z' boson is not expected in the context of gauge theories unless it has additional couplings to exotic fermions. However, it serves as a useful reference case when comparing constraints from various sources.

In many extended gauge models, while the couplings to fermions are not much different from those of the SM, the $Z'WW$ coupling is substantially suppressed with respect to that of the SM. In fact, in an extended gauge model the standard-model trilinear gauge boson coupling strength, $g_{WWZ} (= \cot\theta_W)$, is replaced by $g_{WWZ} \rightarrow \xi_{Z-Z'} g_{WWZ}$, where $\xi_{Z-Z'} = C(M_W/M_{Z'})^2$ is the mixing factor and C the coupling strength scaling factor. One should note that most Z' search results report mass limits along the $\xi_{Z-Z'} = (M_W/M_{Z'})^2$ line ($C=1$ is referred to as “reference model”) EGM and we have also done so for comparison.

The number of signal events for a narrow Z' resonance state can be written as follows

$$N^{Z'} = L \varepsilon A_{\text{ww}} \sigma(pp \rightarrow Z') BR(Z' \rightarrow W^+W^-). \quad (3)$$

In the calculation of the total width $\Gamma_{Z'}$ we included the following channels: $Z' \rightarrow f \bar{f}, W^+W^-$, and ZH [10], where H is the SM Higgs boson and f are the SM fermions $f = l, \nu, q$. The total width $\Gamma_{Z'}$ of the Z' boson can be written as follows:

$$\Gamma_{Z'} = \sum_f \Gamma_{Z'}^{f\bar{f}} + \Gamma_{Z'}^{WW} + \Gamma_{Z'}^{ZH} \quad (4)$$

The expression for the partial width of the $Z' \rightarrow W^+W^-$ decay channel can be written as [3]:

$$\Gamma_{Z'}^{WW} = \frac{\alpha}{48} \cot^2 \theta_W M_{Z'} \left(\frac{M_{Z'}}{M_W} \right)^4 \left(1 - 4 \frac{M_W^2}{M_{Z'}^2} \right)^{3/2} \times \left[1 + 20 \left(\frac{M_W}{M_{Z'}} \right)^2 + 12 \left(\frac{M_W}{M_{Z'}} \right)^4 \right] \xi_{Z-Z'}^2. \quad (5)$$

Here, we utilize the expected measurement of diboson processes provided by ATLAS for time-integrated luminosity of 300 fb^{-1} (Run 3) and 3000 fb^{-1} (HL-LHC). As mentioned above, ATLAS analyzed the WZ production (6) through the seileptonic final states.

Fig. 1 shows the expected 95% C. L. upper limits on the production cross section times the branching fraction for a s a function of $Z'(W')$ mass [8], $M_{Z'} (M_{W'})$. We found that the minimum observed exclusion limit on $\xi_{W-W'}$ as small $\cong 1.7 \cdot 10^{-4} (9.3 \cdot 10^{-5})$ for 300 (3000) fb^{-1} .

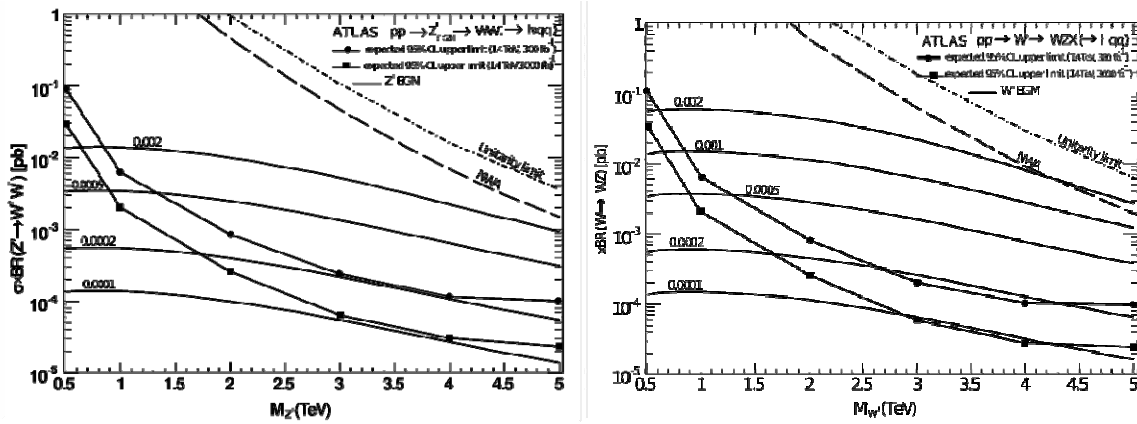


Fig. 1. Expected 95% C. L. upper limits on the production cross section times the branching fraction for $Z' \rightarrow W^+W^-$ ($W' \rightarrow WZ$) as a function of Z' (W') mass, Z'_{EGM} (W'_{EGM}). Theoretical production cross sections $\sigma BR(Z'_{EGM} \rightarrow W^+W^-)$ ($\sigma BR(W'_{EGM} \rightarrow WZ)$) for Z'_{EGM} (W'_{EGM}) are calculated from PYTHIA 8.2, and given by thin solid curves. Labels attached to the curves for the W'_{EGM} cross section correspond to the considered mixing factor $\xi_{Z-Z'}$ ($\xi_{W-W'}$)

If a new W' (Z') bosons exist in the mass range 3 ~ 5 TeV, its discovery is possible at the LHC in the Drell – Yan channels, (1) and (2). Moreover, the detection of the $Z' \rightarrow WW$ ($W' \rightarrow WZ$) mode is eminently possible and would presents an analysis of $Z - Z'$ ($W - W'$) mixing in the process of WW (WZ) pair production. The present analysis is based on the expected pp collision data at a center-of-mass energy at the LHC with integrated luminosities of 300 fb^{-1} and 3000 fb^{-1} . We show that the expected constraints on the mixing parameters, $\xi_{Z-Z'}$ and $\xi_{W-W'}$, achieved from the analysis of data to be collected in Run 3 as well as at the next option of hadron collider HL-LHC, can be substantially improved with respect to those obtained from the LHC Run 1 and Run 2 at 13 TeV [1–5].

References

1. Report from Working Group 3: Beyond the Standard Model physics at the HL-LHC and HE-LHC / X. Cid Vidal [et al.] // CERN Yellow Rep. Monogr. – 2019. – Vol. 7. – P. 585.
2. Review of Particle Physics / P. A. Zyla [et al.] ; Particle Data Group // PTEP. – 2020. – N 8. – P. 083C01.
3. Altarelli, G. Searching for New Heavy Vector Bosons in $p\bar{p}$ Colliders / G. Altarelli, B. Mele and M. Ruiz-Altaba // Z. Phys. – 1989. – Vol. C 45. – P. 109.
4. Randall, L. A Large mass hierarchy from a small extra dimension / L. Randall, R. Sundrum // Phys. Rev. Lett. – 1999. – Vol. 83. – P. 3370.
5. Eichten, E. Low-scale technicolor at the Tevatron and LHC / E. Eichten, K. Lane // Phys. Lett. – 2008. – Vol. B669. – P. 235.

УДК 532.516

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОСКИХ ШАРНИРНЫХ МЕХАНИЗМОВ СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЫ

Д. Г. Кроль, Н. В. Иноземцева

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Проведен кинематический анализ плоских шарнирных механизмов с группой Ассура III или IV класса. Построена математическая модель кинематического анализа. Реализована программа расчета в математическом пакете MathCad. Представлены графики зависимостей кинематических параметров для всех звеньев группы Ассура.

Ключевые слова: кинематический анализ, плоский шарнирный механизм, группа Ассура III класса, группа Ассура IV класса.

KINEMATIC CHARACTERISTICS OF FLAT HINGE MECHANISMS WITH COMPLICATED STRUCTURE

D. G. Kroll, N. V. Inozemtseva

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

A kinematic analysis is carried out for flat hinge mechanisms with Assur groups of 3rd or 4th class. A mathematical model of the kinematic analysis is built. The calculation program is realized in the MathCad package. For all links of Assur groups dependences of kinematic parameters are presented.

Key words: kinematic analysis, flat hinge mechanisms, Assur groups of 3rd class, Assur groups of 4th class.

Плоские рычажные механизмы получили широкое распространение в современных машинах, подавляющее большинство которых базируется на группах Ассура II класса. Для таких механизмов уже разработаны методы кинематического исследования [1, 2]. Плоские механизмы, в состав которых входят группы Ассура III и (или) IV класса (механизмы сложной структуры), все чаще используются в современной технике: в технологических машинах легкой промышленности, в горнодобывающей технике и т. д. [3]. Данные механизмы имеют более широкие кинематические возможности для получения нужных для промышленности законов движения выходного звена. Однако долгое время их применение ограничивалось малой изученностью, сложностью кинематического анализа и синтеза. Следовательно, разработка методов и выполнение кинематического исследования механизмов сложной структуры является задачей весьма актуальной.

Цель работы – определение кинематических характеристик плоских шарнирных механизмов с группой Ассура III или IV класса.

Рассмотрим два плоских шарнирных рычажных механизма, содержащих группу Ассура III класса (рис. 1, а) и группу Ассура IV класса (рис. 1, б).

Для решения первой задачи кинематики для каждой схемы механизма рассмотрим по два контура.

Механизм с группой Ассура III класса:

$$\vec{r}_A + \vec{r}_{AB} + \vec{r}_{BC} = \vec{r}_F + \vec{r}_{FC}, \quad \vec{r}_A + \vec{r}_{AB} + \vec{r}_{BD} = \vec{r}_E + \vec{r}_{ED}. \quad (1)$$

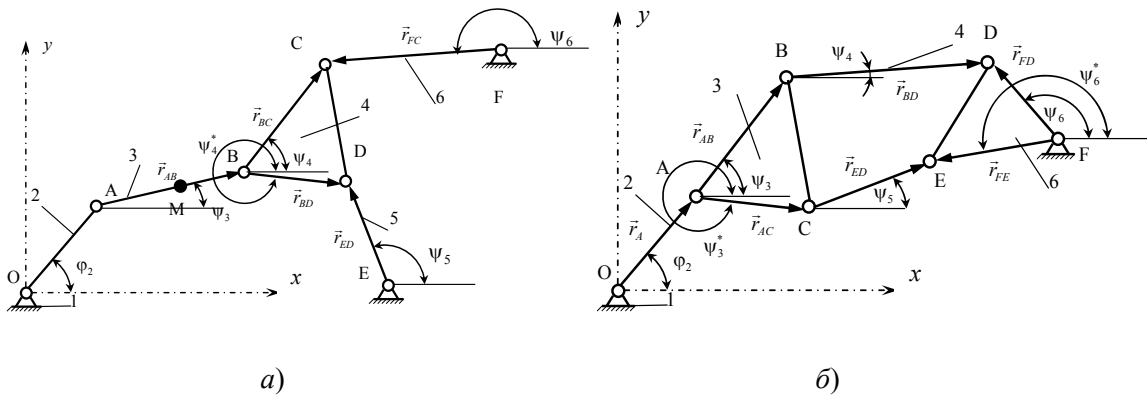


Рис. 1. Схемы механизма с группой Ассур III (а) и IV (б) класса и расположение векторов для кинематического анализа

Спроецируем векторные уравнения (1) на координатные оси x и y и получим систему четырех нелинейных уравнений с четырьмя неизвестными $\psi_3, \psi_4, \psi_5, \psi_6$:

$$\begin{aligned} x_A + l_{AB} \cos \psi_3 + l_{BC} \cos \psi_4 &= x_F + l_{CF} \cos \psi_6, & y_A + l_{AB} \sin \psi_3 + l_{BC} \sin \psi_4 &= y_F + l_{CF} \sin \psi_6, \\ x_A + l_{AB} \cos \psi_3 + l_{BD} \cos(\psi_4^*) &= x_E + l_{DE} \cos \psi_5, & y_A + l_{AB} \sin \psi_3 + l_{BD} \sin(\psi_4^*) &= y_E + l_{DE} \sin \psi_5. \end{aligned} \quad (2)$$

$$x_A - l_{OA} \cos \varphi_2, \quad y_A = l_{OA} \sin \varphi_2, \quad \psi_4^* = 2\pi - \angle CBD + \psi_4.$$

Механизм с группой Ассур IV класса:

$$\vec{r}_A + \vec{r}_{AB} + \vec{r}_{BD} = \vec{r}_F + \vec{r}_{FD}, \quad \vec{r}_A + \vec{r}_{AC} + \vec{r}_{CE} = \vec{r}_F + \vec{r}_{FE};$$

$$\begin{aligned} x_A + l_{AB} \cos \psi_3 + l_{BD} \cos \psi_4 &= x_F + l_{FD} \cos \psi_6, & y_A + l_{AB} \sin \psi_3 + l_{BD} \sin \psi_4 &= y_F + l_{FD} \sin \psi_6, \\ x_A + l_{AC} \cos \psi_3 + l_{CE} \cos(\psi_5) &= x_F + l_{FE} \cos \psi_6, & y_A + l_{AC} \sin \psi_3 + l_{CE} \sin(\psi_5) &= y_F + l_{FE} \sin \psi_6. \end{aligned} \quad (3)$$

$$x_A = l_{OA} \cos \varphi_2, \quad y_A = l_{OA} \sin \varphi_2, \quad \psi_3^* = 2\pi - \angle BAC + \psi_3,$$

$$\psi_6^* = \angle DFE + \psi_6, \quad \psi_6^* = \angle DFE + \psi_6, \quad \angle BAC = \arccos\{(l_{AB}^2 + l_{AC}^2 - l_{BC}^2)/(2l_{AB}l_{AC})\}.$$

Решение систему уравнений (2) или (3) находили численным методом с помощью математического пакета MathCad (неизвестными величинами являются параметры $\psi_3, \psi_4, \psi_5, \psi_6$). Единственность решения достигалась корректным заданием начального значения параметров $\psi_3, \psi_4, \psi_5, \psi_6$, которое было получено графоаналитическим способом с помощью метода геометрических мест [4]. Для определения скоростей и ускорений звеньев механизма воспользуемся системой уравнений (2) или (3). Например, для механизма с группой Ассур III класса продифференцируем систему уравнений (2) по φ_2 (здесь данные уравнения не приводятся) и получим систему четырех линейных алгебраических уравнений с четырьмя неиз-

вестными аналогами скоростей: $\frac{d\psi_3}{d_2}, \frac{d\psi_4}{d_2}, \frac{d\psi_5}{d_2}, \frac{d\psi_6}{d_2}$. Решаем полученную систему

четырёх уравнений с помощью математического пакета MathCad и определяем аналогии скоростей. Продифференцировав еще раз полученную систему уравнений по φ_2 , найдем систему четырех линейных алгебраических уравнений с четырьмя

аналогами ускорений: $\frac{d^2\psi_3}{d_2^2}, \frac{d^2\psi_4}{d_2^2}, \frac{d^2\psi_5}{d_2^2}, \frac{d^2\psi_6}{d_2^2}$. Полученную систему также решали

численным методом с помощью математического пакета MathCad.

Аналогичные уравнения можно получить и для механизма с группой Ассура IV класса.

Результаты расчетов. Приведем здесь результаты кинематического расчета механизма (рис. 1) при следующих входных параметрах: $l_{OA} = 0,1$ м, $l_{AB} = 0,3$ м, $l_{BD} = 0,2$ м, $l_{DE} = 0,3$ м, $l_{BC} = 0,2$ м, $l_{CF} = 0,3$ м, $l_{CD} = 0,2$ м, $x_F = 0,5$ м, $y_F = 0,2$ м, $x_E = 0,4$ м, $y_E = -0,2$ м. На рис. 2 приведены зависимости кинематических параметров 4-го звена от угла поворота 2-го кривошипа (для наглядности – на графиках угол φ_2 в градусах).

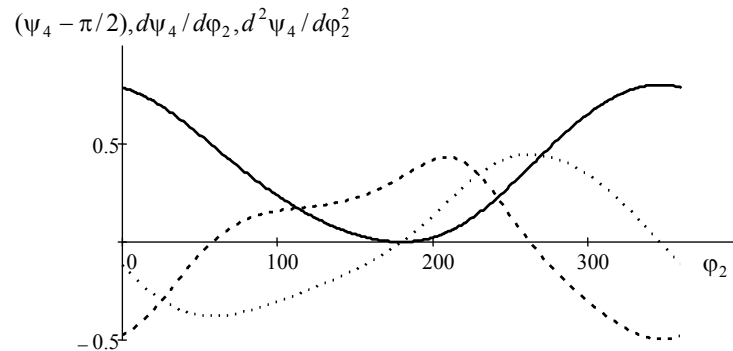


Рис. 2. Кинематические параметры 4-го звена:
координата $\psi_4 - \pi/2$ (сплошная линия),
аналог скорости $d\psi_4/d_2$ (пунктирная линия),
аналог ускорения $d^2\psi_4/d_2^2$ (штриховая линия)

В работе выполнен кинематический анализ плоских шарнирных механизмов сложной структуры. Получены формулы кинематического анализа для двух различных механизмов: с группой Ассура III класса и IV класса. Реализована программа расчета в математическом пакете MathCad. Представлены графики зависимостей кинематических параметров для всех звеньев группы Ассура.

Литература

1. Тащилин, Л. Н. Аналитический метод кинематического анализа рычажных механизмов / Л. Н. Тащилин // Computational nanotechnology. – 2018. – № 3. – С. 16–19.
2. Yamamoto, Tatsuya. Automated Kinematic Analysis of Closed-Loop Planar Link Mechanisms / Tatsuya Yamamoto, Nobuyuki Iwatsuki and Ikuma Ikeda // Machines. – 2020. – N 8, iss. 41. – P. 1–16.

3. Дворников, Л. Т. Кинематическое и кинетостатическое исследование двухсекционного грохота / Л. Т. Дворников, С. П. Стариков // Вестн. Кузбас. гос. техн. ун-та. – 2008. – № 1. – С. 44–46.
4. Пейсах, Э. Е. Определение положений звеньев трехпроводковой и двухпроводковой четырехзвенных групп Ассура с вращательными парами / Э. Е. Пейсах // Машиноведение. – 1985. – № 5. – С. 55–61.

УДК 539.12

СПИНОВАЯ СТРУКТУРА НУКЛОНА В ГЛУБОКОНЕУПРУГОМ РАССЕЯНИИ (АНТИ) НЕЙТРИНО НА ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ПРОТОНАХ И НЕЙТРОНАХ

Е. С. Тимошин, С. И. Тимошин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Получены вклады кварков и антикварков в нуклонный спин на основе измеряемых величин глубоконеупругого рассеяния (анти) нейтрино на поляризованных протонах и нейтронах с заряженным током.

Ключевые слова: протон, нейтрон, спин, нейтрино, кварк.

THE SPIN STRUCTURE OF THE NUCLEON IN THE DEEP INELASTIC SCATTERING (ANTI) NEUTRINO OFF POLARIZED PROTONS AND NEUTRONS

E. S. Timoshin, S. I. Timoshin

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The quark contributions in the nucleon spin were obtained from the measurable quantities of the deep inelastic scattering (anti) neutrino off polarized protons and neutrons with charged current.

Keywords: proton, neutron, spin, neutrino, quark.

Для решения проблемы спина нуклона важное значение имеет ароматовое разделение вкладов кварков и антикварков [1].

В настоящее время отдельно Δq и $\Delta \bar{q}$ получают из полуинклюзивного IN -ГНР [2]. Однако здесь данные существенно зависят от функций фрагментации [1, 3], что вносит в них дополнительные неопределенности. Разделение Δq и $\Delta \bar{q}$ возможно в процессах глубоконеупругого рассеяния (ГНР) нейтрино и антинейтрино на поляризованных мишенях с заряженным током [4, 5].

Нейтринные процессы имеют ряд преимуществ: естественная поляризация нейтрино, число поляризационных структурных функций (СФ) больше, чем для ГНР заряженных лептонов на нуклонах с электромагнитным током из-за несохранения четности в слабых взаимодействиях [4–6]. Поэтому нейтрино является удобным инструментом для изучения спиновой структуры нуклона.

Однако проведение нейтринных экспериментов с поляризованными мишенями связано с техническими трудностями, главная из которых – огромная масса мишени, необходимая для сбора нужной статистики. Светимость существующих нейтринных пучков потребует мишеней размером несколько метров, которые не могут быть поляризованы.

В то же время имеется перспектива [5, 7] получать высокофокусированные нейтринные пучки от распадов мюонов [8, 9] (нейтринные фабрики), для которых уже можно создать поляризованные мишени. В таком случае проведение нейтринных экспериментов с поляризованными мишенями представляется возможным в будущем. Это даст возможность получать новые данные по спиновой структуре нуклона, которые необходимы для проведения КХД-анализа всей совокупности поляризационных данных по аналогии с неполяризованными ГНР.

В связи с этим является актуальным изучение спиновой структуры нуклона в ГНР (анти) нейтрино на поляризованных мишенях (протонах, нейтронах, дейтронах).

В настоящей работе рассматриваются возможности получения вкладов кварков и антикварков в нуклонный спин на основе измеряемых величин (поляризационных асимметрий, первых моментов поляризационных СФ) ГНР нейтрино и антинейтрино на поляризованных протонах, нейтронах, дейтронах с заряженным и нейтральным токами.

Комбинирование поляризационных СФ протона g_1^p, g_6^p и нейтрона g_1^n, g_6^n в нейтринных процессах с заряженным током позволяет осуществить ароматовое разделение кварковых вкладов в спин нуклона (см., например, [10]).

Первые моменты этих СФ для протона [11] получены в виде

$$\begin{aligned}\Gamma_1^{vp}(Q^2) &= \Delta d(Q^2) + \Delta s(Q^2) + \Delta \bar{u}(Q^2), \\ \Gamma_6^{vp}(Q^2) &= \Delta d(Q^2) + \Delta s(Q^2) - \Delta \bar{u}(Q^2), \\ \Gamma_1^{\bar{v}p}(Q^2) &= \Delta u(Q^2) + \Delta \bar{d}(Q^2) + \Delta \bar{s}(Q^2), \\ \Gamma_6^{\bar{v}p}(Q^2) &= \Delta u(Q^2) - \Delta \bar{d}(Q^2) - \Delta \bar{s}(Q^2).\end{aligned}\quad (1)$$

Для первых моментов $\Gamma_{1,6}$ нейтрона получаем:

$$\begin{aligned}\Gamma_1^{vn}(Q^2) &= \Delta u(Q^2) + \Delta \bar{d}(Q^2) + \Delta s(Q^2), \\ \Gamma_6^{vn}(Q^2) &= \Delta u(Q^2) - \Delta \bar{d}(Q^2) + \Delta s(Q^2), \\ \Gamma_1^{\bar{v}n}(Q^2) &= \Delta d(Q^2) + \Delta \bar{u}(Q^2) + \Delta \bar{s}(Q^2), \\ \Gamma_6^{\bar{v}n}(Q^2) &= \Delta d(Q^2) - \Delta \bar{u}(Q^2) - \Delta \bar{s}(Q^2).\end{aligned}\quad (2)$$

Комбинирование первых моментов Γ_6 в (1) и (2) дает возможность получить $(\Delta s + \Delta \bar{s})$ без каких-либо дополнительных измеряемых величин:

$$\Delta s + \Delta \bar{s} = \Gamma_6^{vp} - \Gamma_6^{\bar{v}n}, \quad (3)$$

или

$$\Delta s + \Delta \bar{s} = \Gamma_6^{vn} - \Gamma_6^{\bar{v}p}. \quad (4)$$

Вклады кварковых ароматов $(\Delta u + \Delta \bar{u})$, $(\Delta d + \Delta \bar{d})$ получим с помощью соотношений:

$$\begin{aligned}\Gamma_1^{vp} + \Gamma_1^{\bar{v}p} &= (\Delta u + \Delta \bar{u}) + (\Delta d + \Delta \bar{d}) + (\Delta s + \Delta \bar{s}), \\ \Gamma_6^{\bar{v}p} - \Gamma_6^{vp} &= (\Delta u + \Delta \bar{u}) - (\Delta d + \Delta \bar{d}) - (\Delta s + \Delta \bar{s})\end{aligned}\quad (5)$$

и (3) или (4).

Тогда из (5) и (3), например, имеем:

$$\begin{aligned}\Delta u + \Delta \bar{u} &= \frac{1}{2}(\Gamma_6^{\bar{v}p} + \Gamma_1^{vp} + \Gamma_1^{\bar{v}p} - \Gamma_6^{vp}), \\ \Delta d + \Delta \bar{d} &= \frac{1}{2}(\Gamma_1^{vp} + \Gamma_1^{\bar{v}p} - \Gamma_6^{vp} - \Gamma_6^{\bar{v}p} + 2\Gamma_6^{\bar{v}n}).\end{aligned}$$

Что касается вкладов легкого кваркового моря $(\Delta \bar{u}, \Delta \bar{d})$, то их измерение необходимо для проверки асимметрии $\Delta \bar{u} \neq \Delta \bar{d}$ и, с другой стороны, – для оценки в целом поляризации кваркового моря.

Данные о поляризации легких кварков моря могут быть получены из измерений первых моментов Γ_1, Γ_6 протона и нейтрона (см. (1), (2)) в $\nu(\bar{\nu})N$ -ГНР с заряженным током:

$$\begin{aligned}\Delta \bar{u} &= \frac{1}{2}(\Gamma_1^{\bar{v}n} - \Gamma_6^{vp}), \\ \Delta \bar{d} &= \frac{1}{2}(\Gamma_1^{\bar{v}p} - \Gamma_6^{vn}).\end{aligned}$$

Вклад валентных кварков $(\Delta u_V + \Delta d_V)$ в спин нуклона измерялся в экспериментах COMPASS и HERMES в полуинклюзивном IN -ГНР.

Нейтринные процессы ГНР с заряженным током дают возможность получения данных о поляризации валентных кварков.

Действительно,

$$\begin{aligned}\Gamma_6^{vp} + \Gamma_6^{vn} &= \Delta u_V + \Delta d_V + 2\Delta s, \\ \Gamma_6^{\bar{v}p} + \Gamma_6^{\bar{v}n} &= \Delta u_V + \Delta d_V - 2\Delta \bar{s}.\end{aligned}$$

Поскольку считаем $\Delta s = \Delta \bar{s}$, то имеем:

$$\Delta u_V + \Delta d_V = \frac{1}{2}(\Gamma_6^{vp} + \Gamma_6^{vn} + \Gamma_6^{\bar{v}p} + \Gamma_6^{\bar{v}n}).\quad (6)$$

Отметим, что это выражение содержит только первый момент Γ_6 протона и нейтрона, доступный для измерения только в процессах ГНР с заряженным током.

Поэтому эти процессы могут быть независимым и дополнительным источником данных по поляризации валентных кварков.

Таким образом, разработан подход к определению кварковых вкладов в спин нуклона на основе первых моментов СФ g_1 , g_6 протона и нейтрона в нейтринных процессах ГНР с заряженным током без использования каких-либо других измеряемых величин, например, a_3 и a_8 .

Литература

1. The Electron-Ion Collider: Assessing the Energy Dependence of Key Measurements / E. C. Aschenauer [et al.]. – ArXiv: 1708.01527 [nucl-ex].
2. Ball, R. D. The Proton Spin, Semi-inclusive processes, and a future Electron-Ion Collider / R. D. Ball, A. Deshpande. – ArXiv: 1801.04842 [hep-ph].
3. Leader, E. New analysis concerning the strong quark polarization puzzle / E. Leader, A. V. Sidorov, D. B. Stamenov // Phys. Rev. – 2015. – Vol. D91. – P. 054017.
4. Forte, S. Polarized parton distribution from charged – current deep-inelastic scattering and future neutrino factories / S. Forte, M. L. Mangano, G. Ridolfi // Nucl. Phys. – 2001. – Vol. B602. – P. 585–621.
5. King, B. J. High rate neutrino detectors for neutrino factories / B. J. King // Nucl. Instrum. Meth. – 2000. – Vol. A451. – P. 198–206.
6. Kaur, J. Spin distribution in the quark-parton model / J. Kaur // Nucl. Phys. – 1977. – Vol. B128. – P. 219–251.
7. Schwienhorst, R. Colliding neutrino beams / R. Schwienhorst // Mod. Phys. Lett. – 2008. – Vol. A23. – P. 2751–2761.
8. Kaplan, D. M. Muon collider / neutrino factory: status and prospects / D. M. Kaplan // Nucl. Instrum. Meth. – 2000. – Vol. A453. – P. 37–48.
9. Mezzetto, M. Beta beams / M. Mezzetto // Nucl. Phys. Proc. Suppl. – 2005. – Vol. 143. – P. 309–316.
10. Neutron spin structure with polarized deuterons and spectator proton tagging at EIC / W. Cosyn [et al.] // J. Phys. Conf. Ser. – 2014. – Vol. 543. – P. 012007.
11. Максименко, Н. В. Спиновые структуры нуклона в нейтринных процессах / Н. В. Максименко, Е. С. Тимошин // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 2006. – № 4. – С. 67–72.

УДК 539.12

ПОЛЯРИЗАЦИЯ СТРАННЫХ КВАРКОВ В НЕЙТРИННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Е. С. Тимошин, С. И. Тимошин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Предложен способ получения вкладов странных кварков и антикварков в спин нуклона на основе измеряемых поляризационных асимметрий глубоконеупругого рассеяния нейтрино и антинейтрино на поляризованных нейтронах.

Ключевые слова: нейтрино, спин, нуклон, асимметрия, кварк.

THE POLARIZATION OF THE STRANGE QUARKS IN THE NEUTRINO EXPERIMENTS

E. S. Timoshin, S. I. Timoshin

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The approach were proposed for the extraction of contributions the strange quarks and anti-quarks in nucleon spin from the polarization asymmetries deep inelastic scattering neutrino and antineutrino off polarized neutrons.

Keywords: neutrino, spin, nucleon, asymmetry, quark.

Важное место в изучении спиновой структуры нуклона занимает поляризация странных кварков и антикварков Δs и $\Delta \bar{s}$ (см., например, [1] и цитируемую там литературу). КХД-анализы инклюзивных поляризационных данных для извлечения $(\Delta s + \Delta \bar{s})$ применяют измеряемую величину – октетный аксиальный заряд a_8 (фактически предположение о SU (3) ароматовой симметрии), который содержит существенные неопределенности. Данные из полуинклюзивных экспериментов имеют сильную зависимость от выбора функций фрагментации.

В работе [2] предложен подход по определению поляризации странного моря, свободный от указанных недостатков. Здесь на основе наблюдаемых асимметрий глубокоэластичного рассеяния (ГНР) нейтрино и антинейтрино на поляризованных протонах A_{vp} , $A_{\bar{v}p}$ и дейтронах A_{vd} , $A_{\bar{v}d}$ получены выражения для Δs , $\Delta \bar{s}$, $\Delta s + \Delta \bar{s}$. В дополнение к ним представляется возможность проверить, имеет ли место ненулевая величина разности $\Delta s(x) - \Delta \bar{s}(x)$. Несмотря на то, что в большинстве анализов партонных функций распределения предполагается $\Delta s = \Delta \bar{s}$, ненулевая асимметрия $(\Delta s - \Delta \bar{s}) \neq 0$ ожидается в некоторых непертурбативных моделях. В принципе, соответствующая точность может быть обеспечена, в том числе в экспериментах на ЕИС. Однако погрешности в текущих экспериментах извлечение ненулевой величины $(\Delta s - \Delta \bar{s})$ делают пока невозможным. Тем не менее с учетом будущих измерений рассмотрим извлечение $(\Delta s - \Delta \bar{s})$ в подходе [2].

Для изучения спиновой структуры нуклона важное значение имеют данные по нейтрону [3].

Рассмотрим ГНР (анти) нейтрино на поляризованных нейтронах:

$$\nu(\bar{\nu}) + n \rightarrow l^-(l^+) + X; \quad (1)$$

$$\nu(\bar{\nu}) + n \rightarrow l^-(l^+) + \pi + X. \quad (2)$$

Сечения инклюзивных процессов (1) получены в виде

$$d\sigma_{\nu(\bar{\nu})n} = 2\sigma_0 x [d\sigma_{\nu(\bar{\nu})n}^a + p_N d\sigma_{\nu(\bar{\nu})n}^p], \quad (3)$$

где

$$d\sigma_{\nu n}^a = u(x) + s(x) + y_1^2 \bar{d}(x),$$

$$d\sigma_{\nu n}^p = \Delta u(x) + \Delta s(x) - y_1^2 \Delta \bar{d}(x),$$

$$d\sigma_{\bar{\nu} n}^a = y_1^2 d(x) + \bar{u}(x) + \bar{s}(x),$$

$$d\sigma_{\bar{\nu} n}^p = y_1 \Delta d(x) - \Delta \bar{u}(x) - \Delta \bar{s}(x).$$

Поляризационные асимметрии

$$A_{\nu, \bar{\nu} n} = \frac{(d\sigma_{\nu, \bar{\nu} n}^{\downarrow\uparrow, \uparrow\uparrow} - d\sigma_{\nu, \bar{\nu} n}^{\downarrow\downarrow, \uparrow\downarrow})}{(d\sigma_{\nu, \bar{\nu} n}^{\downarrow\uparrow, \uparrow\uparrow} + d\sigma_{\nu, \bar{\nu} n}^{\downarrow\downarrow, \uparrow\downarrow})} \quad (4)$$

с учетом (3) получаем в виде

$$A_{\nu n} = \frac{d\sigma_{\nu n}^p}{d\sigma_{\nu n}^a} = \frac{\Delta u(x) + \Delta s(x) - y_1^2 \Delta \bar{d}(x)}{u(x) + s(x) + y_1^2 \bar{d}(x)}, \quad (5)$$

$$A_{\bar{\nu} n} = \frac{y_1^2 \Delta d(x) - \Delta \bar{u}(x) - \Delta \bar{s}(x)}{y_1^2 d(x) + \bar{u}(x) + \bar{s}(x)}. \quad (6)$$

Для сечений полуинклюзивных процессов (2) получены выражения

$$\begin{aligned} d\sigma_{\nu n}^{a\pi} &= u(x)D_u^\pi(z) + y_1^2 \bar{d}(x)D_{\bar{d}}^\pi(z), \\ d\sigma_{\nu n}^{p\pi} &= \Delta u(x)D_u^\pi(z) - y_1^2 \Delta \bar{d}(x)D_{\bar{d}}^\pi(z), \\ d\sigma_{\bar{\nu} n}^{a\pi} &= y_1^2 d(x)D_d^\pi(z) + \bar{u}(x)D_{\bar{u}}^\pi(z), \\ d\sigma_{\bar{\nu} n}^{p\pi} &= y_1^2 \Delta d(x)D_d^\pi(z) - \Delta \bar{u}(x)D_{\bar{u}}^\pi(z). \end{aligned} \quad (6a)$$

Полуинклюзивные асимметрии $A_{\nu n}^{\pi^+ - \pi^-}$ и $A_{\bar{\nu} n}^{\pi^+ - \pi^-}$ имеют структуру, аналогичную (4), с заменой $\Delta\sigma \rightarrow \Delta\sigma^{\pi^+ - \pi^-} = d\sigma^{\pi^+} - d\sigma^{\pi^-}$.

В результате получаем:

$$A_{\nu n}^{\pi^+ - \pi^-} = \frac{\Delta u(x)D_u^{\pi^+ - \pi^-} - y_1^2 \Delta \bar{d}(x)D_{\bar{d}}^{\pi^+ - \pi^-}}{u(x)D_u^{\pi^+ - \pi^-} + y_1^2 \bar{d}(x)D_{\bar{d}}^{\pi^+ - \pi^-}} = \frac{\Delta u(x) - y_1^2 \Delta \bar{d}(x)}{u(x) + y_1^2 \bar{d}(x)}, \quad (7)$$

$$A_{\bar{\nu} n}^{\pi^+ - \pi^-} = \frac{y_1^2 \Delta d(x) - \Delta \bar{u}(x)}{y_1^2 d(x) + \bar{u}(x)}. \quad (8)$$

Совместное применение инклюзивных и полуинклюзивных асимметрий позволяет определить вклады странных кварков Δs и антикварков $\Delta \bar{s}$. Так, из асимметрий $A_{\nu n}$ (5) и $A_{\bar{\nu} n}^{\pi^+ - \pi^-}$ (7) получаем:

$$\Delta s = \int_0^1 \Delta s(x) dx = \int_0^1 \left[(A_{\nu n} - A_{\bar{\nu} n}^{\pi^+ - \pi^-}) (u(x) + y_1^2 \bar{d}(x)) + s(x) A_{\nu n} \right] dx,$$

а из $A_{\bar{\nu} n}$ (6) и $A_{\bar{\nu} n}^{\pi^+ - \pi^-}$ (8)

$$\Delta \bar{s} = \int_0^1 \left[(A_{\bar{\nu} n}^{\pi^+ - \pi^-} - A_{\bar{\nu} n}) (y_1^2 d(x) + \bar{u}(x)) - \bar{s}(x) A_{\bar{\nu} n} \right] dx.$$

Рассмотрим асимметрии

$$A_{\pm} = \frac{(d\sigma_v^{\downarrow\uparrow} \pm d\sigma_v^{\uparrow\uparrow}) - (d\sigma_v^{\downarrow\downarrow} \pm d\sigma_v^{\uparrow\downarrow})}{(d\sigma_v^{\downarrow\uparrow} \pm d\sigma_v^{\uparrow\uparrow}) + (d\sigma_v^{\downarrow\downarrow} \pm d\sigma_v^{\uparrow\downarrow})}. \quad (9)$$

С помощью (3) из (9) получаем для инклюзивной асимметрии A_{-n} :

$$A_{-n} = \frac{\Delta u(x) + \Delta \bar{u}(x) + \Delta s(x) + \Delta \bar{s}(x) - y_1^2(\Delta d(x) + \Delta \bar{d}(x))}{u_V(x) - y_1^2 d_V(x)}. \quad (10)$$

Для полуинклюзивной асимметрии на основе (9) и (6а) получаем:

$$A_{+n}^{\pi^+ - \pi^-} = \frac{\Delta u(x) + \Delta \bar{u}(x) - y_1^2(\Delta d(x) + \Delta \bar{d}(x))}{u_V(x) - y_1^2 d_V(x)}. \quad (11)$$

Из асимметрий A_{-n} (10) и $A_{+n}^{\pi^+ - \pi^-}$ (11) можно определить поляризацию странного моря:

$$\Delta s + \Delta \bar{s} = \int_0^1 (A_{-n} - A_{+n}^{\pi^+ - \pi^-}) [u_V(x) - y_1^2 d_V(x)] dx.$$

Рассмотрим рассеяние на протонах. Из (9) получаем асимметрию

$$A_{+p} = \frac{\Delta d_V(x) + y_1^2 \Delta u_V(x) + \Delta s(x) - \Delta \bar{s}(x)}{d(x) + \bar{d}(x) + y_1^2 [u(x) + \bar{u}(x)] + s(x) + \bar{s}(x)}. \quad (12)$$

Для полуинклюзивной асимметрии получаем выражение

$$A_{-p}^{\pi^+ - \pi^-} = \frac{y_1^2 \Delta u_V(x) + \Delta d_V(x)}{d(x) + \bar{d}(x) + y_1^2 [u(x) + \bar{u}(x)]}. \quad (13)$$

Тогда из асимметрий A_{+p} (12) и $A_{-p}^{\pi^+ - \pi^-}$ (13) можно получить $(\Delta s - \Delta \bar{s})$:

$$\Delta s(x) - \Delta \bar{s}(x) = (A_{+p} - A_{-p}^{\pi^+ - \pi^-}) [d(x) + \bar{d}(x) + y_1^2 (u(x) + \bar{u}(x))] + A_{+p} [s(x) + \bar{s}(x)].$$

Таким образом, получены выражения для вкладов странных кварков и антикварков Δs , $\Delta \bar{s}$, $(\Delta s + \Delta \bar{s})$ в спин нуклона, не содержащие функций фрагментации, на основе поляризационных асимметрий инклюзивного и полуинклюзивного ГНР (анти) нейтрино на поляризованных нейтронах.

Л и т е р а т у р а

1. Ethier, J. J. First simultaneous extraction of spin-dependent parton distribution and fragmentation functions from a global QCD analysis / J. J. Ethier, N. Sato, W. Melnitchouk // Phys. Rev. Lett. – 2017. – Vol. 119, N 13. – P. 132801.
2. Timoshin, E. S. Polarized strange sea in the nucleon / E. S. Timoshin, S. I. Timoshin // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. – 2011. – Vol. 14, N 2. – P. 196–201.
3. Strikman, M. Electron-deuteron deep-inelastic scattering with spectator nucleon tagging and final-state interactions at intermediate x / M. Strikman, C. Weiss // Phys. Rev. – 2018. – Vol. C97, N 3. – P. 035209.

УДК 537.29:541.182.4.6

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЛОИДНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ

И. Ю. Ухарцева, Ж. В. Кадолич

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Проиллюстрирована возможность использования метода изотермической деполаризации для исследования электрофизических свойств коллоидных полимерных систем. Приведен принцип действия анализатора дисперсных систем и представлены результаты экспериментального изучения поляризационно-деполяризационных процессов в коллоидных полимерных системах различного состава и изучено влияние магнитного наполнителя на эти процессы. Полученные данные позволяют дифференцировать наполнители по их влиянию на поляризационные характеристики гелей и свидетельствуют о возможности регулирования анизотропии физико-химических характеристик коллоидных полимерных систем.

Ключевые слова: коллоидные полимерные системы, изотермическая деполаризация, магнитный наполнитель, поляризационный заряд, время релаксации

ELECTROPHYSICAL METHOD OF INVESTIGATION OF COLLOIDAL POLYMER SYSTEMS

I. Yu. Ukhartseva, Zh. V. Kadolich

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The possibility of using the isothermal depolarization method to study the electrophysical properties of colloidal polymer systems is illustrated. The principle of operation of the analyzer of dispersed systems is given and the results of experimental study of polarization-depolarization processes in colloidal polymer systems of various compositions are presented and the influence of magnetic filler on these processes is studied. The obtained data make it possible to differentiate fillers by their effect on the polarization characteristics of gels and indicate the possibility of regulating the anisotropy of the physico-chemical characteristics of colloidal polymer systems.

Keywords: colloidal polymer systems, isothermal depolarization, magnetic filler, polarization charge, relaxation time.

Электрофизические методы исследования зарекомендовали себя как удобный и информативный метод контроля структуры и свойств дисперсных систем. Экспериментально и теоретически показано, что они дают существенно больший объем информации, чем традиционные, имеют широкую область применения, поддаются автоматизации и легко встраиваются в современные информационно-вычислительные комплексы.

Цель исследования заключалась в оценке влияния магнитного наполнителя на электрофизические свойства коллоидных полимерных систем (КПС) различного состава.

Электрофизические свойства КПС изучали с помощью компьютеризированного программно-аппаратного комплекса АДС-1, принцип действия которого состоит в наложении электрического поля на исследуемую коллоидную систему с последующей регистрацией ее отклика. Для регистрации отклика системы в АДС-1 был использован метод изотермической деполаризации (ИТД), основанный на релаксации заряда в поляризованном диэлектрике [1]. Для исследования КПС использовали ячейку объемом $2,4 \text{ см}^3$ с плоскопараллельными электродами площадью 6 см^2 , находящимися на рас-

стоянии 0,4 см друг от друга, или специальной формы, объемом 0,2 мл, при расстоянии между ними 0,4 мм.

В коллоидных системах обычно действует одновременно несколько поляризационных механизмов. Результирующее электрическое поле всей системы, подвергнутой внешней поляризации, равно сумме локальных электрических полей всех поляризационных подсистем:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_{0i} e^{-t/\tau_i}; \quad (1)$$

$$I(t) = \sum_{i=1}^n I_{0i} e^{-t/\tau_i}. \quad (2)$$

Экспериментально показано [2, 3], что для коллоидных систем гелевой структуры на логарифмической кривой деполяризации имеется несколько отчетливо выраженных линейных участков. Это означает, что в общем процессе релаксационного разряда электрически поляризованной системы в отдельные интервалы времени преобладает тот или иной структурно-релаксационный механизм. Выражения (1) и (2) представляют собой совокупности компонентов, имеющих разную величину в разные временные интервалы процесса деполяризации. Логарифмируя уравнение (2), получаем зависимость, графически представляемую в виде ломаной линии, прямолинейные участки и углы наклона которой характеризуют кинетику процесса разряда структурных компонентов исследуемой системы.

Магнитные КПС формировали на основе спиртового раствора поливинилбутираля или поливинилового спирта (ПВС), наполненных функциональными компонентами различной природы (полисахариды, протеины и др.). В качестве магнитного наполнителя использовали феррит бария (ФБ). Степени наполнения полимерного раствора, использованные в экспериментах (до 30 мас. %), относятся к области умеренных концентраций дисперсной фазы. При таких концентрациях в дисперсионной жидкости начинают появляться агрегаты в виде цепочек из нескольких (10–15) частиц наполнителя. При диаметре частицы ~ 3 мкм длина цепочки $L \sim 30 \div 45$ мкм. Относительный вклад наполнения в диссипативные процессы, определяющие физико-химические характеристики КПС, мал по сравнению с действием механизмов внутреннего трения в полимерном растворе. Тем не менее наполнение обусловило неньютоновские свойства системы, связанные с магнитным взаимодействием и повышенной концентрацией частиц. Перемещение таких систем в магнитном поле (МП) происходит под действием сил, действующих на элементарные объемы жидкости. Их величина определяется ориентирующим воздействием МП на магнитные моменты агрегатов, броуновским движением частиц и другими релаксационными процессами. Механизм структурной поляризации магнитных КПС связан с деформацией и разрушением-восстановлением структурной полимерной сетки. Коллоидные частицы обладают определенной подвижностью и при наложении электрического поля происходит их смещение, а энергия затрачивается на преодоление вязкого трения. При ориентации магнитных моментов частиц нарушается изотропия системы, что оказывает влияние на ее проводимость. Изучение кинетики этих процессов является предпосылкой для создания физической модели переноса и накопления заряда в магнитных коллоидных системах.

Введение в КПС магнитного наполнителя обуславливает резкое увеличение вязкости и уменьшение проводимости систем, что сказывается на поляризационных характеристиках. С увеличением содержания феррита возрастает заряд и замедляется его релаксация. Для гелевых систем с комбинированным наполнителем (например, «феррит + Na-КМЦ») характерна корреляция между временем релаксации заряда и степенью наполнения. Аналогичные закономерности роста поляризуемости с увеличением наполнения ферритом наблюдаются для систем, содержащих желатин. При поляризации систем «гель ПВС – Na-КМЦ», наполненных ферритом (рис. 1), механизм переноса заряда близок к электролитному, поскольку Na-КМЦ обладает способностью к диссоциации.

При намагничивании КПС кинетические кривые поляризации и деполяризации занимают промежуточное положение относительно аналогичных кривых для систем «гель – немагниченный феррит» и «гель – намагниченный феррит» (кривые 2 на рис. 1, а, б). Руководствуясь принципом аддитивности вклада отдельных поляризационных механизмов в общий деполяризационный процесс, проведено вычитание измеренного отклика тока деполяризации матрицы («ПВС – Na-КМЦ») из тока деполяризации КПС с ферритом. Видно, что ФБ вносит вклад (рис. 1, в) в поляризационные процессы всех типов наполненных композиций. Вероятно, это связано со структурированием коллоидной системы в результате наполнения и с влиянием МП, обеспечивающего появление в ней цепочек проводимости.

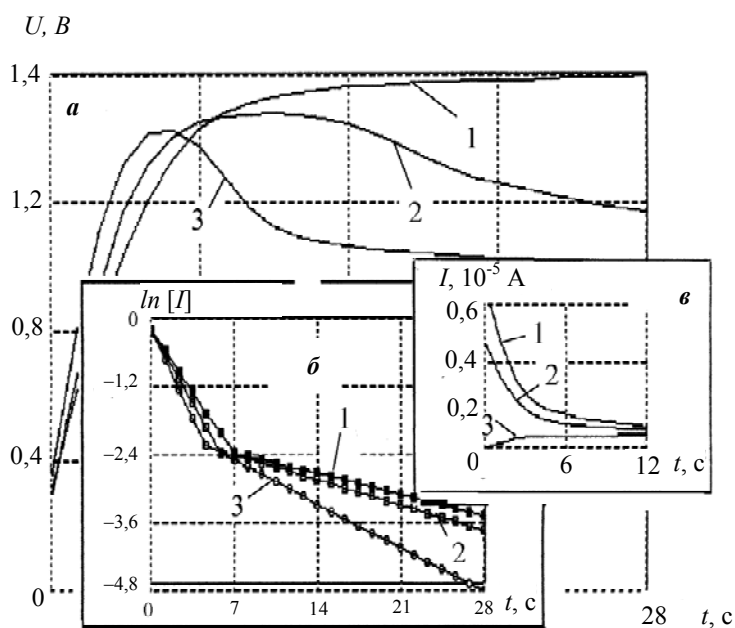


Рис. 1. Кинетические кривые процессов в коллоидных полимерных системах: а – поляризация ($I_p = 1000 \mu A$) в системе «Na-КМЦ – ПВС + ФБ» (10 мас. %); б – деполяризация в системе «Na-КМЦ – ПВС + ФБ» (10 мас. %); в – разность токов деполяризации в системе «+(Na-КМЦ – ПВС + ФБ) – (Na-КМЦ – ПВС)»; 1 – феррит не намагничен; 2 – намагничена композиция; 3 – феррит намагничен

Системы «гель ПВС – папаин» и «гель ПВС – желатин» при введении немагниченного феррита демонстрируют увеличение проводимости. Добавление намагниченного феррита приводит к еще большему ее возрастанию в системах с папаином, в то время как в системах с желатином проводимость падает.

Полученные данные позволяют дифференцировать наполнители по их влиянию на поляризационные характеристики гелей и свидетельствуют о возможности регулирования анизотропии физико-химических характеристик гелевых систем. Зарядовое состояние и намагниченность последних могут способствовать иммобилизации КПС функциональных наполнителей различной природы.

Л и т е р а т у р а

1. Программно-аппаратный комплекс АИР-1 для контроля жидкодисперсных систем / И. В. Шаламов [и др.] // Приборы и техника эксперимента. – 2002. – № 6. – С. 143–144.
2. Шаламов, И. В. Применение кондуктометрического метода при изучении структуры полимерных растворов / И. В. Шаламов, В. А. Гольдаде, Е. А. Цветкова // Материалы, технологии, инструменты. – 2007. – № 3. – С. 94–101.
3. Поляризационные процессы в жидкодисперсных системах / И. Ю. Ухарцева [и др.] // Вестн. технолог. ун-та. – 2016. – Т. 19, № 5. – С. 73–78.

УДК 539.21

ОСОБЕННОСТИ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБЛАСТИ ДВОЙНИКА СЕРПОВИДНОЙ ФОРМЫ, НАХОДЯЩЕГОСЯ У ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Н. М. Симанович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

О. М. Остриков, М. П. Кульгейко

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Представлен анализ конфигурации полей напряжений в области серповидного двойника, находящегося у поверхности твердого тела. Дана сравнительная оценка напряженного состояния у двойника серповидной формы и клиновидного двойника с прямолинейными границами. Установлены особенности полей напряжений вдоль искривленных границ двойниковой прослойки.

Ключевые слова: механическое двойникование, клиновидный двойник, серповидный двойник, двойниковая граница, напряженно-деформированное состояние, поле напряжений.

PECULIARITIES OF THE TENSION FIELDS IN THE AREA OF A CRESCENT SHAPE TWIN NEAR THE SURFACE OF A SOLID BODY

N. M. Simanovich

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

O. M. Ostrikov, M. P. Kulgeyko

Educational institution “Belarusian State University of Transport”, Gomel

An analysis of the configuration the tension fields in the area of a crescent shape twin near the surface of a solid body was presented. A comparative assessment of the tension fields of a crescent shape twin and a wedge-shaped twin with rectilinear boundaries was given. The features of the tension fields along the curved boundaries of the twin layer were established.

Keywords: mechanical twinning, wedge-shaped twin, crescent shape twin, twin boundary, tension-strain state, tension field.

Генерация двойникующих дислокаций, реализующаяся в соответствии с кристаллографическими направлениями кристаллической решетки, приводит к образованию прямолинейных клиновидных двойников. Однако имеющиеся дефекты кристаллической структуры или другие стопоры являются препятствием движения дислокаций и тормозят их. Неравномерное распространение дислокаций на границах двойниковой прослойки, т. е. различная их скорость вызывает образование двойников с искривленными границами [1].

Одной из особенностей двойникования при скрайбировании поверхности индентором является образование серповидных двойников [2]. Искривление двойников обусловлено напряженно-деформированным состоянием у границ царапины. Поэтому генерация двойникующих дислокаций происходит в условиях искаженной кристаллической решетки, в результате чего происходит искривление двойников, придающее им серповидную форму.

Целью работы является установление особенностей напряженного состояния у двойника серповидной формы, находящегося у поверхности твердого тела.

Расчет напряженного состояния осуществлялся на примере распределения сдвиговой компоненты тензора напряжений по методике [3, 4]. Анализ полей напряжений в области серповидного двойника выполнялся в сравнении с распределением полей напряжений у клиновидного двойника с прямолинейными границами.

Конфигурация полей напряжений в области прямолинейного клиновидного двойника закономерно симметрична относительно плоскости двойникования (рис. 1).

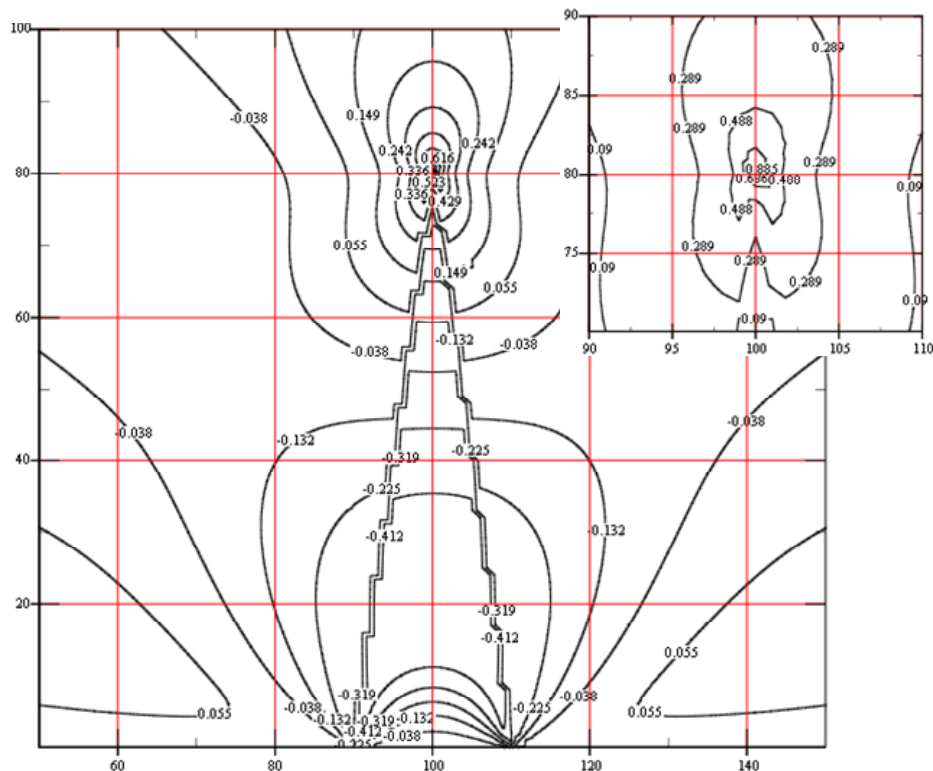


Рис. 1. Напряжения у клиновидного прямолинейного двойника

Наблюдается концентрация напряжений у двойниковых границ, причем на расстоянии около $3/4$ длины двойника от поверхности происходит смена знака напряжений. Отмечается также концентрация напряжений у устья двойника в приповерхностном слое, в том числе в середине двойниковой прослойки на расстоянии $1/4$ длины двойника от поверхности. Максимального значения напряжения достигают у вершины двойника, где их величина по абсолютному значению в 2 раза больше, чем у поверхности на двойниковых границах.

В отличие от прямолинейного двойника конфигурация полей напряжений в области двойника серповидной формы (рис. 2) отличается некоторой асимметрией относительно плоскости двойникования. Несимметричность напряжений наблюдается по границам двойника, внутри двойниковой прослойки и вне двойника вблизи его границ. При удалении от двойниковых границ повышается симметричность полей напряжений, а их численные значения соответствуют напряжениям прямолинейного двойника. Максимальная концентрация напряжений отмечается как и у прямолинейного двойника на границах у устья, вблизи поверхности внутри двойниковой прослойки и у вершины двойника.

Следует отметить характер асимметрии полей напряжений при двойнике с криволинейными границами. У вогнутой границы несколько меньшие напряжения, особенно в отдалении от поверхности, и большие значения справа от выпуклой границы, особенно у устья и ближе к вершине двойника. По выпуклой границе от устья к вершине наблюдается более интенсивное уменьшение напряжений отрицательного знака (до $3/4$ длины двойника), а затем такое же увеличение. Непосредственно в вершине максимальные напряжения несколько меньше, чем у прямолинейного двойника, однако справа от вершины превышают значения напряжений той же области прямолинейного двойника.

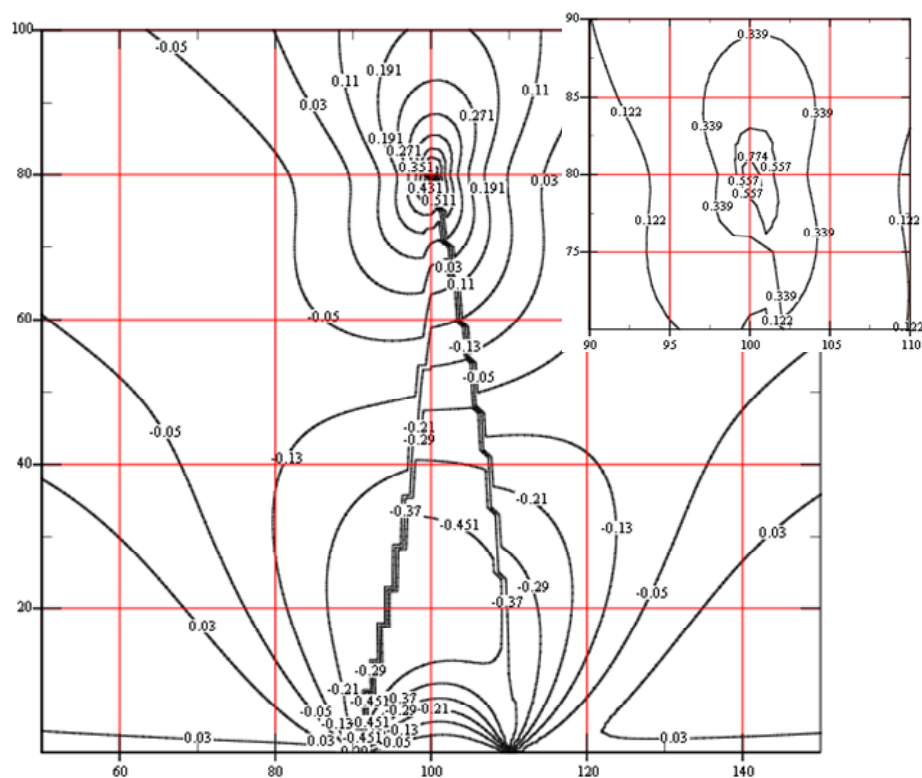


Рис. 2. Напряжения у двойника с криволинейными границами

Таким образом, установлено, что в области серповидных двойников формируется асимметричное поле напряжений преимущественно вдоль двойниковых границ и практически симметричное – в удалении от них. В отличие от прямолинейного двойника по границам двойника серповидной формы наблюдается более интенсивный градиент напряжений, прежде всего, на выпуклой границе, а также отмечается уменьшение напряжений в вершине серповидного двойника.

Литература

1. Остриков, О. М. Механика двойникования твердых тел : монография / О. М. Остриков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 301 с.
2. Кульгейко, Н. М. Особенности двойникования монокристалла висмута при скрайбировании его поверхности (111) индентором Виккерса / Н. М. Кульгейко, О. М. Остриков // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2015. – № 2 (61). – С. 42–50.
3. Остриков, О. М. Методика прогнозирования распределения полей напряжений в реальных кристаллах с остаточными некогерентными двойниками / О. М. Остриков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 278 с.
4. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М. : Мир, 1989. – 510 с.

УДК 621.762

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ, ВЛИЯЮЩИХ НА ОБРАЗОВАНИЕ ПРОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПОКРЫТИЯ И ОСНОВЫ В ПРОЦЕССЕ СОВМЕСТНОЙ ВЫТЯЖКИ

М. И. Лискович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрен экспериментальный процесс нанесения порошкового покрытия методом совместной вытяжки.

Ключевые слова: листовые заготовки, порошковое покрытие, процесс совместной вытяжки.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE CONDITIONS AFFECTING THE FORMATION OF A STRONG COATING AND SUBSTRATE JOINT IN THE PROCESS OF COMBINED DRAWING

M. I. Liskovich

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The experimental process of applying powder coating by the method of joint drawing is considered.

Keywords: sheet blanks, powder coating, co-drawing process.

Прочность соединения покрытия с основой совместной вытяжкой и эксплуатационные характеристики изделий зависят от множества факторов процесса [1].

Для экспериментального исследования процесса совместной вытяжки материала основы и покрытия были использованы штампы (рис. 1) с набором сменных пуансонов диаметром 17; 18,2; 19; 19,5 мм и матрицей диаметром 22 мм для одного штампа и с набором сменных пуансонов диаметром 5; 5,5; 6; 6,5; 7 мм и матриц

с углами 5; 10; 15; 20; 30 и 45° для другого. Нанесение покрытия производилось на полые стальные (сталь 08кпВГ) заготовки, получаемые предварительной вытяжкой из листовых заготовок толщиной 1,5 и диаметром 40 мм в штампе с пуансоном диаметром 22,9 мм, матрицей диаметром 26 мм и толщиной 1 и диаметром 19,5 мм в штампе с пуансоном диаметром 8 мм и матрицей 11 мм (рис. 2). В качестве материала наносимого покрытия использовались следующие порошковые составы: ЖГр2Д10 (железа – 88,2 %; графита – 1,8 %; меди – 10 %) и ЖГр3 (железа – 97 %; графита – 3 %).

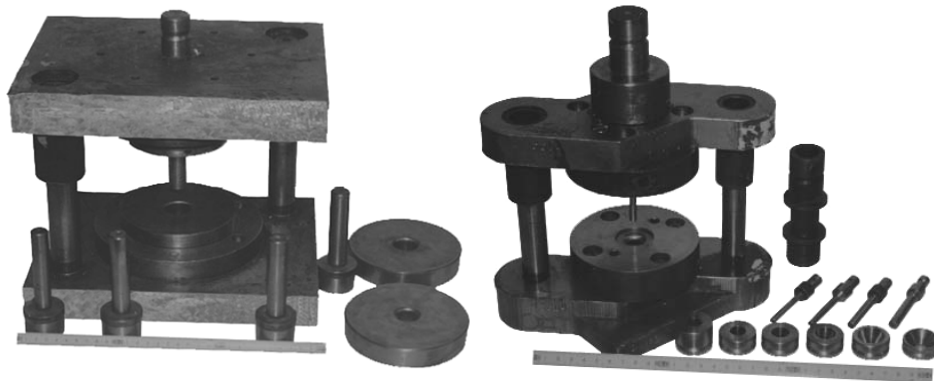


Рис. 1. Общий вид штампов, матриц и пуансонов для совместной вытяжки металлической основы и металлопорошкового покрытия

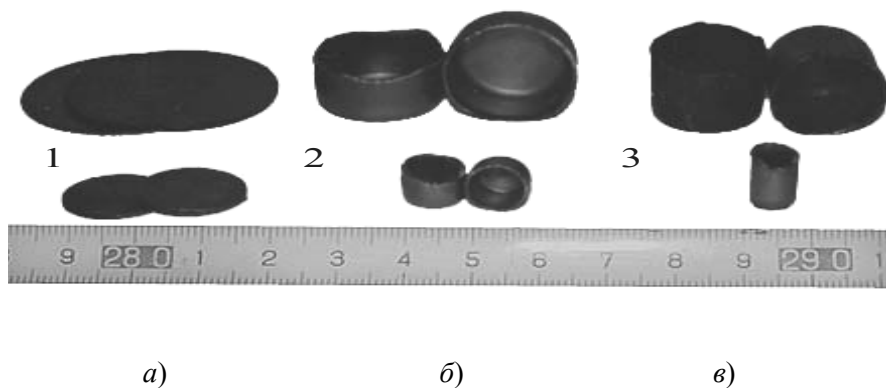


Рис. 2. Плоская заготовка (а); полая заготовка основы после первого переходы вытяжки (б); полое композиционное изделие (в)

Штампы устанавливались на универсальную испытательную машину Р-50 с измерением усилия вытяжки по силоизмерителю машины и записью диаграммы «усилие – перемещение» (рис. 3). Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что характер изменения усилия совместной вытяжки от перемещения инструмента подобен характеру изменения усилия вытяжки металлической заготовки основы без порошка, только имеет место увеличение усилия, что может быть объяснено необходимостью затрат дополнительного усилия на уплотнение и деформацию порошка.

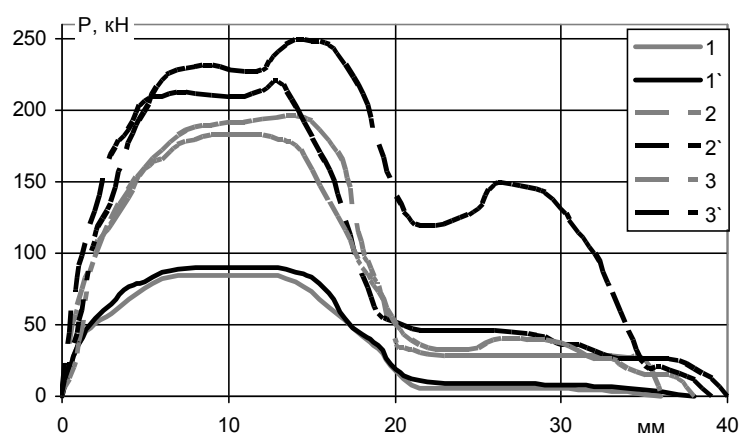


Рис. 3. Графики усилия по пути на втором переходе вытяжки:
1, 2, 3 – без нанесения покрытия; 1', 2', 3' – с нанесением покрытия

На рис. 4 представлены расчетные и экспериментальные значения усилия совместной вытяжки.

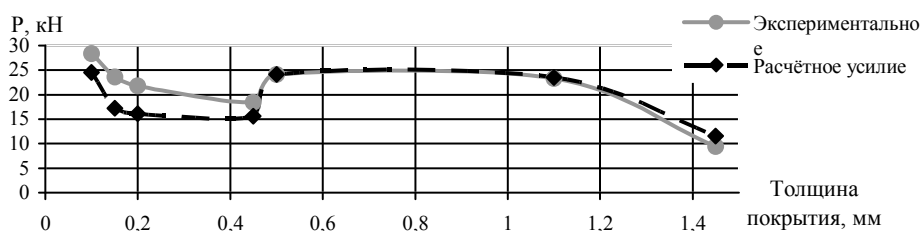


Рис. 4. Расчетные и экспериментальные значения усилия совместной вытяжки в зависимости от толщины покрытия

Сравнение расчетных [2] и опытных значений свидетельствует о возможности использования полученной аналитической зависимости в практических расчетах. Ступенчатый характер средних опытных и расчетных значений вызван различными значениями толщин основы и различием механических свойств материала основы.

Наиболее полное совпадение расчетных и экспериментальных значений усилий совместной вытяжки имело место в диапазоне толщин покрытия от 0,5 до 1,1 мм. При толщине покрытия менее 0,5 мм экспериментальное усилие было выше расчетного на 15,4–26,1 %, это может быть объяснено тем обстоятельством, что при расчете усилия вытяжки металлической основы не было учтено увеличение усилия за счет обжатия материала основы по толщине. При толщине покрытия более 1,1 мм имело место уменьшение экспериментальных значений по сравнению с расчетными на 18,1 %. При этой толщине рассчитанная [2] степень деформации порошка составила 0,58. Скорее всего, при таких малых степенях деформации существенное влияние оказывает процесс предварительной утряски порошка, не требующий значительного усилия. Это приводит к необходимости ограничить область применения разработанных теоретических зависимостей степенями деформации порошка, превышающими 0,65 при условии, что вытяжка происходит без утонения стенок основы. Для степеней деформации, меньших 0,65, требуется уточнение разработанных аналитических зависимостей.

Литература

1. Способ изготовления полого композиционного изделия : пат. С1 Респ. Беларусь, МПК В 22F 7/02 В 21 D 22/20 В 22 F 3/10 / Стрикель Н. И., Бобарикин Ю. Л., Лискович М. И. – № 10955 С2 ; заявл. 16.05.05 ; опубл. 30.08.08 // Офиц. бюл. «Изобретения, полезные модели и промышленные образцы». – № 4 (63).
2. Теоретическое исследование условий, благоприятно влияющих на образование прочного соединения покрытия и основы в процессе совместной вытяжки / Н. Г. Малашков, М. И. Лискович // Современные проблемы машиноведения : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. 125-летию со дня рождения П. О. Сухого), Гомель, 22 окт. 2020 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, ПАО «Компания» «Сухой» ОКБ «Сухого» ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2020. – С. 320–323.

UDC 539.17

**INTERNATIONAL NUCLEAR DATA CENTERS NETWORK
AND PROSPECTS OF ITS USE IN NUCLEAR POWER IN BELARUS****I. A. Serenkova, A. A. Pankov***Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

We give a brief overview of the existing nuclear data base, and describe the structure of the International Nuclear Data Centres Network. Because the amount of experimental data in nuclear physics is extremely large, the note aims to show the way to modern methods of acquaintance with the characteristics of arrays of nuclei through the nuclear data banks accessible through the Web-technologies. In particular, the note describes the methods to extract information on the nuclei and nuclear reactions in nuclear data banks. The data include information on the masses and energies of the nuclei of the separation energy of nucleons and clusters, the spectra of states of nuclei, their spin, parity, isospin, charge and mass radii and densities, information about the shape of the nuclei, the cross sections of nuclear reactions, the decay of unstable nuclei. On the completeness and accuracy of the data depends on radiation and nuclear safety, and environmental acceptability of nuclear installations. Creating a nuclear databases in Belarus will monitor the quality of nuclear data supplied to consumers, and ensure that systems of constants, used in technical projects, the current international standards.

Keywords: nuclear data centre, nuclear power.

Nuclear data are quantitative results of scientific investigations of the nuclear properties of matter. They describe properties of atomic nuclei and the fundamental physical relationships governing their interactions, thereby characterizing the physical processes underlying all nuclear technologies. Examples of nuclear data include cross sections, half-lives, decay modes and decay radiation properties, and γ -rays from radionuclides. The scope of the data collections includes all 85 natural elements with 290 stable isotopes and more than 2500 radionuclides.

The applications of nuclear data include all areas of nuclear science and technology, covering energy applications (fission reactor design; nuclear fuel cycles; nuclear safety; reactor monitoring and fluence determination; waste disposal and transmutation; accelerator driven systems; fusion device design and plasma processing technologies) as well as non-energy applications (cancer radiotherapy; production of radioisotopes for medical and industrial applications; personnel dosimetry and radiation safety; nuclear safeguards; waste disposal and transmutation; environmental monitoring and clean-up; materials analysis and process control; radiation damage studies; detection of concealed explosives

and illegal drugs; exploration for oil and other minerals) and basic research (e. g. nuclear astrophysics) and education. For details of the review of nuclear data for applications and original references, see Tsytrinov A. V., Pankov A. A., Serenkova I. A.: 2015.

1. Data Access and Services. Various data distribution media are offered by NDS, including WWW, CD-ROM and hardcopies in order to serve the diverse needs of users from both developing and fully industrialized countries. A nuclear data “mirror server” has been established at IPEN in Brazil to improve on-line access for Latin America by providing WWW, FTP and Telnet access to the IAEA nuclear data services.

WWW: “Nuclear Data Services” web-site of the IAEA can be accessed through <http://www-nds.iaea.org> (IAEA Vienna) or <http://www-nds.ipen.br/> (Brazil mirror server). Contains links to most data libraries, electronic documents, nuclear data programs, general information, and much more. Some data are available also by FTP and/or a Telnet-based on-line retrieval system.

Handbooks: A number of nuclear data handbooks have been produced by NDS (some of them are priced IAEA publications), including hardcopy versions of the CINDA bibliography of neutron data, and a Handbook on Nuclear Data for Safeguards; normally, the results of a Co-ordinated Research Project on nuclear data are published within the IAEA-TECDOC series.

Reports: NDS publishes informal reports in the INDC series, containing meeting summaries, unpublished nuclear data works from member states, and translations from Russian literature; most recent reports are available electronically on the NDS website.

Nuclear Data Newsletter is published biannually, and serves as the primary medium for current awareness of new nuclear data available from NDS; available in hardcopy and from the web.

Custom retrievals and other mail services can be requested by informal e-mail to services@iaeand.iaea.org.

2. Creation of a nuclear data center at Gomel State Technical University (GSTU). The activity on the development of Scientific, Methodological and Information Basis for Nuclear and Technological Calculations had been started in 2013 in the framework of joint Project of Ukrainian Nuclear Data Center (UkrNDC) at the Institute for Nuclear Research of NAS (Ukraine) and Laboratory for Physical Studies at the GSTU (Gomel, Belarus). The name of the Project was “Accumulation, Processing, Systematization and Analyses of Information in the Nuclear Power as the basis to found the Information Nuclear Data Center”.

Fourteen Webpages of the Nuclear Data Information Center (in Russian and English) at GSTU were developed and performed by Dr. O. O. Grizay. In most cases, the Russian and English versions of the pages are identical, with the exception of the “MANUAL” pages.

Nuclear data are commonly categorized in two main groups: nuclear reaction data, describing the interactions of various projectiles such as neutrons, protons or photons with target nuclei, and nuclear structure and decay data, describing nuclear levels, half-lives and radioactive decay radiations. For evaluated data (both numeric) or bibliographic.

Bibliographic data: References with some description of the contents, but no numerical data. Examples are CINDA (Computer Index of Neutron Data) and NSR (Nuclear Science References).

Experimental data: Results of individual measurements as reported by the authors. The most important example is EXFOR/CSISRS, the library for experimental nuclear reaction data.

Evaluated data libraries contain recommended data based on all data available from experiments and/or theory, arrived at after critical analysis of experimental data and their uncertainties, inter- and extrapolation, and/or nuclear model calculations. They are stored in strictly defined formats such as ENDF-6 (the international format for evaluated nuclear reaction data) or ENSDF (the format of the Evaluated Nuclear Structure data File). The main cross section libraries in ENDF format usually also contain the relevant decay data needed in the main applications.

Nuclear reaction data include cross sections, angular and energy distributions of secondary particles, resonance parameters, and related quantities. For neutron-induced reactions up to 20 MeV, the libraries are very complete; the coverage for higher energies is less complete but improving. Experimental data are found in EXFOR, the related bibliography in CINDA; several evaluated data libraries exist up to 20 MeV or higher. For charged-particle induced and photonuclear reactions, selected experimental data are compiled in EXFOR and only few evaluations exist. Heavy-ion data are partly compiled in EXFOR.

3. Overview of Data Libraries at IAEA. The IAEA Nuclear Data Section holds a total of about 100 nuclear data libraries, representing an enormous economic and scientific value. All libraries and the related documentation are available free of charge to scientists in IAEA member states. An overview is given in the document *Index of Nuclear Data Libraries available from the IAEA Nuclear Data Section*. Brief documentations of contents and/or format for most libraries are published in the IAEA-NDS- report series.

Various data distribution media are offered by NDS, including WWW, CD- ROM and hardcopies in order to serve the diverse needs of users from both developing and fully industrialized countries. A nuclear data “mirror server” has been established at IPEN in Brazil to improve on-line access for Latin America by providing WWW, FTP and Telnet access to the IAEA nuclear data services.

WWW: “Nuclear Data Services” web-site of the IAEA can be accessed through <http://www-nds.iaea.org> (IAEA Vienna) or <http://www-nds.ipen.br/> (Brazil mirror server). Contains links to most data libraries, electronic documents, nuclear data programs, general information, and much more. Some data are available also by FTP and/or a Telnet-based on-line retrieval system.

The primary aims of the IAEA Nuclear Data Section are to encourage the development and organize the assembly of a wide range of atomic and nuclear databases, and ensure improvements in technical performance by providing ready access to users in Member States. To make the service more user-friendly and, at the same time, extend the retrieval possibilities, development of a combined nuclear reaction database is under way, using advanced database software, with which the EXFOR, CINDA and ENDF libraries will look like one database to the user. Further improvements under way include increased distribution of databases through the Internet and the creation of additional regional copies of the “Nuclear Data Services” Websites. Creating a nuclear databases in Belarus, in particular in GSTU (Gomel) in closed collaboration with Ukrainian experts is also discussed.

References

1. Pankov, A. A. / A. A. Pankov, A. V. Tsytrinov, I. A. Serenkova // Nonlinear Dynamics and Applications. – 2015. – Vol. 21. – P. 270. DOI: 10.18524/1810-4215.2019.32.182523

УДК 539.12

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИКИ ИНТЕГРАЛОВ МЕЛЛИНА–БАРНСА
В ВЫЧИСЛЕНИЯХ ВКЛАДОВ В АНОМАЛЬНЫЕ МАГНИТНЫЕ
МОМЕНТЫ ЛЕПТОНОВ****В. И. Лашкевич, О. П. Соловцова***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Используя технику интегралов Меллина–Барнса, получены точные аналитические выражения для вкладов в аномальные магнитные моменты лептонов $L = e, \mu, \tau$ от диаграмм поляризации вакуума тремя лептонными петлями. Аналитические выражения получены как функции отношения квадрата масс: массы лептона в петле к массе внешнего лептона, $t = (m_l/m_L)^2$ во всей области $0 < t < \infty$, отдельно для $t < 1$ и $t > 1$, и, как было установлено, эти выражения представляют собой две ветви одной и той же аналитической функции.

Ключевые слова: интегралы Меллина–Барнса, квантовая электродинамика, аномальные магнитные моменты лептонов, поляризация вакуума лептонными петлями.

**APPLICATION OF THE MELLIN–BARNES INTEGRALS TECHNIQUE
IN CALCULATIONS OF CONTRIBUTIONS TO ANOMALOUS
MAGNETIC MOMENTS OF LEPTONS****V. I. Lashkevich and O. P. Solovtsova***Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

Based on the Mellin-Barnes integral technique, exact analytical expressions are obtained for the contributions to the anomalous magnetic moments of leptons $L = e, \mu, \tau$ from three lepton loops vacuum polarization diagrams. The corresponding analytical expressions are obtained as functions of the ratio of squared masses: the mass of the lepton in the loop to the mass of the external lepton, $t = (m_l/m_L)^2$, in the entire region $0 < t < \infty$, separately for $t < 1$ and $t > 1$, and, as it was established, these expressions represent two branches of the same analytic function.

Keywords. Mellin–Barnes integrals, quantum electrodynamics, anomalous magnetic moments of leptons, vacuum polarization by lepton loops.

Теоретическое и экспериментальное изучение аномальных магнитных моментов лептонов $(g-2)_L$ на протяжении многих десятилетий и по настоящее время (см. обзоры [1, 2]) играет важную роль в развитии представлений о взаимодействии элементарных частиц и теории, их описывающей. Отклонение гиромангнитного отношения g дираковской частицы от значения 2 принято обозначать через безразмерную величину a , называемую аномальным магнитным моментом (АММ) частицы: $n = 2(1+a)$. Впервые АММ электрона a_e был теоретически рассчитан в первом порядке теории возмущений по постоянной тонкой структуры α Ю. Швингером еще в 1948 г. [3] и соответствующее значение оказалось в блестящем согласии с имеющимся в то время экспериментальным значением $a_e^{\text{эксп}}$. В настоящее время и экспериментальная точность, и точность теоретических расчетов достигли высочайшего уровня и широко обсуждается не сама величина АММ лептона, а отклонение (дискрепанс) между предсказаниями стандартной модели (СМ) и прямыми измерениями АММ электрона и мюона. В настоящий момент дискрепанс составляет $\sim 2,5$ стандартных отклонений для электрона [4, 5] и $\sim 4,2$ стандартных отклонений для мюона

[6]. Такие большие отклонения могут свидетельствовать в пользу существования новых взаимодействий и проявления новой физики за пределами СМ. В связи с этим идет тщательная проверка теоретических основ и численных расчетов независимыми методами, а также планируется повышение экспериментальной точности.

Цель настоящей работы состоит в нахождении явных выражений для ряда вкладов в АММ лептонов, что дает возможность получить численные значения соответствующих вкладов с любой точностью и проверить имеющиеся численные оценки. В исследованиях мы используем технику интегралов Меллина–Барнса (МБ) – семейство интегралов в комплексной плоскости, подынтегральное выражение которых определяется произведением гамма-функций. Наши исследования можно рассматривать как продолжение работы [7], в которой были представлены выражения для вкладов в АММ от поляризации вакуума лептонными петлями. В работе [7] соответствующие выражения были применены для получения асимптотических выражений, параметром разложения в которых является отношение масс лептонов. Мы получили, что с помощью техники интегралов МБ можно получить и точные выражения.

1. Теоретические основы. Используя преобразование МБ, можно представить вклад от диаграммы поляризации вакуума с тремя лептонными петлями (рис. 1) в виде контурного интеграла в комплексной плоскости:

$$A_2^{(8)}(t) = \frac{1}{2\pi i} \left(-\frac{2\pi^2}{27} \right) \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} \frac{dz t^{-z}}{\sin^2(\pi z)} \times$$

$$\times \left[\frac{(36 + 54z - 29z^2 - 34z^3 + 5z^4 + 4z^5)(6 + 13z + 4z^2)}{z^3(z+1)^2(z+2)^3(z+3)} + \frac{18\pi(6 + 13z + 4z^2)(z-1)(-1-z+z^2)\cot(\pi z)}{z^2(z+1)(z+2)^2(2z+1)(2z-1)(z+3)} \right],$$
(1)

где t определяется как квадрат отношения масс лептонов.

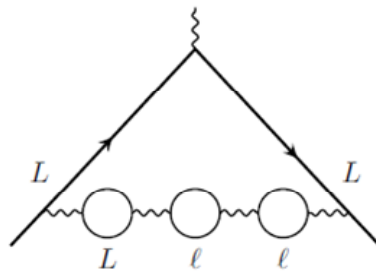


Рис. 1. Диаграмма поляризации вакуума тремя лептонными петлями

Вычислить интеграл (1) можно с помощью теоремы Коши по вычетам. В левой полуплоскости первое слагаемое имеет полюса в точках $z = 0, -1, -2, -3$, а при $z = -4, -5, \dots, -n, \dots$ все полюса будут второго порядка. Второе слагаемое в левой полуплоскости имеет полюса в точках $z = 0, -1, -2, -3, -1/2$, а при $z = -4, -5, \dots, -n, \dots$ все полюса будут третьего порядка.

В правой полуплоскости первое слагаемое имеет только полюса второго порядка в точках $z = 1, 2, 3, \dots, n, \dots$. Второе слагаемое имеет полюс в точке $z = 1$, а также при $z = 2, 3, 4, \dots, n, \dots$ и все полюса будут третьего порядка.

2. Результаты. Суммируя все вычеты, получаем точные аналитические выражения, которые удобно представить в виде разложения по степеням логарифма:

$$A_2^{(8)}(t) = c_0(t) + c_1(t)\ln(t) + c_2(t)\ln^2(t) + c_3(t)\ln^3(t), \quad t < 1; \quad (2)$$

$$A_2^{(8)}(t) = d_0(t) + d_1(t)\ln(t) + d_2(t)\ln^2(t), \quad t > 1, \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} c_0(t) &= \frac{7627}{1944} + \frac{175}{18}t - \frac{54346}{151875}t^2 + \frac{31168}{13505625}t^3 - \frac{32}{15435}t^4 - \frac{4\pi^4}{45}(1+2t^2) - \\ &- \frac{\pi^2}{3}f_1(t) + \left(\frac{12}{35} - \frac{4}{45}t\right)t^4\Phi\left(t, 3, \frac{9}{2}\right) + f_1(t)\text{Li}_2(t) + f_2(t)\text{Li}_3(t) + 4(1+2t^2)\text{Li}_4(t); \\ c_1(t) &= \frac{61}{162} - \frac{\pi^2}{27} + \frac{136}{27}t - \frac{4\pi^2}{9}t - \frac{3734}{10125}t^2 + \frac{13\pi^2}{27}t^2 - \frac{5312}{385875}t^3 + \frac{16}{2205}t^4 - \\ &- \left(\frac{12}{35} - \frac{4}{45}t\right)t^4\Phi\left(t, 2, \frac{9}{2}\right) + f_1(t)\ln(1-t) - f_3(t)\text{Li}_2(t) - 2(1+2t^2)\text{Li}_3(t); \\ c_2(t) &= \frac{2869}{3780} - \frac{29}{70}t + \frac{2081}{1890}t^2 + \frac{1}{27}t^3 - \frac{\pi^2}{9}(1+2t^2) + \left(\frac{12}{35} - \frac{4}{45}t\right)\frac{1}{\sqrt{t}}\text{arctanh}(\sqrt{t}) - \\ &- f_4(t)\ln(1-t) + \frac{1}{3}(1+2t^2)\text{Li}_2(t), \quad c_3(t) = -\frac{4}{45}t^2 + \frac{44}{945}t^3; \\ d_0(t) &= \frac{31937}{68040} + \frac{32}{315t^2} + \frac{23104}{8505t} + \frac{6509}{630}t - \frac{334}{945}t^2 + \left(\frac{12}{35} - \frac{4}{45}t\right)\frac{1}{t^3}\Phi\left(\frac{1}{t}, 3, \frac{5}{2}\right) - \\ &- f_1(t)\text{Li}_2\left(\frac{1}{t}\right) + f_2(t)\text{Li}_3\left(\frac{1}{t}\right) - 4(1+2t^2)\text{Li}_4\left(\frac{1}{t}\right); \\ d_1(t) &= \frac{1579}{1134} + \frac{16}{105t^2} + \frac{3776}{2835t} + \frac{4568}{945}t - \frac{334}{945}t^2 + \left(\frac{12}{35} - \frac{4}{45}t\right)\frac{1}{t^3}\Phi\left(\frac{1}{t}, 2, \frac{5}{2}\right) + \\ &+ f_1(t)\ln\left(1 - \frac{1}{t}\right) + f_3(t)\text{Li}_2\left(\frac{1}{t}\right) - 2(1+2t^2)\text{Li}_3\left(\frac{1}{t}\right); \\ d_2(t) &= \frac{139}{3780} + \frac{111}{70}t - \frac{44}{315}t^2 + \left(\frac{12}{35} - \frac{4}{45}t\right)\frac{1}{\sqrt{t}}\text{arctanh}\left(\frac{1}{\sqrt{t}}\right) - f_4(t)\ln\left(1 - \frac{1}{t}\right) - \\ &- \frac{1}{3}(1+2t^2)\text{Li}_2\left(\frac{1}{t}\right), \end{aligned}$$

где Φ – функция Лерха; Lin – полилогарифм.

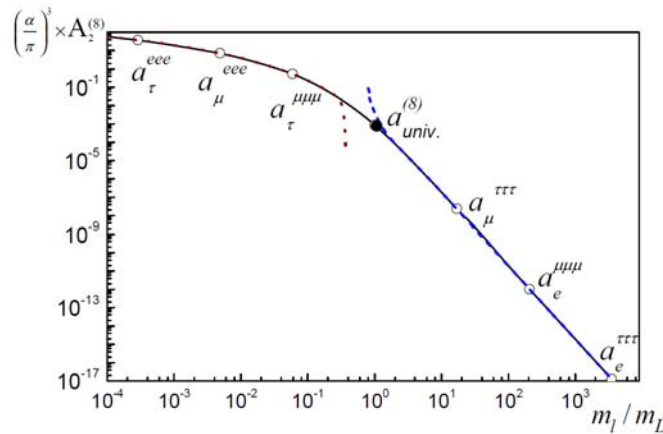


Рис. 2. Зависимость коэффициента $A_2^{(8)}$ от отношения масс лептонов

Рисунок 2 демонстрирует для диаграммы, представленной на рис. 1, зависимость вклада в АММ лептонов от отношения масс лептонов: точные выражения (2)–(3) – это сплошная линия, кривая из точек – разложение до 4-го порядка при $t < 1$, а пунктирная – для области $t > 1$. Черная точка соответствует универсальному вкладу:

$$A_2^{(8)}(t=1) = 3a_{\text{univ}}^{(8)} = \frac{151849}{40824} - \frac{2\pi^4}{45} + \frac{32\zeta(3)}{63}.$$

В данной работе получены точные аналитические выражения для вклада в аномальный магнитный момент лептона $(g-2)_L$, от диаграммы поляризации вакуума тремя лептонными петлями, в случае, когда одна из лептонных петель совпадает с исходным лептоном. Полученные аналитические выражения могут быть использованы для проверки трудоемких численных расчетов, качественных сравнений, а также могут быть востребованы в связи с планируемыми улучшениями точности экспериментов аномальным магнитным моментам лептонов.

Литература

1. Lautrup, B. E. Recent developments in the comparison between theory and experiments in quantum electrodynamics / B. E. Lautrup, A. Peterman, E. Rafael // Phys. Rept. – 1972. – Vol. 3. – P. 193–259.
2. The anomalous magnetic moment of the muon in the Standard Model / T. Aoyama [et al.] // Phys. Rept. – 2020. – Vol. 887. – P. 1–166.
3. Schwinger, J. S. Quantum electrodynamics. III: The electromagnetic properties of the electron: radiative corrections to scattering / J. S. Schwinger // Phys. Rev. – 1949. – Vol. 76. – P. 790–817.
4. Parker, R. H. Measurement of the fine-structure constant as a test of the Standard Model / R. H. Parker // Science. – 2018. – Vol. 360. – P. 191–195.
5. Davoudiasl, H. Tale of two anomalies / H. Davoudiasl, W. J. Marciano // Phys. Rev. D. – 2018. – Vol. 98. – Art. 075011. – P. 5.
6. (Muon g-2 Coll.) Measurement of the positive muon anomalous magnetic moment to 0.46 ppm / B. Abi [et al.] // Phys. Rev. Lett. – 2021. – Vol. 126. – Art. 141801. – P. 11.
7. Aguilar, J. P. Muon anomaly from lepton vacuum polarization and the Mellin-Barnes representation. / J. P. Aguilar, D. Greynat, E. Rafael // Phys. Rev. D. – 2008. – Vol. 77. – Art. 093010. – P. 27.

УДК 539.3

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОНСОЛЬНОЙ БАЛКИ, ВЫПОЛНЕННЫЙ В SOLIDWORKS

О. А. Лапко, У. В. Ключко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Представлены результаты прочностного анализа методом конечных элементов с помощью программного комплекса SolidWorks. Результат расчета сравнивается с расчетом, выполненным по классической методике сопротивления материалов.

Ключевые слова: прочность, нагрузка, деформация, метод конечных элементов.

STATIC CALCULATION OF THE CANTILEVER BEAM PERFORMED IN SOLIDWORKS

O. A. Lapko, U. V. Klochko

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The results of strength analysis by the finite element method using the SolidWorks software package are presented. The calculation result is compared with the calculation performed according to the classical method of resistance of materials.

Keywords: strength, load, deformation, finite element method.

Метод конечных элементов в настоящее время широко используется для решения различных задач механики деформируемого твердого тела. Суть метода заключается в разбиении твердотельной модели на конечное число элементов, составлении и последующем решении системы линейных алгебраических уравнений. Большинство современных САД-систем имеет специальные инструменты, предназначенные для автоматизации подобных расчетов.

Цель данной работы – провести прочностной расчет балки с помощью программы SolidWorks, полученный результат сравнить с результатом, выполненным по формулам.

Для выполнения расчета в программе SolidWorks строится модель балки в натуральную величину (рис. 1). Создается эскиз нужного профиля, выдавливается на требуемую длину, получается деталь.

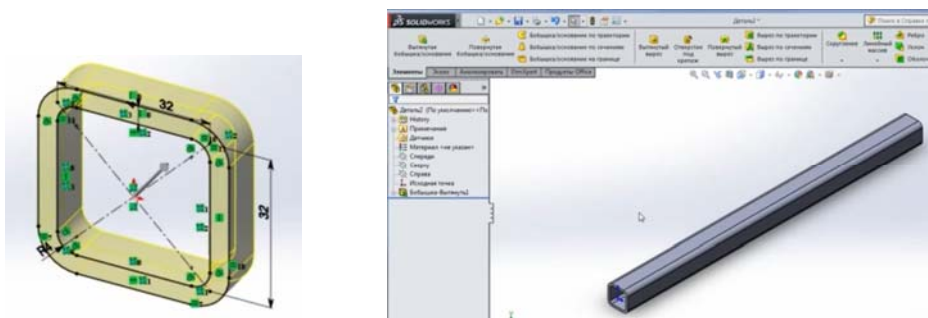


Рис. 1. Модель балки, построенная в программе SolidWorks

Для того чтобы выполнить статический анализ, необходимо добавить панель инструментов *simulation*. На следующем этапе задается материал детали. Далее устанавливается закрепление балки (жесткая заделка), указывается зафиксированная грань, относительно которой будет происходить деформация консольной балки. Выбирается зафиксированная геометрия и указывается грань (на рис. 2 обозначена зеленым цветом). Далее задается внешняя нагрузка 1000 Н, сила будет направлена по касательной. Вторая сила действует на растяжение – 500 Н. После того как задается материал, закрепление и приложенные силы, модель выглядит следующим образом (рис. 2).

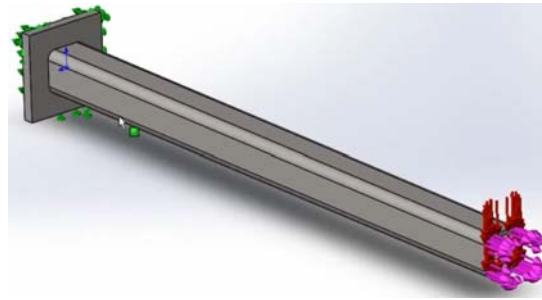


Рис. 2. Модель балки с приложенной нагрузкой

Выполняется запуск расчета. После выполнения статического анализа в дереве исследования появляется новая ветвь – результаты. Здесь выдается три результата: напряжение, перемещение и деформация (рис. 3).

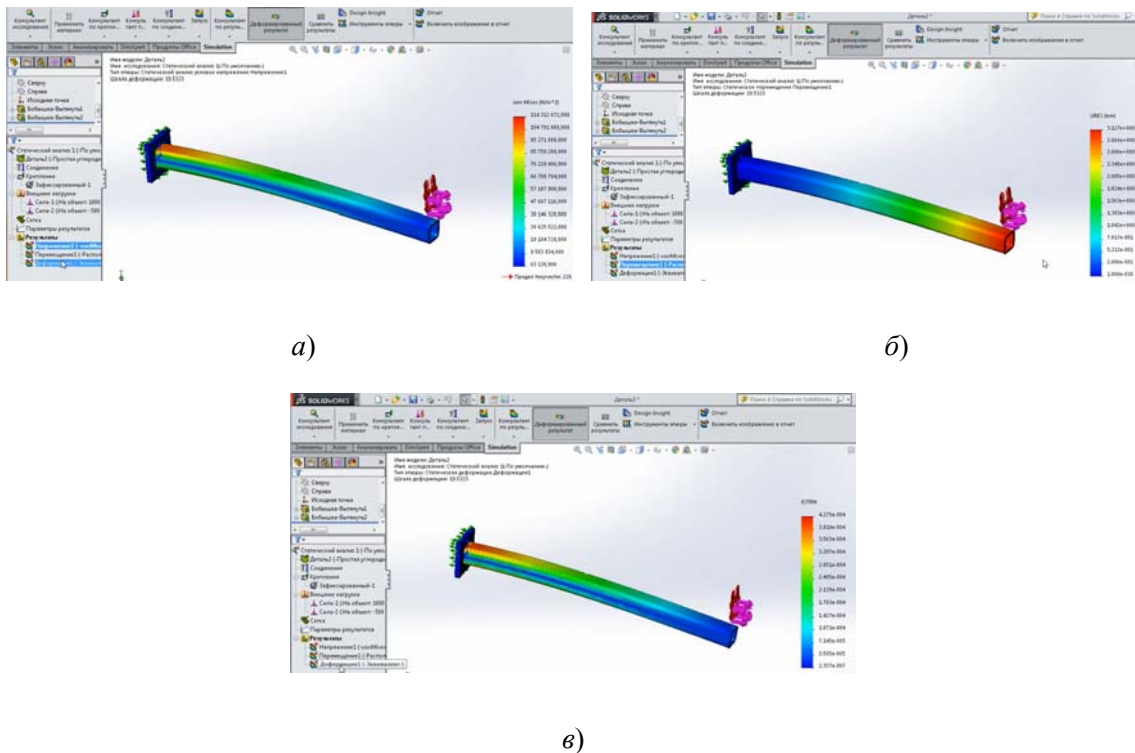


Рис. 3. Результаты расчета:
 а – результат расчета напряжения; б – результат расчета перемещения; в – результат расчета деформации

Деталь раскрашена в разные цвета, что сразу дает наглядное представление о нагрузке. Справа располагается шкала, на которой разным цветом обозначены действующие в модели напряжения. Красным цветом обозначены более напряженные участки, а синим цветом – менее напряженные участки. Согласно расчетам, максимальное напряжение, которое возникает в балке, составляет 114 МПа. Следующий результат, который дает статический расчет, – это перемещение. Данный результат позволяет проанализировать перемещение точек детали от исходного состояния. Согласно расчетам, максимальный прогиб составляет 3,127 мм. Красным цветом отображается наибольшее перемещение, синим цветом – наименьшее. Еще один результат – это деформация. Данный результат позволяет проанализировать деформацию конечных элементов. Красным цветом отображаются элементы с наибольшей деформацией, синим цветом – конечные элементы с наименьшей деформацией.

Для сравнения результатов расчета выполним расчет перемещения данной балки по классической методике сопротивления материалов. Максимальное перемещение определяется по формуле [1]. Схема нагружения представлена на рис. 4.

$$y_{\max} = \frac{Fl^3}{3EI}, \quad (1)$$

где F – сила, Н; l – длина балки, м; E – модуль упругости материала балки, Па; I – осевой момент инерции сечения балки, м⁴.

Осевой момент инерции рассчитывается по формуле [1]:

$$I_y = \frac{2}{3} B^3 S, \quad (2)$$

где B – длина ребра поперечного разреза балки, м; S – толщина балки в поперечном разрезе, м.

$$I_y = \frac{2}{3} 0,04^3 \cdot 0,004 = 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4;$$

$$y_{\max} = \frac{1000 \cdot 0,7^3}{3 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,7 \cdot 10^{-7}} = 0,032 \text{ м} = 3,2 \text{ мм.}$$

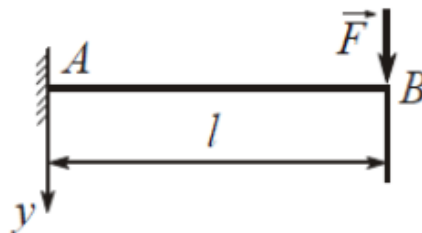


Рис. 4. Схема нагружения для расчета прогиба балки

Получены следующие результаты: создали консольную балку, выполнили статический анализ и получили три результата расчета – напряжение, перемещение и деформация. Выполнили расчет перемещения данной балки по классической методике сопротивления материалов. Разница между двумя полученными результатами составила менее 5 %.

Таким образом, применение прочностного анализа методом конечных элементов наиболее эффективно в случае анализа сложных конструкций, решение которых классическим методом может оказаться весьма трудоемким.

Литература

1. Александров, А. В. Сопротивление материалов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин. – М. : Высш. шк., 2003. – 560 с.

УДК 548.24

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ У КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОЛОСЫ СДВИГА ТИПА ЧЕШУЙЧАТОГО НАВАЛА, НАХОДЯЩЕГОСЯ У ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СТЕКЛА, В СИСТЕМЕ «ПОЛОСА СДВИГА – ТРЕЩИНА»

А. А. Рюмцев, О. М. Остриков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Республика Беларусь»

Предложена методика расчета полей напряжений у криволинейной полосы сдвига типа чешуйчатого навала, находящегося у поверхности металлического стекла, в системе «полоса сдвига – трещина», а также приведен анализ полей напряжений при различных закономерностях распределения плотностей квазидислокаций.

Ключевые слова: металлическое стекло, полоса сдвига, чешуйчатый навал, трещина, квазидислокация.

METHOD OF CALCULATION OF STRAINED FIELDS NEAR A CURVILINEAR SHEAR BAND OF THE TYPE OF A SCALE BUCKLE LOCATED NEAR THE SURFACE OF METALLIC GLASS IN THE “SHEAR BAND – CRACK” SYSTEM

A. A. Rumtsau, O. M. Ostrikov

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The article proposes a method for calculating stress fields near a curvilinear shear band such as a scaly pile located near the surface of metallic glass in the “shear band – crack” system, and also provides an analysis of stress fields for various methods of distribution of quasi-dislocation densities.

Keywords: metallic glass, shear band, scaly heap, crack, quasi-dislocation.

Цель работы состояла в формировании методики определения и расчета напряжений в металлическом стекле в системе «полоса сдвига – трещина» при отсутствии воздействия на систему внешней нагрузки.

Согласно [1], напряжения $\sigma_{ij}^{(0)}(x, y)$ в теле металлического стекла возникают от самой полосы сдвига в отсутствии приложенной извне нагрузки. Методика расчета данных напряжений была описана в [1]. Основой методики является использование математического моделирования дислокационных процессов для описания деформирования аморфных материалов [1].

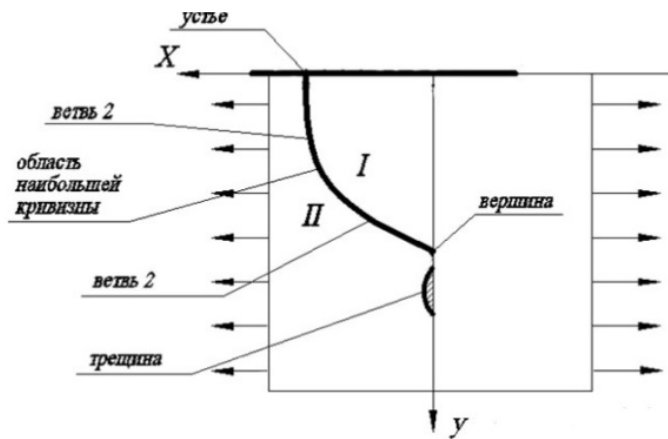


Рис. 1. Схематическое изображение системы «полоса сдвига – трещина» при расположении полосы сдвига у поверхности металлического стекла

Для микротрещины нормального отрыва с модулем вектора Бюргера $b_{кр}^{тр}$ каждой дислокации, который будет параллелен осям OY и OY_1 , распределение напряжений находим с помощью соотношений (1)–(3) [2], [3]

$$\sigma_{xx}^{тр}(x, y) = \frac{\mu b_{кр}^{тр}}{2\pi(1-\nu)} \int_0^{L_{тр}} \rho(\xi) \cdot \left[\frac{(x-B) \left[3((y-\xi)-A)^2 + (x-B)^2 \right]}{\left[((y-\xi)-A)^2 + (x-B)^2 \right]^2} \right] d\xi; \quad (1)$$

$$\sigma_{yy}^{тр}(x, y) = \frac{\mu b_{кр}^{тр}}{2\pi(1-\nu)} \int_0^{L_{тр}} \rho(\xi) \cdot \left[\frac{(x-B) \left[((y-\xi)-A)^2 + (x-B)^2 \right]}{\left[((y-\xi)-A)^2 + (x-B)^2 \right]^2} \right] d\xi; \quad (2)$$

$$\sigma_{xy}^{тр}(x, y) = \frac{\mu b_{кр}^{тр}}{2\pi(1-\nu)} \int_0^{L_{тр}} \rho(\xi) \cdot \left[\frac{((y-\xi)-A) \left[((y-\xi)-A)^2 - (x-B)^2 \right]}{\left[((y-\xi)-A)^2 + (x-B)^2 \right]^2} \right] d\xi, \quad (3)$$

где μ – модуль сдвига; $L_{тр}$ – длина трещины; ν – коэффициент Пуассона; A и B – проекции на оси OY и OX , позволяющие регулировать положение трещины относительно вершины полосы сдвига.

Суммарные напряжения в металлическом стекле в системе «полоса сдвига – трещина» будут определяться по выражению

$$\sigma_{ij}(x, y) = \sigma_{ij}^{тр}(x, y) + \sigma_{ij}^{(0)}(x, y). \quad (4)$$

Рассмотрим три случая распределения плотности квазидислокаций $\rho(\xi)$. Пусть в первом случае плотность квазидислокаций описывается функцией

$$\rho(\xi) = 10^6. \quad (5)$$

Во втором случае закон распределения квазидислокаций носит нелинейный характер и описывается функцией

$$\rho(\xi) = A_1 \xi^2 + B_1 \xi + C_1, \quad (6)$$

где A_1 , B_1 , и C_1 – эмпирические коэффициенты.

В третьем случае закон распределения квазидислокаций носит синусоидный характер:

$$\rho(\xi) = (\sin(A_2 \xi) B_2) C_2, \quad (7)$$

где A_2 , B_2 и C_2 – эмпирические коэффициенты.

В результате расчетов получили картины полей напряжений (рис. 2–4).

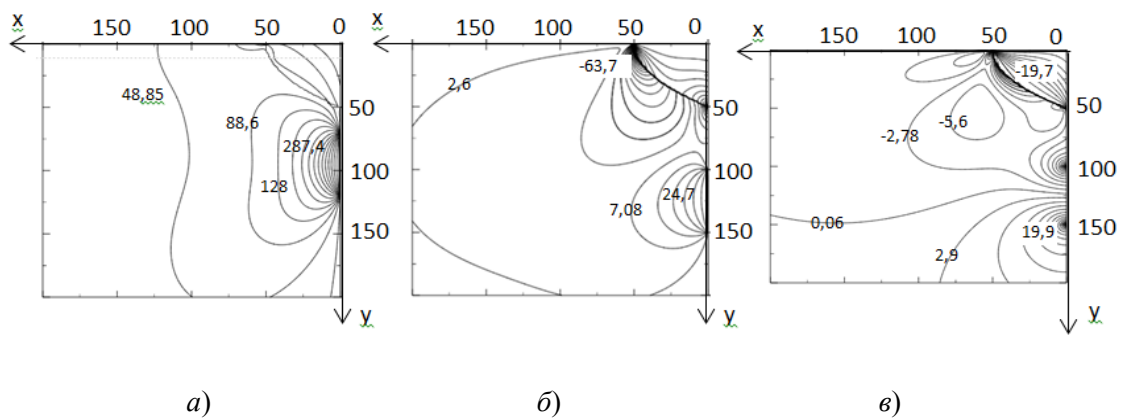


Рис. 2. Поля напряжений:

$a - \sigma_{xx}^{(0)}(x, y)$; $b - \sigma_{yy}^{(0)}(x, y)$; $c - \sigma_{xy}^{(0)}(x, y)$ в металлическом стекле в системе «полоса сдвига – трещина» при функции распределения квазидислокаций, описываемой формулой (5)

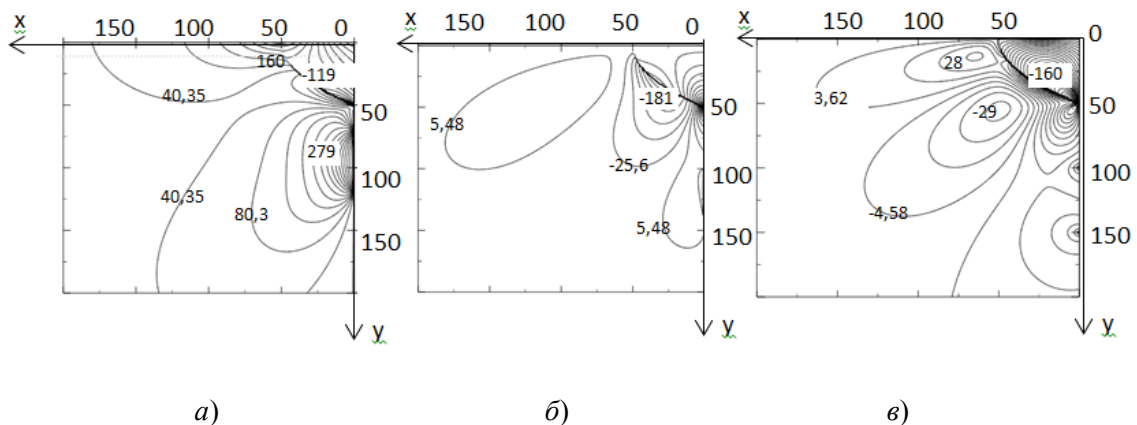


Рис. 3. Поля напряжений $a - \sigma_{xx}^{(0)}(x, y)$; $b - \sigma_{yy}^{(0)}(x, y)$; $c - \sigma_{xy}^{(0)}(x, y)$

в металлическом стекле в системе «полоса сдвига – трещина» при функции распределения квазидислокаций, описываемой формулой (6)

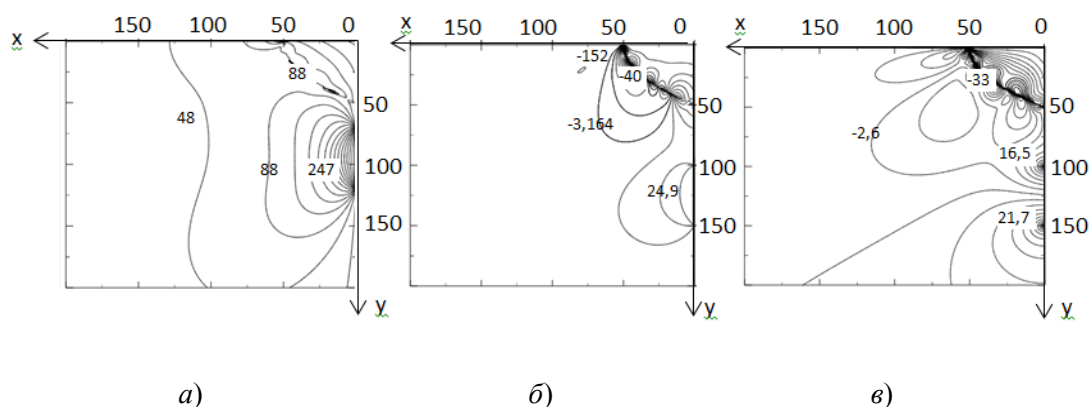


Рис. 4. Поля напряжений:
 $a - \sigma_{xx}^{(0)}(x, y)$; $b - \sigma_{yy}^{(0)}(x, y)$; $c - \sigma_{xy}^{(0)}(x, y)$ в металлическом стекле
 в системе «полоса сдвига – трещина» при функции
 распределения квазидислокаций, описываемой формулой (7)

В результате проведенного исследования была установлена зависимость между распределением напряжений в металлическом стекле и закономерностью изменения плотности квазидислокаций. Так, при плотности квазидислокаций, описываемой константой, были отмечены большие по значению напряжения у трещины, чем при нелинейной закономерности распределения квазидислокаций. Наибольшие напряжения были отмечены при синусоидной закономерности распределения квазидислокаций. Стоит отметить, что ввиду случайности распределения квазидислокаций в металлическом стекле синусоидная закономерность отражает наиболее близкий к реальности вариант распределения дефектов в материале.

Л и т е р а т у р а

1. Рюмцев, А. А. Методика расчета полей напряжений у криволинейной полосы сдвига типа чешуйчатого навала, находящегося у поверхности металлического стекла / А. А. Рюмцев, О. М. Остриков // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2015. – № 4 (94). – С. 39–46.
2. Влашевич, В. В. Метод численно-аналитического расчета полей напряжений в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина» при поперечном сдвиге / В. В. Влашевич, О. М. Остриков // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2016. – № 4 (100). – 59 с.
3. Астафьев, В. И. Нелинейная механика разрушения / В. И. Астафьев, Ю. Н. Радаев, Л. В. Степанова. – Самара : Изд-во «Самарский университет», 2001. – 562 с.

УДК 530.1

МЕТОД ФУНКЦИИ ГРИНА ДЛЯ ЗАДАЧИ РАССЕЯНИЯ НА КУЛОНОВСКОМ ПОТЕНЦИАЛЕ

В. Ю. Златина, В. Ю. Гавриш

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
 университет имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Получена формула Резерфорда с использованием спектрального разложения функции Грина. В ходе работы авторы, используя метод функции комплексного переменного, получают выражение для функции Грина уравнения Шредингера с последующим применением для задачи рассеяния на сферически-симметричном потенциале.

Ключевые слова: уравнение Шредингера, функция Грина, потенциал, формула Резерфорда.

GREEN'S FUNCTION METHOD FOR THE COULOMB POTENTIAL SCATTERING PROBLEM

V. Yu. Zlatina, V. Yu. Haurysh

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

In the paper the Rutherford formula using the spectral Green's function expansion is obtained. In the course of the work the authors using the method of the complex variable function obtain expression for the Green's function of the Schrödinger equation with subsequent application for the spherically symmetric potential scattering problem.

Keywords: Schrödinger equation, Green's function, potential, Rutherford formula.

Задача рассеяния частицы в классической механике с учетом прицельного расстояния и скорости частиц решается известными методами. В квантовой механике меняется сама постановка вопроса, поскольку понятие траектории, а с нею и прицельного расстояния теряет смысл. В работе представлена процедура получения дифференциального сечения рассеяния на кулоновском потенциале с использованием функции Грина. Как результат работы с использованием метода функции комплексной переменной получена формула Резерфорда.

Функция Грина свободной частицы. Известно [1], что свободная частица описывается уравнением Шредингера

$$\hat{H}_0 \psi_k^0(\vec{r}) = E \psi_k^0(\vec{r}), \quad (1)$$

гамильтониан \hat{H}_0 которого представлен оператором кинетической энергии

$$\hat{H}_0 = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta. \quad (2)$$

Волновая функция, соответствующая выражению (1), определяется соотношением

$$\psi_k^0(\vec{r}) = e^{i\vec{k}\vec{r}}. \quad (3)$$

В случае наличия оператора взаимодействия $\hat{V} = V(\vec{r})$ уравнение Шредингера примет вид

$$(\hat{H}_0 + \hat{V})\psi(\vec{r}) = E \psi(\vec{r}). \quad (4)$$

Для простоты будем полагать, что взаимодействие исчезает на больших расстояниях от силового центра, т. е. $V(\vec{r} \rightarrow \infty) = 0$. Перепишем (4) в виде

$$(\hat{H}_0 - E)\psi(\vec{r}) = -\hat{V} \psi(\vec{r}), \quad (5)$$

решение которого будем проводить методом функции Грина. Для этого перейдем от дифференциального уравнения Шредингера (5) к эквивалентному интегральному уравнению

$$\psi(\vec{r}) = e^{i\vec{k}\vec{r}} + \int G_0(E, \vec{r}, \vec{r}') V(\vec{r}') \psi(\vec{r}') d\vec{r}', \quad (6)$$

где $G_0(E, \vec{r}, \vec{r}')$ – функция Грина, соответствующая оператору \hat{H}_0 и удовлетворяющая уравнению

$$(E - \hat{H}_0)G_0(E, \vec{r}, \vec{r}') = \delta(\vec{r} - \vec{r}') \quad (7)$$

с дельта-функцией Дирака $\delta(\vec{r} - \vec{r}')$ [2]. Легко убедиться, что если $G_0(E, \vec{r}, \vec{r}')$ является функцией Грина, соответствующей оператору \hat{H}_0 , то справедливо так называемое спектральное разложение или спектральное представление функции Грина [1]

$$G_0(E, \vec{r}, \vec{r}') = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Psi_n^0(\vec{r})\Psi_n^{*0}(\vec{r}')}{E_0 - E_n}, \quad (8)$$

которое в случае непрерывного спектра оператора \hat{H}_0 определяется интегралом вида

$$G_0(E, \vec{r}, \vec{r}') = \int \frac{\Psi_{\vec{\chi}}^0(\vec{r})\Psi_{\vec{\chi}}^{*0}(\vec{r}')}{E_0 - E_n} \frac{d\vec{\chi}}{(2\pi)^3}. \quad (9)$$

Выполняя несложные преобразования, связанные с интегрированием по направлениям вспомогательного вектора $\vec{\chi}$, получаем выражение

$$G_0(E, \vec{r}, \vec{r}') = \frac{m}{2\pi^2\hbar^2} \frac{1}{i|\vec{r} - \vec{r}'|} \int \frac{e^{i\vec{\chi}|\vec{r} - \vec{r}'|}}{\frac{2mE_0}{\hbar^2} - |\vec{\chi}|^2} \frac{d\vec{\chi}}{(2\pi)^3}, \quad (10)$$

в котором учтено, что $|\vec{k}| = \sqrt{2mE_0/\hbar^2}$.

Интеграл (10) вычислим с помощью техники вычетов [3]. Рассмотрим два способа обхода полюсов: добавим к положительной вещественной величине E_0 малую добавку $\pm i\varepsilon$. Соответствующие выражения для функции Грина обозначим индексами (+) или (–):

$$G_0^{(\pm)}(E, \vec{r}, \vec{r}') = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} G_0(E \pm i\varepsilon, \vec{r}, \vec{r}'), \quad (11)$$

вычисление которых приводит к

$$G_0^{(+)}(E, \vec{r}, \vec{r}') = -\frac{m}{2\pi\hbar^2} \frac{e^{i\vec{k}|\vec{r} - \vec{r}'|}}{|\vec{r} - \vec{r}'|}, \quad (12)$$

$$G_0^{(-)}(E, \vec{r}, \vec{r}') = -\frac{m}{2\pi\hbar^2} \frac{e^{-i\vec{k}|\vec{r} - \vec{r}'|}}{|\vec{r} - \vec{r}'|}.$$

Случай расходящейся волны соответствует $G_0^{(+)}(E, \vec{r}, \vec{r}')$, с учетом (6) приходим к

$$\psi(\vec{r}) = e^{i\vec{k}\vec{r}} - \int \frac{m}{2\pi\hbar^2} \frac{e^{i\vec{k}|\vec{r} - \vec{r}'|}}{|\vec{r} - \vec{r}'|} V(\vec{r}')\psi(\vec{r}')d\vec{r}', \quad (13)$$

откуда путем сравнения с общим выражением получаем [1], что амплитуда рассеяния определяется функцией Грина (12) и явным видом оператора взаимодействия $\hat{V} = V(\vec{r})$.

Упругое рассеяние на кулоновском потенциале. Определим выражение для дифференциального сечения на сферически-симметричном потенциале

$$V(|\vec{r}|) = Z_1 Z_2 \frac{e^2}{|\vec{r}|}, \quad (14)$$

где Z_1, Z_2 – заряды мишени и налетающей частицы; e – элементарный заряд [1]. В случае упругого рассеяния, когда импульсы начальной и конечной частиц равны $|\vec{k}_0| = |\vec{k}|$, получаем:

$$|\vec{k}_0 - \vec{k}| = \sqrt{k_0^2 + k^2 - 2|\vec{k}_0||\vec{k}|\cos\theta} = 2|\vec{k}|\sin\left(\frac{\theta}{2}\right). \quad (15)$$

Проводя интегрирование по телесному углу выражения для амплитуды рассеяния

$$f(\vec{k}', \vec{k}) = -\int \frac{m}{2\pi\hbar^2} e^{i\vec{k}_0 \cdot \vec{r}'} e^{-i\vec{k} \cdot \vec{r}'} V(\vec{r}') d\vec{r}' \quad (16)$$

с последующей подстановкой (16) в выражение для дифференциального сечения

$$d\sigma = |f(\vec{k}', \vec{k})|^2 d\Omega, \quad (17)$$

приходим к

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{4Z_1^2 Z_2^2 m^2}{\hbar^4 |\vec{k}_0 - \vec{k}|^2} \left| \int_0^\infty \sin(|\vec{k}_0 - \vec{k}| r') dr' \right|^2. \quad (18)$$

Для вычисления интеграла (18) воспользуемся следующим приемом:

$$\int_0^\infty \sin(|\vec{k}_0 - \vec{k}| r') dr' \Rightarrow \lim_{\lambda \rightarrow 0} \int_0^\infty e^{-\lambda r'} \sin(|\vec{k}_0 - \vec{k}| r') dr'. \quad (19)$$

Используя комплексное представление тригонометрических функций, получаем искомый интеграл в следующем виде:

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} \int_0^\infty e^{-\lambda r'} \frac{e^{i|\vec{k}_0 - \vec{k}| r'} - e^{-i|\vec{k}_0 - \vec{k}| r'}}{2i} dr'. \quad (20)$$

После некоторых преобразований из выражения (20) получаем:

$$\begin{aligned} \lim_{\lambda \rightarrow 0} \int_0^\infty e^{-\lambda r'} \frac{e^{i|\vec{k}_0 - \vec{k}| r'} - e^{-i|\vec{k}_0 - \vec{k}| r'}}{2i} dr' &= \frac{1}{2i} \lim_{\lambda \rightarrow 0} \left(\int_0^\infty e^{-(\lambda - i|\vec{k}_0 - \vec{k}|) r'} dr' - \int_0^\infty e^{-(\lambda + i|\vec{k}_0 - \vec{k}|) r'} dr' \right) = \\ &= \frac{1}{2i} \lim_{\lambda \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\lambda - i|\vec{k}_0 - \vec{k}|} - \frac{1}{\lambda + i|\vec{k}_0 - \vec{k}|} \right) = \frac{1}{|\vec{k}_0 - \vec{k}|}. \end{aligned} \quad (21)$$

Подстановка (21) в (18) приводит к

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{4Z_1^2 Z_2^2}{\hbar^4 |\vec{k}_0 - \vec{k}|^4}, \quad (22)$$

или с использованием (15) окончательно получаем:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{4Z_1^2 Z_2^2}{16E^2} \sin^{-4}\left(\frac{\theta}{2}\right). \quad (23)$$

Полученное выражение называют формулой Резерфорда [1].

Работа посвящена методу функции Грина для задачи квантовой теории рассеяния. В ходе работы было получено выражение для рассеянной волны в борновском приближении. Данные соотношения использованы для вычисления дифференциального сечения на сферически-симметричном потенциале.

Литература

1. Давыдов, А. С. Квантовая механика : учеб. пособие / С. А. Давыдов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 704 с.
2. Владимиров, В. С. Уравнения математической физики / В. С. Владимиров. – М. : Наука, 1967. – 436 с.
3. Лаврентьев, М. А. Методы теории функций комплексного переменного / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. – М. : Наука, 1973. – 749 с.

УДК 621.778.073

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ОБРЫВА ПРОВОЛОКИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ

С. И. Прач, В. П. Прытков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Республика Беларусь»

Волочение проволоки – это процесс обработки металла давлением, при котором последний постепенно однократно или многократно протягивается через специальный волоочильный инструмент, предназначенный для поэтапного уменьшения поперечного сечения исходной заготовки. Наиболее важной проблемой при волочении проволоки является ее обрывность. В данной работе исследованы некоторые способы снижения обрыва проволоки.

Ключевые слова: волочение, проволока, коэффициент трения, пластичность, обрыв проволоки.

INVESTIGATION OF WAYS TO REDUCE WIRE BREAKAGE DURING DRAWING

S. I. Prach, V. P. Prytkov

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Wire drawing is a process of metal processing by pressure, in which the latter is gradually stretched once or repeatedly through a special drawing tool designed to gradually reduce the cross-section of the initial workpiece. The most important problem when drawing wire is its breakage. In this paper, some ways of reducing wire breakage.

Keywords: drawing, wire, coefficient of friction, plasticity, wire breakage.

Для исследования способов снижения обрыва проволоки при волочении, рассмотрим основные причины его возникновения:

1. Наличие поверхностных дефектов, наследованных с катанки [1].
2. Наличие внутренних дефектов (микротрещин), которые играют роль концентраторов напряжений [2, 3].
3. Снижение пластичности металлов при деформировании [4].

Целью данной работы является исследование некоторых способов снижения обрыва проволоки при волочении:

1. *Улучшение качества заготовки.* Для уменьшения поверхностных дефектов, наследованных с катанки, необходимо проводить анализ внешнего вида и исследование микроструктуры дефектной зоны, совершенствовать системы транспортировки и увязки бунтов.

2. *Применение дополнительного латунирования стальной высокоуглеродистой проволочной заготовки перед волочением* [5]. При волочении с поверхностью волоки контактирует тонкий слой латунного покрытия на стальной проволоке. Поэтому на величину контактного трения влияют свойства используемой латуни, жидкой смазки и поверхности деформирующей зоны волоки, а также другие условия волочения. Особое внимание было обращено на латунное покрытие, которое при волочении получает значительную пластическую деформацию, находясь на поверхности стальной проволоки. Это покрытие кроме основного назначения – повышения адгезии латунированной стальной проволоки к резине и повышения антикоррозионных свойств, играет роль металлической твердой смазки при волочении этой проволоки. Свойства латуни значительно влияют на контактное трение при волочении стальной латунированной проволоки. Для снижения контактного трения латунное покрытие должно иметь повышенную пластичность. Латунное покрытие, толщина которого 1,5–3,5 мкм, должно быть не только пластичным, но и плотным. Оно должно иметь хорошее сцепление со стальной основой. Несоблюдение этих требований приводит к таким отрицательным явлениям, как повышенный съём латунного покрытия и снижение адгезионных свойств металлокорда, свитого из этой проволоки, к резине.

Применение дополнительного нанесения меди посредством охлаждения проволоки после диффузионного нанесения латунного покрытия в ванне с водным раствором сульфата меди $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ с концентрацией от 3 до 10 г/л приводит к повышению в допустимых пределах концентрации меди на поверхности латунного покрытия. Гарантирует отсутствие β -фазы латуни на поверхности латунированной заготовки, контактирующей с рабочей зоной волоки при волочении. Это повышает пластические свойства латуни и уменьшает коэффициент контактного трения при волочении, что создает резерв для роста скорости волочения без снижения качества проволоки.

3. *Применение напорных волок.* Напорные волоки используются как инструмент в волочильном производстве проволоки и прутков. Напорные волоки обеспечивают принудительную подачу смазки в зону деформации волоки и снижение трения и усилия деформации при протягивании проволоки через эту волоку. В результате эффективность волочения повышается за счет снижения энергопотребления и износа волоки.

Напорные волоки получили распространение в процессах сухого волочения, где используются сухие порошкообразные смазки [6]. Принцип работы напорной волоки состоит в нагнетании смазки в зоне деформации в результате избыточного давления смазки в напорной зоне перед волокой. Напорная зона представляет собой

узкий канал между проволокой и напорной вставкой. Избыточное давление создается за счет увлечения смазки проволокой в зону деформации. Геометрия узкого канала волоки и степень вязкости смазки определяют величину избыточного давления.

Для применения напорных волок при мокром волочении можно использовать инструмент для волочения проволоки, особенностью конструкции которого является достижение равномерного смазочного слоя с пониженной вязкостью [7]. Инструмент для волочения проволоки, представленный на рис. 1, включает корпус 1, деформирующую волоку 2, напорную волоку 3, содержит кольцо 4 и эластичный кольцевой уплотнитель 5, установленный между напорной волокой и корпусом. Для создания нежесткого закрепления напорной волоки, которое обеспечивает повышение вибростойкости устройства и сбалансированное состояние между волокой и проволокой 6, снижающее величину контактного трения между ними. Эластичный кольцевой уплотнитель снижает вибрацию проволоки, что также позволяет уменьшить количество ее обрывов во время волочения. Кроме того, для достижения поставленной задачи устанавливается определенная величина зазора между проволокой и внутренним каналом напорной волоки, гарантирующая непрерывное обеспечение эффективного экранирующего слоя волочильной смазки за счет ее стабильной подачи в очаг деформации. Это обеспечивает повышение давления между напорной и деформирующей волоками, что приводит к принудительной подаче эмульсии к деформирующей волоке и снижению усилия волочения, повышению стойкости деформирующих волок.

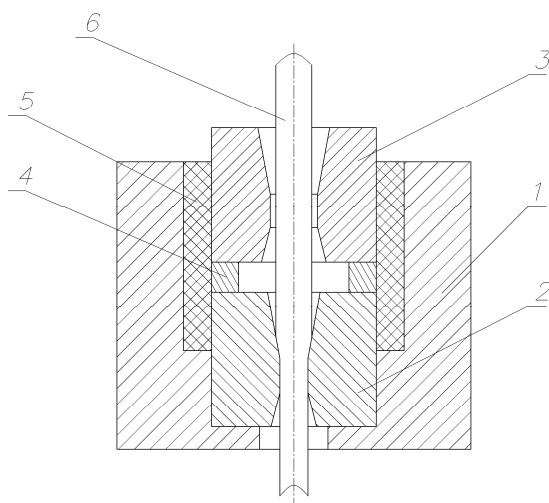


Рис. 1. Инструмент для волочения проволоки:
1 – корпус; 2 – деформирующая волока; 3 – напорная волока, 4 – кольцо; 5 – уплотнение; 6 – проволока

Устройство работает следующим образом: при волочении проволока проходит через канал напорной волоки. Эластичный кольцевой уплотнитель напорной волоки снижает трение между проволокой и волокой, зазор между которыми обеспечивает захват подаваемой водоземulsionной смазочно-охлаждающей жидкости (ВСОЖ) поверхностью проволоки и ее движение по направлению волочения. В результате в пространстве между напорной и деформирующей волокой создается избыточное давление ВСОЖ. Это давление способствует принудительной подаче ВСОЖ в зону деформации проволоки в деформирующей волоке. Принудительная подача ВСОЖ

обеспечивает рост толщины смазочного слоя в зоне деформации в деформирующей волоке. Повышение толщины смазочного слоя способствует снижению усилия волочения, износа рабочей волоки.

Применение напорных волок при мокром волочении проволоки приводит к устойчивой подаче водоземulsionной смазки к деформирующей волоке и созданию равномерного смазочного слоя с пониженной вязкостью на поверхности проволоки, что, в свою очередь, не снижает ее пластичности и не приводит к обрыву проволоки.

4. *Применение сдвоенных волок* [8]. При волочении в сдвоенной волоке имеет место более высокая равномерность деформации в направлении радиуса проволоки по поперечному сечению, расположенному на выходе из волоки. Рост равномерности деформации при прочих равных условиях всегда сопровождается ростом пластических свойств обрабатываемого металла.

Использование сдвоенной чистовой волоки в тонком волочении проволоки в сравнении с использованием одинарной чистовой волоки позволяет повысить пластические свойства проволоки при повышении скорости на 15–20 % и снизить обрывность при свивке проволоки в металлокорд.

По результатам исследования выяснили, что применение рассмотренных способов приводит к снижению коэффициента контактного трения при волочении проволоки. Снижение коэффициента контактного трения указывает на увеличение запаса пластичности проволоки и повышение пластических свойств проволоки, что положительно отразится на снижении обрывности проволоки при дальнейшей обработке. Также создается резерв для повышения скорости волочения без снижения качества проволоки.

Литература

1. Серегина, Е. С. Обрывность проволоки во время волочения по причинам наличия поверхностных дефектов, наследованных с катанки / Е. С. Серегина // *Литье и металлургия*. – 2017. – 4 вып. – С. 26–31.
2. Колмогоров, В. Л. Напряжения. Деформации. Разрушения / В. Л. Колмогоров. – М. : Металлургия, 1970. – 162 с.
3. Качанов, Л. М. Теория ползучести / Л. М. Качанов. – М. : Физматгиз, 1960. – 455 с.
4. Температурно-деформационный критерий оптимизации маршрутов волочения тонкой высокоуглеродистой проволоки / Ю. Л. Бобарикин [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2012. – 3 вып. – С. 205–209.
5. Исследование использования дополнительного меднения латунного покрытия стальной проволоки / Ю. Л. Бобарикин [и др.] // *Черные металлы*. – 2012. – № 10. – С. 25–29.
6. Битков, В. В. Технология и машины для производства проволоки / В. В. Битков ; УрО РАН. – Екатеринбург, 2004. – 346 с.
7. Инструмент для волочения проволоки : пат. на полезную модель 7793 Респ. Беларусь, МПК В 21 С 3/00 / Верещагин М. Н., Бобарикин Ю. Л., Прач С. И., Авсейков С. В. ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – № и 20110337 ; заявл. 28.04.11.
8. Исследование влияния применения сдвоенной чистовой волоки на пластические свойства стальной высокоуглеродистой проволоки / В. А. Евдонич [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2019. – № 3. – С. 112–117.

УДК 004.942+616.74

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АРТЕРИИ ПРИ РАСКРЫТИИ СТЕНТА

А. И. Столяров, П. С. Клячкова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Республика Беларусь»

Выполнен расчет напряжений и деформаций в артерии и бляшке при раскрытии стента.

Ключевые слова: стент, артерия, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов.

NUMERICAL SIMULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE ARTERY DURING STENT OPENING

A. I. Stolyarov, P. S. Klyachkova

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

In this work, the stresses and deformations in the artery and plaque were calculated when the stent was opened.

Keywords: stent, artery, stress-strain state, finite element method.

Одной из методик, применяемой в эндоваскулярной хирургии для расширения просвета коронарных артерий при их атеросклеротическом стенозе или окклюзии, является стентирование сосудов сердца, которое заключается в установке внутри коронарных артерий специального каркаса – стента, представляющего собой цилиндрическую сетчатую конструкцию [1]. Стент оказывает механическое давление на сосудистую стенку, поддерживает ее, тем самым восстанавливая внутренний диаметр сосуда. Раскрытие стента влияет на распределение напряжений внутри бляшки и артерии, а также на местную гемодинамику. В результате нормализуется коронарный кровоток и обеспечивается полноценная трофика миокарда.

Цель данного исследования – расчет напряжений и деформаций в артерии и бляшке при раскрытии стента. Численное моделирование проводили при помощи метода конечных элементов. На рис. 1 показана физическая модель системы «артерия – бляшка – стент».

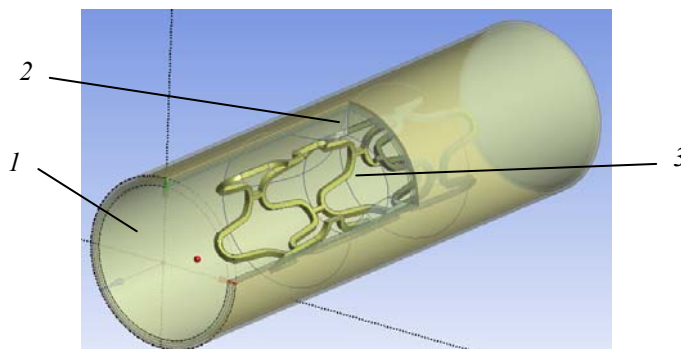


Рис. 1. Физическая модель системы «артерия – бляшка – стент»:
1 – артерия; 2 – бляшка; 3 – стент

Модель артерии структурно разделили на три слоя: интима, медиа и адвенция (внутренний, средний и внешний слой кровеносного сосуда соответственно). Геометрический профиль бляшки является одним из наиболее распространенных.

Предполагали, что артерия и бляшка изотропны и гиперупруги. Для описания механического поведения артерии и бляшки выбрали модели Ogden и Mooney-Rivlin соответственно. В таблице приведены параметры модели Ogden для материала слоев артерии [2]. Параметры модели Mooney-Rivlin для бляшки: $C_{10} = 0,07508$; $C_{01} = 0,1090$; $C_{20} = 1,2935$; $C_{11} = -2,542$; $C_{02} = 2,4119$.

Параметры модели Ogden для материала слоев артерии

Слой артерии	μ_1 , МПа	μ_2 , МПа	μ_3 , МПа	α_1	α_2	α_3
Интима	-7,04	4,23	2,85	24,48	25,00	-7,04
Медия	-1,23	0,88	0,45	16,58	16,65	-1,23
Адвенция	-1,28	0,85	0,44	24,63	25,00	-1,28

Материал стента – сталь 12X18Н10. Физико-механические свойства стали 12X18Н10: модуль упругости $E = 1,98 \cdot 10^5$ МПа; плотность $\rho = 7920$ кг/м³; предел прочности $\sigma_b = 550$ – 650 МПа; условный предел текучести $\sigma_{0,2} = 225$ – 315 МПа [3].

В результате расчета были получены значения напряжений и деформаций. На рис. 2 показано деформированное состояние артерии и бляшки при раскрытии стента, на рис. 3 представлено распределение эквивалентных напряжений по Мизесу в стенте, в артерии и бляшке.

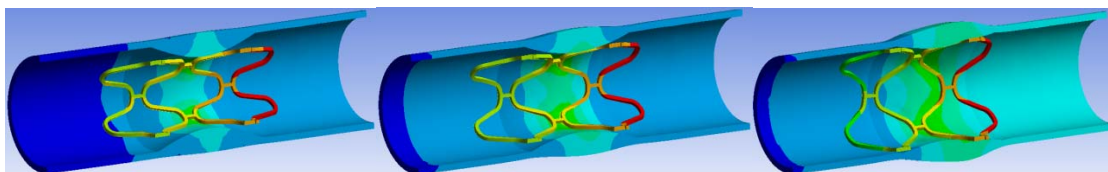


Рис. 2. Деформированное состояние артерии и бляшки на этапах раскрытия стента

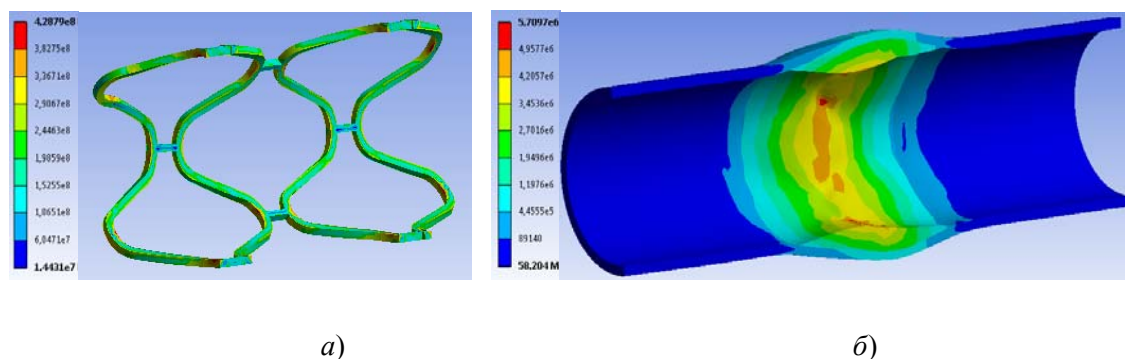


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений, Па, по Мизесу в стенте (а); в артерии и бляшке (б)

Из рис. 2 видно, что происходит проскальзывание стента относительно бляшки. Наибольшее значение напряжений локализовано в зоне контакта стента и бляшки и составляет 5,7 МПа. Напряжение в стенке артерии – 1,1 МПа. Значение максимальных эквивалентных напряжений в стенке при раскрытии не превышает 430 МПа, что значительно меньше предела прочности материала, из которого он изготовлен.

Результаты численного моделирования взаимодействия артерии и бляшки со стентом показали, что уровень напряжений, возникающих в артерии, не превышает предела ее прочности и соответственно не приведет к ее травмированию.

Литература

1. Медицинская технология. Стентирование коронарных артерий / А. Г. Осиев [и др.]. – Новосибирск : НГУ, 2008.
2. Structural and Hemodynamic Analyses of Different Stent Structures in Curved and Stenotic Coronary Artery / L. Wei [et al.] // Front. Bioeng. Biotechnol. – N 7, iss. 366. DOI: 10.3389/fbioe.2019.00366
3. Марочник сталей и сплавов / Ю. Г. Драгунов [и др.] ; под общ. ред. Ю. Г. Драгунова и А. С. Зубченко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М., 2014. – 1216 с.

УДК 532.529

ПОЛУЧЕНИЕ НЕФТЕКИСЛОТНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН ПОСРЕДСТВОМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ

А. М. Селютин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Республика Беларусь»

Рассмотрен смеситель для получения нефтекислотной эмульсии, работающий на использовании принципа кавитации. Приведены результаты опытно-промышленных испытаний. Показана эффективность данного устройства.

Ключевые слова: кавитационный эффект, смешение жидкостей, нефтекислотная эмульсия.

OBTAINING PETROLEUM ACID MIXTURES TO INCREASE THE PRODUCTIVITY OF OIL WELLS THROUGH HYDRODYNAMIC CAVITATION

A. M. Seliyutin

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

A mixer is considered for obtaining an petrol-acid emulsion, operating on the principle of cavitation. The results of field trials are given. The effectiveness of this device is shown.

Keywords: cavitation effect, liquid mixing, petrol-acid emulsion.

Известны многочисленные устройства кавитационного типа для эмульгирования, смешения и гомогенизации жидкостей с разной плотностью. На разделе твердой и жидкой сред в камере смешения в результате резкого падения скорости жидкостного потока при изменении параметров истечения происходит образование парожидкостного потока, а затем его превращение в поток капельной жидкости, но уже со значительной степенью взаимопроникновения компонентов смеси. Наиболее интенсивно процесс образования кавитационных пузырьков наблюдается на острых

кромках деталей камеры смешения. Интенсификации процесса способствуют столкновение струй смешиваемых жидкостей, закручивание смешанного потока и резкое изменение его скорости при истечении из камеры смешения через насадки различной формы.

При обработке карбонатных коллекторов продуктивных нефтяных горизонтов широко используют направленные кислотные обработки (НКО) с использованием нефтекислотных эмульсий (НКЭ) [1]. В процессе нефтекислотной обработки поочередно порциями в пласт закачиваются НКЭ и водные растворы кислот. В эмульсиях, как правило, дисперсионной средой является нефть, а дисперсионную фазу составляет водный раствор кислоты. Вследствие низкой проницаемости вязкой НКЭ ее проникновение в пласт происходит преимущественно в трещиноватые интервалы, которые она временно закупоривает. В блокируемом объеме НКЭ постепенно разрушается, высвобождая кислоту, которая вступает в реакции с породой призабойной зоны пласта. В результате НКО позволяет воздействовать кислотной обработкой на значительные участки коллектора как по глубине, так и по высоте [2].

Технологически оправдано изготовление высокодисперсных устойчивых НКЭ до закачки в пласт в режиме непрерывного потока непосредственно в промысловых условиях. В результате реализация технологических операций при расколматации и промывке скважины существенно упрощается. В течение нескольких лет совместно с институтом БелНИПИнефть проводились исследования и разработка устройств для получения НКЭ на устье скважины. Сконструирован смеситель, работа которого основана на использовании кавитационного эффекта, и не имеющий вращающихся частей, наиболее подверженных воздействию высоко агрессивных кислотных компонентов.

На рис. 1 показано принципиальное устройство смесителя, имеющего несколько ступеней воздействия на смешиваемые жидкости. В зависимости от требуемых свойств получаемой НКЭ по дисперсности и устойчивости отдельные ступени могут отключаться путем извлечения соответствующих деталей из смесителя.

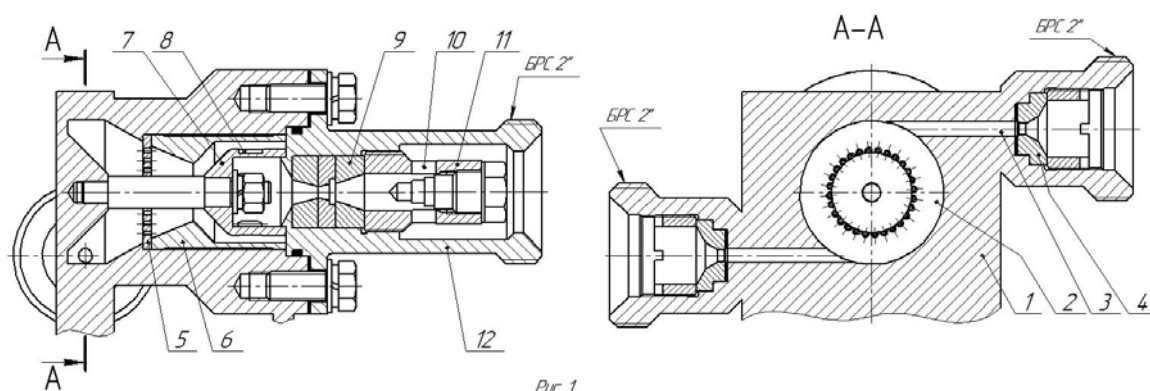


Рис. 1. Принципиальное устройство смесителя:

- 1 – корпус; 2 – камера смешения; 3 – канал; 4, 6, 7, 9, 11 – насадки;
5 – перегородка; 8 – тангенциальная перфорация;
10 – радиальная перфорация; 12 – патрубок

В корпусе 1 выполнена смесительная камера 2, в которую по каналам 3 тангенциально поступают потоки кислотного раствора и нефтяной эмульсии от насосных агрегатов. Предварительно потокам придается увеличение скорости истечения благо-

даря применению насадок 4. В перегородке 5 поток разделяется на отдельные струи, а затем, проходя систему переменных кольцевых сечений и постоянно увеличивая скорость, через систему тангенциальных перфораций 8 в насадке 7 попадает в центральный канал. В системе кольцевых сменных насадок 9 в зависимости от формы сопел, наличия острых кромок при скорости 170–210 м/с процесс кавитации становится наиболее активным. Истечение из смесителя происходит через кольцевой канал после прохождения потоком радиально расположенных отверстий 10 в детали 11 при скорости 150–180 м/с. Присоединение нагнетательной магистрали осуществляется к выходному патрубку 12. Поток смешанной жидкости объединяется с потоком продавочной жидкости и подается в скважину. Гидравлическое сопротивление устройства в зависимости от производительности насосов (2–3 л/с) составляет 5–7 МПа.

В рассматриваемом смесителе применены четыре ступени диспергаторов. Как следует из рис. 1, для получения нужного качества дисперсности и стойкости эмульсии до полного разделения можно отключать отдельные ступени путем извлечения соответствующих деталей или изменения условий истечения через различные насадки.

Для получения тонкодисперсных сред необходимо наличие колебаний давления при низкой частоте воздействия, постоянные переходы от сплошной к струйной структуре потока, образование пленочных струй, распадающихся, в свою очередь, на капли. Эти процессы воспроизведены в данном устройстве.

При оптимизации конструкции смесителя и обоснования математической модели гидродинамического течения и смешения разнокомпонентной водонефтяной и нефтекислотной жидкостей, а также определения рациональных режимов работы насосных станций использовалось как математическое моделирование, учитывающее кавитационный массоперенос, так и аналитическое обоснование ряда параметров, влияющих на существование собственно процесса кавитации.

Результаты опытно-промысловых испытаний смесителя на Южно-Сосновском месторождении опубликованы [3]. В работе показана эффективность интенсифицирующих направленных кислотных обработок карбонатных пластов с целью восстановления фильтрационных характеристик призабойной зоны продуктивного пласта, а также доказано на основании сравнительного анализа, что смеситель позволяет добиться высокой эффективности смешения, превосходящей по дисперсности и стойкости пробы, изготовленные лабораторным способом по общепринятым методикам.

В лабораторных условиях были изготовлены пробы, соответствующие рецептуре, рекомендованной для скважины 151 Южно-Сосновского месторождения и полученные с помощью лопастной мешалки. Непосредственно на устье скважины отбирались пробы НКЭ при скорости подачи реагентов на смеситель 2 и 3 л/с. Скорость подачи реагентов ограничивалась возможностями насосных агрегатов ЦА-320, примененных в ветвях подачи как кислотного раствора, так и нефти с эмульгатором. Так, НКЭ, приготовленная смесителем при обоих скоростях закачки, при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ показала полную стабильность в течение 24 ч. Размер дисперсной фазы составил соответственно 30 и 10 мкм. При $t = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ в контакте с породой НКЭ полностью разделилась через 50 ч. Для сравнения, лабораторная проба с размерами дисперсной фазы 40 мкм при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ была стабильна в течение 24 ч, а при $t = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ в контакте с породой полностью разделилась через 24 ч. Также исследовались свойства НКЭ при различных диаметрах струйных форсунок данного смесителя. Так, в отобранных пробах при диаметре сопел 4 мм и скорости подачи реагентов на смеситель 2 и 3 л/с изменения таких характеристик, как условная вязкость, плот-

ность, электростабильность за 24 ч практически не наблюдались. Снятые амплитудно-частотные характеристики давления на выходе показали наличие колебательного процесса со статистической характеристикой изменения давления 0,6 МПа при частоте 1 Гц и соответственно 0,3–0,35 МПа – при 2–6 Гц.

На скважинах РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» были выполнены обработки ряда скважин. При среднем дебите 5 т/сутки увеличение дебита составило в среднем 4 т/сутки при длительности эффекта более 190 суток.

По результатам промысловых и лабораторных испытаний можно сделать ряд выводов:

– НКЭ, изготовленные с помощью гидродинамического кавитационного смесителя, превосходят по технико-эксплуатационным характеристикам эмульсии, приготовленные смесителями, работающими на основе механического смешения или использования только струйных форсунок;

– отсутствие механических подвижных частей, использование кислотостойких материалов позволяют в 3–5 раз увеличить срок эксплуатации изделия в условиях контакта деталей с агрессивными компонентами НКЭ. Кавитационные процессы проходят во внутренних объемах смесителя, но области их воздействия на детали относительно небольшие. Замена изношенных деталей не представляет затруднений.

Литература

1. Токунов, В. И. Технологические жидкости и составы для повышения продуктивности нефтяных и газовых скважин / В. И. Токунов, А. З. Саушин. – М. : Недра, 2004. – 712 с.
2. Эффективность технологии воздействия на нефтяной пласт / Н. А. Демяненко [и др.] // Нефтяное хоз-во. – 2004. – № 11. – С. 38–40.
3. Гидродинамический кавитационный смеситель для получения нефтекислотных эмульсий и практика его использования на нефтяных месторождениях Республики Беларусь / Д. В. Ткачев [и др.] // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2016. – № 2. – С. 36–40.

СЕКЦИЯ 8. ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИКИ, ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

УДК 65.012.23

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Г. Е. Брикач

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Описана методика создания имитационной прогнозной модели и использование ее в антимонопольном регулировании экономической деятельности железной дороги.

Ключевые слова: имитация, прогноз, экономическое состояние, монополизм, железная дорога.

THE USE OF SIMULATION MODELING IN THE TASKS OF FORECASTING THE ECONOMIC CONDITION OF ENTERPRISES

G. E. Brikach

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The article describes the method of creating a simulation predictive model and its use in the antimonopoly regulation of the economic activity of the railway.

Keywords: simulation, forecast, economic condition, monopolism, railway.

В настоящее время для решения экономических задач в основном используются эмпирические подходы исследования, проводимые по следующей схеме: эксперимент (получение и накопление исходных данных), расчеты и теоретический анализ. Но известно, что в таких науках, как например, физика или химия, схема научного эксперимента в основном имеет другую последовательность: сначала теоретическая идея, потом модель, расчеты и потом эксперимент. Эмпирический метод исследования в экономике создал большое количество различных методов прогнозирования, которые в основном явно включают время. Однако известно, что такие основополагающие законы рыночной экономики, как например, ценообразование в условиях совершенной конкуренции, в своей основе явно не имеют временных показателей.

Сейчас в экономических исследованиях активно используется имитация в широком диапазоне задач. Имитационное моделирование (simulation) является одним из мощнейших методов анализа экономических систем, в том числе и в задачах прогнозирования.

В общем случае под имитацией понимают процесс проведения на ПЭВМ экспериментов с математическими моделями сложных систем реального мира.

Цели проведения подобных экспериментов могут быть самыми различными – от выявления свойств и закономерностей исследуемой системы до решения конкретных практических задач. С развитием средств вычислительной техники и программного обеспечения спектр применения имитации в сфере экономики существенно расширился. В настоящее время ее используют как для решения задач внутрифирменного управления, так и для моделирования управления на макроэкономическом уровне.

В данной работе будет показано, как можно, используя временные эмпирические отчетные данные типа «затраты–выпуск», преобразовать их с помощью трендового анализа таким образом, чтобы получить автономную имитационную прогнозную модель, базирующуюся на критерии совершенной конкуренции $ATC = MC = MR$. В работе также будет показана возможность поиска прогнозных управленческих решений с помощью такой имитационной модели. Прогнозная модель была построена на основе отчетных данных типа «затраты–выпуск» по объемам пассажирских перевозок в период с 2015 по 2019 г. Горьковского отделения Российской железной дороги (далее – ГО РЖД) (табл. 1). Вычислительные процедуры методики по созданию имитационной модели прогнозирования реализованы с помощью процедуры «Трендовый анализ» с его графическими возможностями в программной оболочке Excel.

Таблица 1

Ретроспективные данные динамики объемов перевозок, выручки и затрат Горьковского отделения Российской железной дороги

Показатели	Единица измерения	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Грузооборот	Млрд пас. км	138,3	138,1	133,1	132,1	130,0
Затраты	Млрд руб.	28,5	30,2	30,56	32	33,0
Выручка	Млрд руб.	33,3	41,6	53,0	72,2	72,2
Цена продаж	Руб./км	0,24	0,30	0,40	0,55	0,56

В табл. 2 приведены значения возможных объемов пассажирских перевозок с соответствующими им уровнями затрат, продаж и прибыли на ГО РЖД, которые были получены с помощью уравнений корреляции трендового анализа. По данным такой таблицы можно осуществлять прогнозирование возможных объемов пассажирских перевозок как в сторону их повышения, так и снижения объемов производства.

Таблица 2

Выходные данные имитационной прогнозной модели

Грузооборот пассажирских перевозок, млрд пас. км	ATC себестоимость, руб./км	MC предельные затраты, руб./км	Общие затраты, млрд руб.	Выручка, млрд руб.	Убыток/прибыль, млрд руб.	Постоянные затраты, млрд руб.
120,0	0,25	0,24	30,6	36,0	5,4	12,0
122,0	0,25	0,24	31,1	36,6	5,5	12,0
124,0	0,25	0,24	31,5	37,2	5,7	12,0

Окончание табл. 2

Грузооборот пассажирских перевозок, млрд пас. км	АТС себестоимость, руб./км	МС предельные затраты, руб./км	Общие затраты, млрд руб.	Выручка, млрд руб.	Убыток/прибыль, млрд руб.	Постоянные затраты, млрд руб.
126,0	0,25	0,24	32,0	37,8	5,8	12,0
128,0	0,25	0,25	32,5	38,4	5,9	12,0
130,0	0,25	0,25	33,0	39,0	6,0	12,0
132,0	0,25	0,25	33,5	39,6	6,1	12,0
Оптимальный объем пассажирских перевозок на Российской железной дороге, так как АТС = МС = 0,25 руб./км						
134,0	0,25	0,25	34,0	40,2	6,2	12,0
136,0	0,25	0,26	34,5	40,8	6,3	12,0
138,0	0,25	0,26	35,0	41,4	6,4	12,0
143,0	0,25	0,27	36,3	42,9	6,6	12,0
148,0	0,25	0,28	37,7	44,4	6,7	12,0
153,0	0,26	0,28	39,1	45,9	6,8	12,0
158,0	0,26	0,29	40,5	47,4	6,9	12,0
163,0	0,26	0,29	41,9	48,9	7,0	12,0
168,0	0,26	0,30	43,4	50,4	7,0	12,0
173,0	0,26	0,31	44,9	51,9	7,0	12,0
178,0	0,26	0,31	46,4	53,4	7,0	12,0

На основании данных табл. 2 в программной оболочке Excel с помощью процедуры «Трендовый анализ» были построены графические зависимости корреляционных уравнений связи между объемами производства (X-фактор – объемы перевозок), затратами (Y1-фактор – ТС), выручкой (Y2-фактор) и прибылью (Y3-фактор) (рис. 1).

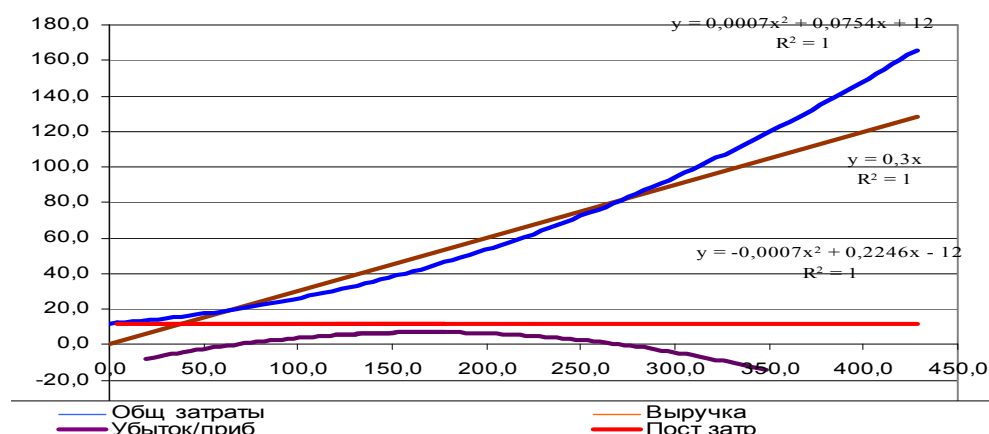


Рис. 1. Графические зависимости, построенные с помощью трендового анализа, между объемами производства (X-фактор), затратами (Y1-фактор), выручкой (Y2-фактор) и прибылью (Y3-фактор)

Приведенные данные в табл. 2 в дальнейшем считались как выходные данные имитационной модели прогнозирования, которая может отражать как характер оптимистического (повышение объемов перевозок), так пессимистического (снижение объемов перевозок) прогноза. Зависимость характера прогноза определяется содержанием менеджмента ГО РЖД и его положением на рынке, продаж своих услуг в будущем. Большая оптимистичность или пессимистичность прогноза на уровне модели задается величиной коэффициентов корреляционных уравнений и перемещением равновесной точки $ATC = MC = MR$ на рис. 2.

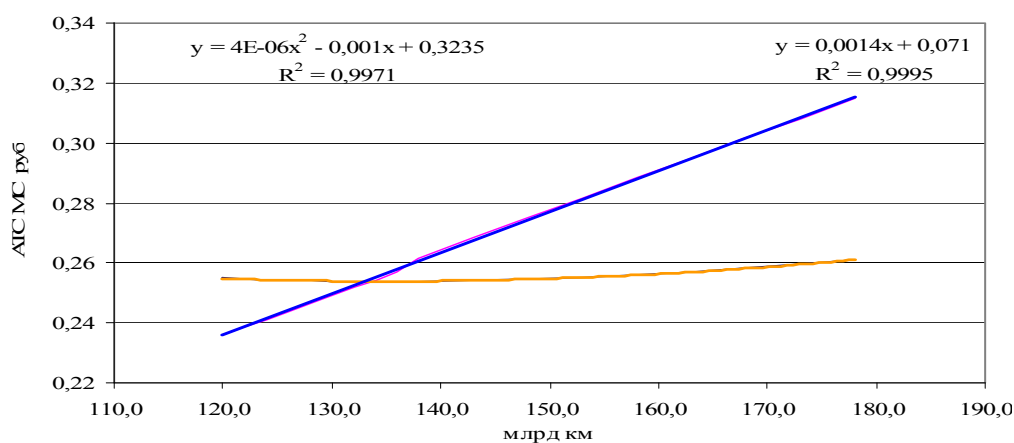


Рис. 2. Графическое представление критерия $ATC = MC = MR$ для Горьковского отделения Российской железной дороги

При поиске конкретных числовых значений коэффициентов корреляционных уравнений связи использовались как линейная, так и параболическая аппроксимации. Причем использование параболической аппроксимации позволило учесть закон убывающей отдачи. Условие совершенной конкуренции определялось путем поиска значения равновесной точки (пересечение графиков предельных и средних затрат, т. е. $MC = ATC = MR$ – предельный доход). Можно также определять равновесную точку по равенству уравнений предельных и средних затрат, которые определялись с помощью следующих уравнений трендового анализа:

$$4E - 06X^2 - 0,001X + 0,32 = 0,0014X + 0,071.$$

Как видно из рис. 1, по полученным графическим зависимостям и соответствующим им уравнениям связи можно путем вычислений найти конкретные прогнозные значения затрат и выручки как при возрастающих, так и убывающих объемах производства. То есть решать задачу прогнозирования в автономном режиме (время в этом случае представлено в виде неявной переменной). Как известно, с точки зрения математики такие подходы считаются наиболее точными, корректными и адекватными методами поиска решений.

На основании данных имитационной прогнозной модели можно сделать вывод, что ГО РЖД может удержать свои позиции на рынке при предельном объеме производства, равном 134 млрд км пассажирских перевозок в год, и предельном уровне затрат 0,25 руб. за 1 км. Сопоставляя эти данные с данными исходной табл. 1, например, на уровне 2019 года, можно сделать следующий вывод. ГО РЖД осуществ-

ляет объем перевозок ниже предельных на 4 млрд км (130 против 134), а цены завышаются относительно предельных затрат более чем в два раза (0,56 против 0,25). То есть налицо ценовая политика типичного монополиста. В настоящее время планируется дальнейшее повышение цен на железнодорожные услуги на 14 %. Это говорит о том, что в стране в настоящее время отсутствует экономически обоснованная антимонопольная политика по отношению к РЖД. Применение такого подхода позволило бы создать обоснованную антимонопольную политику на железной дороге страны, которая по своей экономической сути является естественным монополистом.

В заключение следует отметить, что данный подход по прогнозированию универсален и не зависит от производственного характера исследуемого объекта. Апробирование и использование этого подхода было осуществлено на примерах по решению задач прогнозирования экономического состояния предприятий АПК Беларуси, строительных и промышленных предприятий [1–4]. Для его применения необходима такая исходная информация в формате «затраты–выпуск», которая приведена в табл. 1, которую по сути и содержанию можно найти в отчетных формах любого предприятия, которое занимается производством и продажей товаров и услуг на рынке страны.

Литература

1. Brikach, G. New Model of Forecasting Commodity Prices for Farmers / G. Brikach, A. Novotorov, J. Greathouse // Insights to a Changing World Journal. – 2008.
2. Novotorov, A. V. Forecasting Profit: Optimization of Production Cost at Fort Hays State University / A. V. Novotorov, G. E. Brikach // My Net Research-Empowering Collaboration. – 2009.
3. Оценка эффективности производства и продажи молока в России, США и Великобритании в условиях конкуренции / Г. Е. Брикач [и др.] // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2008. – № 9. – С. 27–30.
4. Новоторов, А. В. Комплексный анализ рыночной деятельности предприятий с использованием имитационной модели совершенной конкуренции / А. В. Новоторов, Г. Е. Брикач // Экон. анализ: теория и практика. – 2012. – № 26. – С. 2–6.

УДК 630.907.9

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТУРИСТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛЕСНОГО ФОНДА ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА

И. В. Ермонина

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Приведены основные методические подходы для комплексной оценки природных объектов и объектов историко-культурного наследия в лесном фонде с использованием метода балльной оценки по каждому из двенадцати критериев и нормативного метода при эколого-экономической оценке природных объектов с целью развития экологического туризма в лесном хозяйстве за счет подбора наиболее интересных и ценных объектов для туристического показа.

Ключевые слова: экологический туризм, лесной фонд, туристический потенциал, природные объекты, объекты историко-культурного наследия, оценка, методические подходы.

**METHODOLOGICAL APPROACHES FOR CARRYING OUT
A SOCIO-ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT
OF THE TOURIST POTENTIAL OF THE FOREST FUND
FOR THE DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL TOURISM**

I. V. Ermonina

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The main methodological approaches for a comprehensive assessment of natural objects and objects of historical and cultural heritage in the forest fund are given using the scoring method for each of the twelve criteria and the normative method in the environmental and economic assessment of natural objects in order to develop ecological tourism in forestry for selection of the most interesting and valuable objects for tourist display.

Keywords: ecological tourism, forest fund, tourism potential, natural objects, objects of historical and cultural heritage, assessment, methodological approaches.

Цель исследования – разработка методических подходов для проведения комплексной социально-эколого-экономической оценки туристического потенциала лесного фонда для развития экологического туризма.

Для проведения социально-эколого-экономической оценки природных объектов и объектов историко-культурного наследия в лесном фонде выбраны критерии, показатели и разработана схема проведения оценки туристического потенциала лесного фонда учреждений лесного хозяйства для развития экологического туризма.

Социально-эколого-экономическая оценка объектов природного и историко-культурного наследия в лесном фонде осуществляется в следующей последовательности: оценка по качественному значению (по группам); оценка содержания (одноплановые, многоплановые); оценка функционального значения (основные и дополнительные); оценка познавательной ценности (достоинства); оценка известности (популярности среди населения); оценка специфичности (экологическая, экономическая и научная ценность); оценка выразительности (взаимодействие с окружающими объектами); оценка сохранности (состояния); оценка надежности (устойчивости к антропогенным нагрузкам); оценка местонахождения (удобство доступа туристов); оценка временного ограничения показа (сезон, месяц, день, сутки); оценка направленности на тип экскурсантов (местные, выездные группы).

В основу оценки объектов природного и историко-культурного наследия в лесном фонде положен метод балльной оценки. По каждому из 12 критериев оценки (качественное значение, содержание, функциональное назначение, познавательная ценность, известность; специфичность, необычность; выразительность, сохранность, надежность, местонахождение, временное ограничение показа, направленность на тип экскурсантов) устанавливаются оценочные баллы по показателям на основе шкал. При этом низшая оценка объекта экотуризма по критерию – 1 балл, высшая – 5 баллов.

Предлагаемый метод балльной оценки позволяет оценить объекты природного и историко-культурного наследия путем расчета их общего балла (P_0) по формуле:

$$P_0 = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_{12}, \quad (1)$$

где $P_1, P_2, P_3, \dots, P_{12}$ – оценки в баллах по 12 критериям оценки объекта.

Для определения показателя специфичности природного объекта (крупные природные территориальные комплексы (природные комплексы с редкими типами леса),

а также лесные объекты и объекты лесохозяйственной деятельности (высоковозрастные, высокопродуктивные, редкие по ценовическому и видовому составу лесные насаждения) используются нормативы эколого-экономической стоимости лесных ресурсов, которые разрабатываются на основе нормативов комплексной продуктивности земель лесного фонда, предложенных коллективом белорусских ученых [1].

При определении эколого-экономической стоимости недревесных ресурсов (ягод, грибов, плодов, лекарственных растений) на 1 га таксы эти ресурсы рассчитываются на основании их закупочных цен в пересчете в долларовый эквивалент и нормативного метода по следующей формуле:

$$H_i = \frac{C_i p}{(1 + p)^t}, \quad (2)$$

где H_i – такса недревесного ресурса i , долл. США/кг; C_i – закупочная цена недревесного ресурса i , долл. США/кг; p – рентный коэффициент (норма прибыли в цене единицы продукта) ($p = 0,25$).

Эколого-экономическая оценка объектов природного наследия в лесном фонде, основанная на использовании нормативов эколого-экономической стоимости лесных ресурсов, осуществляется по следующей формуле:

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m N_{ij} S_{ij}, \quad (3)$$

где i – преобладающая древесная порода; n – количество древесных пород; j – серия типов леса; m – количество серий типов леса; N_{ij} – норматив эколого-экономической стоимости лесных ресурсов по древесной породе i серии типов леса j на 1 га, долл. США; S_{ij} – площадь насаждения древесной породы i серии типов леса j , га.

Норматив эколого-экономической стоимости лесных ресурсов по i древесной породе j серии типов леса на 1 га в стоимостном выражении (N_{ij}) рассчитывается путем произведения среднего биологического запаса ресурса (древесного или недревесного) на 1 га (из норматива комплексной продуктивности по древесной породе i серии типов леса j) на средневзвешенную расчетную таксу кубометра древесины по древесной породе i (для определения стоимости древесного запаса) или на расчетную таксу по недревесному ресурсу i (для определения стоимости недревесных ресурсов леса):

$$N_{ij} = Cr_{ij} Tr_i, \quad (4)$$

где Cr_{ij} – средний биологический запас древесного или недревесного ресурса на 1 га по древесной породе i серии типов леса j , м³, кг; Tr_i – средневзвешенная расчетная такса кубометра древесины по древесной породе i или расчетная такса по недревесному ресурсу i .

Средневзвешенная расчетная такса кубометра древесины по древесной породе i рассчитывается по следующей формуле:

$$Tr_i = \frac{\sum_{i=1}^n T_i S_i}{P}, \quad (5)$$

где i – древесная порода преобладающего бонитета и разряда такс ($i=1$ – сосна (II бонитет, 2 разряд такс); $i=2$ – ель (II бонитет, 2 разряд такс), $i=3$ – дуб (II бонитет, 2 разряд такс), $i=4$ – береза (II бонитет, 2 разряд такс), $i=5$ – осина (I бонитет, 2 разряд такс); $i=6$ – ольха серая (I бонитет, 2 разряд такс); $i=7$ – ольха черная (II бонитет, 2 разряд такс)); n – количество древесных пород ($n=7$); T_i – средневозрастная такса кубометра древесины древесной породы i , с учетом товарности древостоя (деловая древесина по классам крупности, дровяная древесина), долл. США; S_i – площадь древесной породы i , га; P – суммарная площадь древесных пород n , га.

Средневозрастная такса кубометра древесины древесной породы i с учетом товарности древостоя (T_i) определяется по динамике товарности древостоев сосны, ели, дуба, березы, осины и ольхи черной в зависимости от бонитета и возраста древостоя, такс на древесину основных лесных пород, отпускаемую на корню и официального курса доллара США, установленного Национальным банком Республики Беларусь на дату введения такс в действие.

С помощью нормативов эколого-экономической стоимости лесных ресурсов, в основу которых положены натуральные показатели комплексной продуктивности земель лесного фонда и таксы на лесные ресурсы, оцениваются стоимости биологического и эксплуатационного запасов ресурсов (древесных, недревесных и средозащитных) покрытых лесом земель с учетом основной лесообразующей породы, типов леса, которые могут использоваться для оценки участков леса с объектами экотуризма.

Использование вышеуказанных методических подходов для проведения социально-эколого-экономической оценки туристического потенциала лесного фонда для развития экологического туризма позволит сравнивать туристические объекты между собой по экологической, экономической, научной, историко-культурной и экскурсионной ценности [2].

Литература

1. Комплексная продуктивность земель лесного фонда : монография / В. Ф. Багинский [и др.] ; Мин-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины, Ин-т леса НАН Беларуси ; под общ. ред. В. Ф. Багинского. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2007. – 295 с.
2. Ерманина, И. В. Развитие экологического туризма в лесном хозяйстве: проблемы и перспективы / И. В. Ерманина // Проблемы устойчивого развития регионов Республики Беларусь и сопредельных стран : материалы II Международ. науч.-практ. конф., Могилев, 27–29 марта 2012 г. : в 2 ч. – Могилев, 2012. – Ч. 2. – С. 23–26.

УДК 332.122

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА В РЕГИОНЕ

А. О. Шкабарина

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Обоснована необходимость использования транспортно-логистического кластера для создания благоприятных условий развития региональной экономики. Исследованы задачи и этапы формирования транспортно-логистических кластеров, рассмотрена типовая структура, а также принципы.

Ключевые слова: логистика, транспорт, экономика региона, кластер, конкурентные преимущества.

FEATURES OF THE FORMATION OF A TRANSPORT AND LOGISTICS CLUSTER IN THE REGION**A. O. Shkabarina***Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

The article substantiates the need to use the transport and logistics cluster to create favorable conditions for the development of the regional economy. The tasks and stages of the formation of transport and logistics clusters are studied, a typical structure is considered, as well as principles.

Keywords: logistics, transport, regional economy, cluster, competitive advantages.

На современном этапе экономика региона нуждается в применении инновационных подходов, форм и способов, эффективных с позиции маркетинг-менеджмента. Транспортно-логистический комплекс региона является одной из отраслей использования транзитных возможностей, развитие которой может стать предпосылкой экономического роста и повышения конкурентоспособности региона. Маркетинговое управление транспортно-логистическим комплексом предусматривает целенаправленную координацию всех участников рынка транспортных услуг, направленную на повышение конкурентоспособности белорусских перевозчиков, модернизацию транспортной системы, консолидацию усилий государства, бизнеса, науки, образования в приоритетных областях экономической деятельности. Наиболее перспективной инновационной формой координации материальных потоков является транспортно-логистический кластер. Как показывает международная практика, реализация кластерной модели организации логистической деятельности будет способствовать сокращению общих логистических затрат на 12–35 % в результате снижения транспортных расходов на 7–20 % и затрат на погрузочно-разгрузочные работы на 20–30 %, а также ускорения продвижения материальных ресурсов на 20–40 %. В связи с этим, целью исследования является анализ механизма формирования транспортно-логистических кластеров в регионе, которые позволят создать благоприятные условия для роста объемов и качества предоставляемых транспортно-логистических услуг и сформировать качественно новую модель региональной экономики.

Исследование сущности и теоретических аспектов формирования экономических кластеров проводилось прежде всего такими зарубежными авторами, как Е. Дахменом, Е. Лимером, М. Портером, Я. Суоминен, М. Тодаро, И. Толенадо, М. Фельдманом, П. Фишером. Основателем кластерного подхода является М. Портер, который указывал, что «конкурентоспособные национальные отрасли не распределены равномерно по всей экономике, а связаны в то, что можно назвать «кластерами» (пучками), которые состоят из отраслей, зависимых друг от друга» [2, с. 175]. Анализ определений кластеров, предоставленных разными авторами в своих научных трудах, позволяет утверждать, что главным признаком кластеров является географическая близость организаций, их технологическая взаимозависимость или взаимодополняемость, а также тесное сотрудничество с органами регионального управления и научными учреждениями. В числе главных причин особого интереса к кластерам выделены следующие: 1) интегрированные свойства кластеров; 2) поиск оптимальных решений в территориально-производственном аспекте; 3) необходимость резкого усиления инновационной компоненты экономики; 4) надежды на повышение конкурентоспособности национальной экономики; 5) тенденции группировки и консолидации капиталов, которые могут привести к активизации процессов интеграции организаций [1, с. 49].

Таким образом, можно сформулировать следующее определение транспортно-логистического кластера: это юридически оформленный союз географически близ-

ких, взаимодействующих, взаимодополняющих транспортно-логистических организаций и сопряженных с ними сервисных организаций в пределах общей цепи создания стоимости, в плотную взаимодействующих с научными, образовательными, исследовательскими учреждениями и органами власти для обеспечения высококачественных транспортных услуг.

На региональном уровне транспортно-логистический кластер определяется как группа географически локализованных взаимосвязанных компаний, специализирующихся на хранении, сопровождении и доставке грузов и пассажиров, а также организаций, обслуживающих объекты инфраструктуры и других организаций, взаимодополняющих и усиливающих сильные стороны друг друга и реализующих конкурентные преимущества этой территории [1, с. 49].

Структуру транспортно-логистического кластера формируют:

- транспортная подсистема, состоящая из перевозчиков и транспортной инфраструктуры;
- организации-посредники транспортно-логистической деятельности (транспортно-логистический центр, фирменные логистические центры организаций транспорта, экспедиторские фирмы, распределительные центры);
- складская подсистема, объединяющая все складские терминалы и организации, расположенные на территории региона;
- подсистема управления транспортно-логистическими рисками; подсистемы страхования и охраны материального потока; подсистема научно-технического и кадрового обеспечения;
- подсистема информационного обеспечения, включающая организации услуг связи и передачи данных, технику и каналы связи, технику сбора, хранения и обработки информации;
- подсистема финансового обеспечения, т. е. банковская и инвестиционная инфраструктуры;
- подсистема нормативно-правового обеспечения наряду с юридическими лицами, включающая государственные и местные органы власти;
- подсистема таможенного оформления [1, с. 47].

Центральной частью кластера в большинстве случаев выступает несколько крупных организаций, составляющих «ядро», в то же время между ними остаются конкурентные отношения, на что, кстати, обращал внимание и М. Портер в одном из своих утверждений.

Основными задачами создания транспортно-логистического кластера являются:

- использование геоэкономического положения региона для развития транзитного потенциала;
- развитие возможностей транспортно-логистической системы для использования в продвижении продукции на рынки;
- снижение доли транспортных расходов во внутреннем валовом продукте;
- развитие контейнерных и мультимодальных перевозок;
- повышение валового дохода от транзитных перевозок;
- активизация взаимодействия научных и образовательных учреждений с ядром кластера;
- увеличение результативности транспортных коридоров, терминалов, дорожной инфраструктуры;
- формирование конкурентоспособных контейнерных и грузоперерабатывающих терминалов, мультимодальных логистических центров.

Формирование транспортно-логистического кластера осуществляется в несколько этапов:

- 1) определение цели создания, задач и масштабов деятельности транспортно-логистического кластера;
- 2) выбор региона (территории) для создания кластера, исходя из анализа его конкурентного потенциала в логистической сфере;
- 3) определение ядра кластера и количества участников, особенностей функционирования, формирование требований, отвечающих за его функционирование;
- 4) разработка стратегии управления транспортно-логистическим кластером;
- 5) оценка результативности функционирования кластера.

Работа транспортно-логистического кластера должна строиться на следующих принципах:

- предложение обширного перечня транспортных и сопровождающих услуг в зависимости от договорных отношений со всеми членами логистической цепи (создание банка данных логистических цепей);

- формирование сопряженного транспортного обслуживания на основании совместного договора и совместного заказа на все услуги, формирование задач для участников логистической цепи в соответствии с заказом потребителя транспортных услуг;

- централизованный контроль реализации заказа;

- высокая стандартизация и унификация транспортных документов, необходимых для осуществления транспортировки, используемых всеми членами логистических цепей для обеспечения необходимых условий формирования общей информационной области;

- общая маркетинговая стратегия и тактика членов логистической цепи на рынке транспортных услуг, коллективное изучение рынков и маркетинговых мероприятий, создающих необходимые условия для продвижения всех членов логистической цепи на рынке транспортных услуг, и формирование спроса на комплексные транспортные услуги;

- географическое распределение структурных подразделений кластера для того, чтобы максимизировать охват рынка транспортных услуг, осуществление мгновенного контроля за работой логистических цепей в местах образования грузопотоков и их пересечения;

- повышение рентабельности транспортных услуг из-за снижения доли неоправданного графика (при неполной загрузке).

Особенность современной экономики с повышенной ролью транспортно-инфраструктурной составляющей в обеспечении конкурентоспособности территорий приводит к необходимости использования кластерного подхода в развитии транспортно-логистического рынка. Внедрение этого подхода предполагает формирование транспортно-логистических кластеров из организаций, выполняющих различные функции, но объединенных одним технологическим процессом – доставкой товаров от производителей к потребителям. Кластерный подход основан на учете положительных синергетических эффектов региональной агломерации, сетевых принципах организации хозяйственного процесса и диффузии знаний и умений на основе тесного сотрудничества между субъектами транспортно-логистического кластера региона, что создает эффективные инструменты для активизации как отраслевого, так и регионального развития.

Литература

1. Меньшенина, И. Г. Кластерообразование в региональной экономике : монография / И. Г. Меньшенина, Л. М. Капустина. – Екатеринбург : Изд-во УГЭУ, 2008. – 154 с.
2. Портер, М. Э. Конкуренция / М. Э. Портер ; пер. с англ. – М. : Вильямс, 2000. – 495 с.

УДК 631.151.6

**ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
КОРРЕКЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
АГРОПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО ПОДКОМПЛЕКСА БЕЛАРУСИ**

Е. А. Кожевников

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Проведен анализ внешнеэкономических изменений в логистике агропродовольственного подкомплекса Беларуси и представлены предложения по совершенствованию этой деятельности.

Ключевые слова: Беларусь, сельское хозяйство, подкомплекс, логистика, коррекция.

**FOREIGN ECONOMIC ASPECTS OF CORRECTING
THE LOGISTICS OF THE AGRICULTURAL AND FOOD
SUBCOMPLEX OF BELARUS**

Y. A. Kazheunikau

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

We have carried out the analysis of foreign economic changes in the logistics of the agricultural and food subcomplex of Belarus and have developed proposals for improving this activity.

Keywords: Belarus, agriculture, subcomplex, logistics, correction.

Агропромышленный комплекс (АПК) Республики Беларусь в целом и его агропродовольственный подкомплекс, в частности, функционируют в текущий период в очень непростых макроэкономических условиях. Не успели полностью нивелироваться экономические проблемы, вызванные мировой коронавирусной пандемией, как возникли относительно новые риски, связанные с текущей внешнеэкономической ситуацией. По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, за первое полугодие 2022 г. валовой внутренний продукт страны снизился на 4,2 % (87,4 млрд руб.) или 95,8 % к уровню первого полугодия 2021 г. Однако при этом позитивным следует признать выход на положительное внешнеторговое сальдо в размере 1,5 млрд долл. США.

Данные, озвученные министром иностранных дел Республики Беларусь, свидетельствуют о снижении экспорта страны за пять месяцев 2022 г. на 4,4 % или на 650 млн долл. США. Однако это произошло не из-за агропродовольственной продукции, а за счет уменьшения поставок нефти, нефтепродуктов, калийных и азотных удобрений. По информации Национального статистического комитета Беларуси, наибольший экспорт товаров страны наблюдался в марте 2022 г. Среди основных импортеров нашей продукции были названы: Россия – 1266 млн долл. США, Польша – 208 млн долл. США, Литва – 117 млн долл. США, Китай – 109 млн долл. США, Германия – 64,2 млн долл. США, Казахстан – 62,8 млн долл. США.

Приведенные выше данные говорят о том, что во внешнеэкономическом векторе Беларуси в текущий момент происходят серьезные изменения, требующие глубокого научного анализа и корректировки практически всех видов хозяйственной деятельности отраслей, отраслевых комплексов и подкомплексов, субъектов хозяйствования. В числе всех видов деятельности особые изменения необходимы в логистике, представляющей собой комплексную систему по разработке и управлению материальными и информационными потоками в сфере производства и распределения.

Поскольку агропродовольственный подкомплекс АПК Республики Беларусь в сложившихся условиях внешней и внутренней среды оказывается менее уязвимым и более динамичным, представляется исключительно важным проанализировать внешнеэкономические аспекты логистической деятельности этого подкомплекса и уже происходящие здесь изменения.

Одним из ключевых экономических аспектов, влияющих на логистику любой отрасли и, конечно, агропродовольственного подкомплекса АПК, является ценовой фактор. Ценообразование на сельскохозяйственную и продовольственную продукцию в Беларуси ведется при самом активном влиянии административно-государственных структур, особенно во внешнеэкономической деятельности. В середине текущего года здесь произошли определенные корректировки. В соответствии с постановлением Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь № 65 от 20 июня 2022 г. изменены предельные минимальные цены на ряд таких товаров при их реализации по внешнеторговым договорам. Минимальная цена на мясо от молодняка крупного рогатого скота (КРС) (коды ТН ВЭД ЕАЭС 0201 и 0202) не изменились для стран вне СНГ (4,35 долл. США за 1 кг) и увеличились до 4,1 долл. США (ранее 4,0) для остальных рынков сбыта. От взрослого КРС ситуация аналогична: вне СНГ без изменений – 3,9, для остальных рынков – 3,8 долл. США (ранее 3,7 долл. США). Минимальная цена сливочного масла (ТН ВЭД ЕАЭС 0405 10) для рынка России 450 рос. руб. за 1 кг (ранее 482), для остальных регионов цена не изменилась (ЕАЭС – 6,5 долл. США, СНГ и Грузия – 6,1 долл. США, Азербайджан – 6,2 долл. США, страны вне СНГ – 5,9 долл. США). Уменьшилась минимальная экспортная цена на сухое обезжиренное молоко при поставках в Россию: 210 рос. руб. за 1 кг (ранее 250). В остальные страны – без изменений: 3,3 долл. США за 1 кг. Сухое цельное молоко при экспорте в Россию может стоить не ниже 310 рос. руб. за 1 кг (ранее 330), цены по остальным направлениям не изменились (ЕАЭС – 4,5 доллара; СНГ, Азербайджан и Грузия – 4,2 долл. США, вне СНГ – 4,15 долл. США).

Следует с научной точки зрения констатировать, что у такой системы ценообразования есть как положительные, так и проблемные стороны. К положительным, на наш взгляд, можно отнести:

- неукоснительное соблюдение государственных экономических интересов и возможность их полного контроля;
- защита субъектов хозяйствования в этой сфере от возможных ошибок или злоупотреблений;
- возможность глубокой научной проработки уровней цен в динамике с привлечением аналитических структур республиканских министерств, ведомств и научных организаций.

Отрицательными, по нашему мнению, являются:

- трудность оперативной реакции на изменения ценовых уровней по отдельным позициям при высокой динамичности и волатильности агропродовольственных цен в мире, особенно в настоящее время;

– сложность учета особенностей номенклатуры и ассортимента каждого ответственного товаропроизводителя, а также его экономического оперативно-хозяйственного состояния.

В определенной степени отрицательные стороны такого ценообразования снимаются тем, что во внешнеэкономической деятельности определены минимальные цены, а их рост можно оперативно регулировать, в том числе при активном участии самих субъектов хозяйствования.

Экономические результаты логистической деятельности определяются не только ее содержанием и уровнем. В первую очередь, они зависят от эффективного развития производственно-хозяйственной, инновационной, инвестиционной, финансовой деятельности. Как отмечалось нами ранее [2–6], здесь имелись как бесспорные достижения, так и постоянно возникающие проблемы. К положительным факторам влияния на экономические результаты агропродовольственного подкомплекса Республики Беларусь в 2022 г. можно отнести:

1. Усиление экономического взаимодействия с Российской Федерацией, ослабившее или даже устранившее нередко искусственные барьеры на пути экспорта белорусской агропродовольственной продукции в Россию.

2. Барьеры на Российском агропродовольственном рынке для потенциальных белорусских конкурентов – стран Европейского Союза, Соединенных Штатов Америки, Украины, вызванные санкционными ограничениями и иными, преимущественно политическими причинами.

3. Снижение производства сельскохозяйственной продукции в целом ряде стран мира, вызванные сохранением или даже усилением природно-климатических, экологических и политических проблем (аномальная жара и засуха летом 2022 г. практически во всех странах Западной Европы, снижение производства и экспорта в Украине и др.).

4. Становление и укрепление Евразийского экономического союза, деятельность которого направлена в том числе на развитие единого агропродовольственного рынка стран-участниц.

5. Восстановление после мировой пандемии потребления и спроса на агропродовольственную продукцию.

6. Удержание некоторых положительных рубежей в диверсификации экспорта белорусской агропродовольственной продукции [3, 4], прежде всего, в направлении некоторых азиатских стран и Китая.

В то же самое время обостряются появившиеся ранее и возникают новые риски для внешнего вектора агропродовольственной логистики:

1. Санкционное давление на Республику Беларусь, сдерживающее агропродовольственный экспорт прежде всего в направлении стран Европейского Союза.

2. Высокая конкуренция и нестабильность спроса со стороны промышленности, оптовой и розничной торговли, общественного питания, ресторанного бизнеса в странах-импортерах белорусской агропродовольственной продукции.

3. В Евразийском экономическом союзе еще не в полную силу функционирует агропродовольственный рынок и даже еще сохраняются отдельные внутренние барьеры, изъятия и ограничения в таможенном регулировании (фитосанитарные, ветеринарные и другие).

Для совершенствования логистической деятельности агропродовольственного подкомплекса Республики Беларусь в создавшихся макро- и микроэкономических условиях, по нашему мнению, необходимо:

1. Несмотря на все глобальные и локальные политико-экономические риски, обеспечить достижение целей, задач и показателей, сформированных Программой социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг. не только в части развития сельского хозяйства, но и в пищевой промышленности, включая логистическую, внешнеэкономическую, инвестиционную, бюджетно-финансовую, институциональную сферы [1].

2. Приложить все усилия к снижению таких негативных проявлений в финансово-экономической области агропромышленного комплекса, как убыточность сельскохозяйственных организаций; рост дебиторской и кредиторской задолженности перед поставщиками и потребителями; низкая финансовая устойчивость, платежеспособность, кредитоспособность.

3. Активизировать маркетинговые исследования для увеличения продаж отечественной агропродовольственной продукции во всех странах-импортерах и, прежде всего, в Российской Федерации. При этом обратить внимание на наличие тех ассортиментных позиций, которые отсутствуют или недостаточно представлены в пищевой потребительской номенклатуре.

4. Усиленно заполнять появившиеся в результате санкционных действий ниши в российском агропродовольственном ассортименте, не допуская ощутимого и значительного сужения номенклатуры на белорусском рынке.

5. Продолжить и разнообразить столь успешно реализуемую ранее работу по диверсификации рынков сбыта агропродовольственной продукции Беларуси в направлении стран ближнего и дальнего зарубежья.

6. Изыскивать технико-технологические и дизайнерские решения для создания новых видов тары, упаковки, товарных знаков и торговых марок для пищевой продукции, особенно вместо потерянных в результате санкционных действий видов.

7. Создавать новые возможности непосредственным производителям агропродовольственной продукции заниматься внешнеэкономической, логистической деятельностью, в том числе для стабилизации собственного финансово-экономического положения.

8. Развивать уже известные и популярные, особенно в России, белорусские агропродовольственные бренды и создавать новые, активно занимая освободившиеся после ухода западных компаний позиции.

9. Особенно во внешнеторговой деятельности выйти на оптимальное соотношение между крупными агропродовольственными организациями преимущественно с государственной формой собственности (не только в виде коммунальных унитарных предприятий), и малыми, средними предприятиями, фермерскими хозяйствами с негосударственной формой собственности.

10. Активизировать реализацию идеи государственно-частного партнерства в агропродовольственной сфере; поднять в рамках государственных возможностей уровень поддержки не только государственных, но и любых других организаций агропродовольственного подкомплекса.

Литература

1. Основные положения проекта Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы // Рэспубліка. – 2021. – 19 студ. – С. 5–17.
2. Кожевников, Е. А. Совершенствование логистической деятельности белорусских предприятий на агропродовольственном рынке ЕАЭС / Е. А. Кожевников // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем : материалы IX Междунар. науч.-

- практ. конф., Гомель, 2015 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. В. В. Кириенко. – Гомель, 2015. – С. 154–156.
3. Кожевников, Е. А. Внешние и внутренние условия экспортного вектора развития белорусского агропромышленного сектора экономики / Е. А. Кожевников // Менталитет славян и интеграционные процессы: история, современность, перспективы : материалы X Междунар. науч. конф., Гомель, 2017 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. В. В. Кириенко. – Гомель, 2017. – С. 124–128.
 4. Кожевников, Е. А. Современные тенденции развития экспортной деятельности белорусского АПК / Е. А. Кожевников // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем : материалы X Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 2017 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. В. В. Кириенко. – Гомель, 2017. – С. 134–157.
 5. Кожевников Е. А. Сохранение конкурентоспособности аграрной отрасли Беларуси в новых условиях / Е. А. Кожевников // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 2021 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. Н. В. Сычёвой. – Гомель, 2021. – С. 126–129.
 6. Кожевников, Е. А. Совершенствование подходов и принципов логистической деятельности белорусских производственных предприятий / Е. А. Кожевников // Wspolczesny marketing i logistyka – globalne wyzwania. – Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach. – 2014. – С. 251–266.

УДК 331.526

АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ САМОЗАНЯТОСТИ НАСЕЛЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Е. В. Трейтъякова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрена самозанятость населения как одна из форм решения проблемы безработицы в экономике государства, ее преимущества и недостатки, приведены результаты исследования уровня самозанятости развитых стран.

Ключевые слова: самозанятость, безработица, экономика, развитие, население.

CURRENT ASPECTS OF SELF-EMPLOYMENT OF THE POPULATION IN THE REPUBLIC OF BELARUS

E. V. Treytiakova

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The theses consider the self-employment of the population as one of the forms of solving the problem of unemployment in the state economy, its advantages and disadvantages, the results of a study of the level of self-employment in developed countries are presented.

Keywords: self-employment, unemployment, economy, development, population.

В настоящее время важнейшим направлением снижения безработицы является развитие самозанятости населения. Обращение к этой форме занятости связано со становлением рыночных отношений и необходимостью в этих условиях рационализации занятости, изыскания новых ее форм. Самозанятость населения – это специфическая форма экономической деятельности. Ее сущность заключается в том, что

гражданин сам находит для себя источник доходов, обеспечивающий его достойное существование в результате экономической деятельности, не противоречащей законам страны.

Согласно исследованию международной компании по прямым продажам Amway Europe о предпринимательской деятельности в Европе, самозанятость пользуется хорошей репутацией во всей Европе. Выше всего ее ценят в Дании (88 % респондентов), в Великобритании (82 %) и Франции (76 %), меньше – в Турции (65 %) и Германии (61 %) [1].

Количество самозанятых в западных странах прямо пропорционально уровню их экономического развития. По данным Евростата, доля таких граждан в 2017 г. в Италии составляла 15,8 %, в Чехии – 13,8 %, во Франции – 7,1 %. А в США люди, занимающиеся мелкой торговлей и самостоятельно оказывающие бытовые услуги, занимают до 30 % населения. В странах «третьего мира» трактовка самозанятости иная. Чрезмерно высокие показатели чаще свидетельствуют об экономическом неблагополучии страны. В Индии самозанятых граждан 75 % [2].

В настоящее время Республика Беларусь предлагает своим гражданам благоприятные правовые условия для открытия и ведения бизнеса. В стране действуют указы: № 337 «О регулировании деятельности физических лиц» от 19.09.2017 г. и № 364 «Об осуществлении физическими лицами ремесленной деятельности» от 09.10.2017 г.

Для оформления себя как самозанятого гражданин должен:

1. Встать на учет в местном налоговом органе по месту регистрации;
2. Подать заявление в произвольной форме о выбранном виде деятельности, месте и периоде ее ведения;
3. Уплатить единый налог на основании официальных ставок, определяемых местными Советами депутатов.

Создавать дизайн интерьеров, ремонтировать часы и обувь, оказывать парикмахерские услуги, разрабатывать сайты, выпекать и продавать кондитерские изделия - всем этим и многим другим можно заниматься без регистрации индивидуального предпринимательства, при этом обязательным условием является уплата единого налога.

Нормативными документами Республики Беларусь зафиксирован перечень льгот для самозанятых. Предусмотрено снижение ставки единого налога на 20 % для пенсионеров, инвалидов, родителей в многодетных семьях с тремя и более детьми в возрасте до 18 лет, родителей, воспитывающих детей-инвалидов в возрасте до 18 лет.

Согласно изменениям в Налоговом кодексе Республики Беларусь, вступающим в силу с 1 января 2023 г., самозанятые граждане будут являться плательщиками налога на профессиональный доход. Данный налог заменит уплату подоходного налога и одновременно будет включать взносы на пенсионное страхование в бюджет государственного внебюджетного фонда социальной защиты населения Республики Беларусь. Пенсионерам предоставлены льготы по освобождению от уплаты взносов в бюджет фонда при применении налога на профессиональный доход.

По данным Министерства по налогам и сборам Республики Беларусь, в первом полугодии 2018 г. было зарегистрировано 25 958 самозанятых и в бюджет поступило 2,16 млн руб. единого налога, за аналогичный период 2019 г. – 33 671 плательщик, в бюджет было уплачено более 3,81 млн руб. [3].

Среди самозанятых более четверти (9420 человек) занимаются продажей на торговых местах продукции цветоводства, декоративных растений, их семян и рассады, животных (кроме котят и щенков), домашней выпечки и другой кулинарной

продукции. На втором месте по популярности – парикмахерские и косметические услуги. По состоянию на 1 июля 2019 г. их оказывали 6358 самозанятых, 5213 физических лиц занимаются репетиторством [3].

Самозанятость носит двойственный характер, что в свою очередь проявляется в ее влиянии на экономику страны. Но во всем должна быть мера, поэтому значительное увеличение самозанятости приводит к серьезным последствиям.

К негативным последствиям самозанятости можно отнести:

1. *Замедление экономического развития.* Предприятия самозанятого сектора часто малопродуктивны по причине низкой капиталоемкости и преобладания примитивных технологий. По этой причине сдерживается технический прогресс и в целом снижается производительность труда, замедляется экономический рост из-за того, что происходит нерациональное отвлечение ресурсов.

2. *Подрыв конкурентоспособности.* Предприятия самозанятого сектора мелкие, нерегулярно осуществляют деятельность. Расширение таких предприятий ведет к снижению конкурентоспособности предприятий иных организационно-правовых форм, которые имеют рабочие места, начинают свое дело с ограниченными ресурсами из-за высоких операционных издержек.

3. *Размытие принципов социального поведения, увеличение социальной незащищенности, усиление неравенства населения.* Усиление неравенства населения происходит из-за неравенства доходов. Самозанятые находятся в очень уязвимом и незащищенном положении. Они лишены трудовых прав и социальных льгот.

Из перечисленных негативных последствий можно отследить то, что самозанятость влияет на экономическую, социальную и политическую сферы, и чем более развита эта занятость, тем ее влияние сильнее.

Позитивные последствия самозанятости:

1. *Самозанятость – стабилизатор.* В стране часто складываются кризисные ситуации, происходят спады производства. Участие в рассматриваемой экономической деятельности позволяет легче переносить такое нелегкое время населению. Кризисные ситуации и сами могут привести к развитию самозанятости.

2. *Самозанятость может выступать в роли социального амортизатора.* В ситуации, когда государство не может обеспечить эффективную защиту от безработицы, самозанятость дает социальную поддержку потенциальным безработным. Подработки либо полная занятость позволяют поддерживать приемлемый уровень дохода, а лишившимся работы – иметь хоть какой-то заработок.

3. *Реализация предпринимательского потенциала.* Текущая ситуация в стране строит массу барьеров входа в малый бизнес. Самозанятость позволяет минимизировать издержки, частично обойти барьеры начинающим предпринимателям. Немаловажно также, что часть доходов от самозанятости расходуется в экономике, являясь частью совокупного спроса.

4. *Самозанятые – это своеобразный резерв для малого и среднего предпринимательства.* Человек, заработав начальный капитал, может перейти на следующую ступеньку, развивая свое дело, и создать уже юридическое лицо.

Проблема самозанятости актуальна для многих стран. В Европе в 80-е годы целые институты искали пути сокращения безработицы. Для развития самозанятого сектора в каждой стране и создаются специализированные программы поддержки и развития самозанятости, ориентированные, прежде всего, на безработных, инвалидов и молодежь.

В Республике Беларусь организации, серьезно работающие в этом направлении, пока представлены только службой занятости, которая выдает субсидии на от-

крытие деятельности, но их использование строго под контролем, и начинающие не имеют права на неудачу. У стартапов (к этой категории относятся и самозанятые) довольно высокий риск в бизнесе. Поэтому для них нужны программы развития, ориентированные в первую очередь на безработных, которые в процессе создания своего дела могут быть уверенными в том, что они не потеряют причитающейся им финансовой поддержки в течение всего периода практического обучения индивидуальному предпринимательству.

В свете принятия мощного пакета либерализационных мер по содействию самозанятым должны активизироваться власти на местах, потому как поступления от работы и бизнеса – составляющие бюджета.

Литература

1. Европейцы положительно относятся к самозанятости. – Режим доступа: <https://masteriks.livejournal.com/239359.html>. – Дата доступа: 15.09.2022.
2. Самозанятые в экономике: балласт или точка роста? – Режим доступа: <https://uldelo.ru/2019/03/15/b-samozanyatyev-ekonomike-br-b-ballast-ili-tochka-rosta>. – Дата доступа: 16.09.2022.
3. Количество самозанятых в первой половине 2019 года в Беларуси увеличилось на 30 %. – Режим доступа: <https://info-center.by/news/ekonomicheskie/kolichestvo-samozanyatykh-v-pervoy-pолоvine-2019-goda-v-belarusi-uvlichilos-na-30-/>. – Дата доступа: 17.08.2022.
4. В Беларуси в 1,5 раза увеличилось количество самозанятых. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/v-belarusi-v-1-5-raza-uvlichilos-kolichestvo-samozanyatykh.html>. – Дата доступа: 19.08.2022.

УДК 338.23

ИННОВАЦИОННЫЙ ПУТЬ СТАНОВЛЕНИЯ БЕЛОРУССКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ: ПУТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Н. К. Ландова, О. А. Прокопнёва

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Инновации, являющиеся основой преобразований в социально-экономических системах, обеспечивают хозяйственные преобразования, развитие систем жизни обеспечения, защиты природной окружающей среды, повышения уровня экологического благополучия, а также являются необходимым элементом экономической жизни государства в условиях жесткой конкуренции с другими государствами-нациями.

Ключевые слова: инновации, государственная инновационная политика, инновационная деятельность, научно-технологическое развитие.

INNOVATIVE WAY OF FORMATION OF BELARUSIAN ENTERPRISES: WAYS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

N. K. Landova, O. A. Prakapniova

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Innovations, which are the basis of transformations in socio-economic systems, provide economic pre-education, the development of life support systems, the protection of the natural environment, the improvement of environmental well-being, and are also an essential element of the economic life of the state in conditions of fierce competition with other nation states.

Keywords: innovation, state innovation policy, innovation activity, scientific and technological development.

В настоящее время изучение вопросов инновационной деятельности становится не только актуальным, но зачастую необходимым, так как она отражает выживаемость предприятий в современных условиях, а также является необходимым элементом экономической жизни государства в условиях жесткой конкуренции с другими государствами-нациями. Обеспечение инновационного развития является ключевой задачей любого государства и важнейшим фактором успеха страны в среднесрочном и долгосрочном периодах.

Цель данного исследования заключается в анализе проводимых государством политик в сфере исследовательских работ и разработок, а также путей и перспектив развития инновационной деятельности предприятий.

В настоящее время в Республике Беларусь действует ряд государственных и ведомственных программ, определяющих стратегические цели и задачи инновационного развития ее промышленного комплекса. В связи с этими программами в сентябре 2021 г. был подписан Указ № 348, которым была утверждена Государственная программа инновационного развития Беларуси на 2021–2025 гг. В результате ее выполнения были введены в эксплуатацию 74 новых производства, объем выпуска инновационной продукции составил около 6 млрд бел. руб., удельный вес инновационно активных организаций промышленности – более 26 %, а объем экспорта наукоемкой и высокотехнологичной продукции – 14,2 млрд долл. США. Планируется также создание около 100 высокодоходных экспортно-ориентированных производств, увеличение удельного веса инновационно активных организаций обрабатывающей промышленности до 30,5 % объема экспорта наукоемкой и высокотехнологичной продукции до 18,3 млрд долл. США.

Помимо программы, деятельность в инновационной сфере страны так же регулируется стратегией «Наука и технологии: 2018–2040» от 7 апреля 2017 г. К 2040 г. Беларусь должна обрести новое качество роста экономики и выход на мировой уровень конкурентоспособности на базе интеллектуализации и цифровизации производств, развития высокотехнологичных и наукоемких услуг, основанных на достижениях отечественной науки.

Благодаря вышеуказанным актам, регулирующим инновационную деятельность страны, уже к 2022 г. многие промышленные предприятия показали высокие темпы роста в области исследовательских работ и разработок, а также высокие показатели по количеству и качеству выпускаемой продукции, несмотря на сложившуюся ковидную и сложную геополитическую обстановку, которые оказали серьезный удар по материальной и технической обеспеченности многих белорусских производств.

В частности, такие заводы, как «МотоВелоЗавод», имеющие неустойчивую динамику чистой прибыли, которая в 2019 г. составила 1,018 млн руб., в 2020 г. – 2,122 млн руб., а в 2021 – 1,110 млн руб., исходя из отчета о прибылях и убытках предприятия, стремятся ввести структурные преобразования для возрождения интереса и доверия к качеству выпускаемой продукции. Так, часть завода трансформируется в образцовый технопарк республиканского уровня. Смежные предприятия резидентов, которые планируется там разместить, будут ориентированы на выпуск инновационной продукции. Благодаря аренде недвижимости на льготных условиях и освобождения от земельного налога и налога на недвижимость преобразовывается часть цехов площадью примерно на 160 тыс. м². Созданные условия для бизнеса способствовали растущему спросу даже на не до конца обустроенные площади.

В Республике Беларусь технопарки являются одними из наиболее развитых и прибыльных комплексов благодаря выпуску инновационной продукции. В стране их насчитывается 14, и в 2020 г. выручка их резидентов, по данным ежегодного обзора технопарков России и Беларуси, варьировалась от 0,6 до 98 млн руб. в зависимости от региона. Анализируя специализацию и получаемый доход технопарков, можно выявить определенную зависимость с помощью следующей таблицы, в которой представлены наиболее прибыльные (по последним данным 2020 г.) комплексы.

Наиболее прибыльные технопарки Республики Беларусь в 2020 г.

Технопарк	Количество рабочих, чел.	Выручка резидентов за 2020 г., млн руб.	Направления специализации
Брестский	583	24,2	Робототехника; исследования, приборостроение; телекоммуникации, IT-образование
Гомельский	282	20,4	Информационные технологии
Минский областной	236	41,8	Электротранспорт; энергетические установки
Минский городской	932	81,6	Зеленая энергетика; фармакология и биотехнологии; робототехника; микроэлектроника широкого профиля; системы безопасности и контроля доступа
Могилев	198	98,0	Зарядные станции; системы управления двигателем; оборудования для диагностики и ремонта топливной аппаратуры
Политехник	142	7,4	Медицинская техника; научные исследования; автоматизация и робототехника; технологии модификации поверхностей деталей

Примечание. Разработано авторами на основе источника [1].

Таким образом, можно увидеть, что в белорусской экономике наиболее перспективными направлениями являются энергетика, робототехника, электротранспорт и микроэлектроника. Это связано как с высокой концентрацией промышленных производств в условиях недостатка природных ресурсов, так и с растущей потребностью страны в энергетике и технологических модификаций. Нарращивание научных разработок в этих областях способствует укреплению белорусской экономики и наращиванию экспорта даже в непростых современных условиях.

Следующим примером являются белорусские автомобильные заводы, которые решили выбираться из сложившейся ситуации совместно. В республике реализуется государственная программа по развитию электротранспорта до 2025 г., в соответствии с которой за пятилетку долю общественного транспорта планируют увеличить до 30 %. Для ее реализации создан инновационно-промышленный кластер «Электротранспорт». В его состав вошли такие компании, как МАЗ, БЕЛАЗ, МТЗ, Объединенный институт машиностроения НАН и «Белкоммунмаш».

За 2021 г. количество электротранспорта уже увеличилось более чем в два раза по сравнению с 2020 г.: согласно национальному статистическому комитету в Республике Беларусь насчитывается 109 электробусов и 228 электромобилей, принадлежа-

щих организациям, а также 2310 электромобилей, находящихся в личной собственности граждан. Наибольшее число, ожидаемо, приходится на Минск – 100 электробусов и 1258 электромобилей, что объясняется высокой концентрацией автомобильных заводов в городе. В результате пятилетней научно-технической работы электротранспорт показывает высокую экологичность и эффективность. В то время как КПД двигателя внутреннего сгорания составляет 40–50 %, КПД электроприводов – 90 %.

Чистая прибыль МТЗ, который в 2022 г. собирается выпустить 35 комбайнов с электроприводом для белорусских ледовых арен, в 2021 г. уже увеличилась на 40,059 млн руб. по сравнению с аналогичным периодом 2020 г.; МАЗ, который планирует наладить выпуск электромусоровозов, беспилотных электробусов и грузовиков – на 639 тыс. руб. Первое вызвано главным образом запуском серийного производства глубоко модернизированных версий своих самых популярных тракторов в 2021 г. – BELARUS-82.3 и BELARUS-1222.3, второе – выпуском низкопольных автобусов третьего поколения, электробусов, седельных тягачей с улучшенными двигателями, и другой усовершенствованной за счет инновационных разработок техники.

Введение в эксплуатацию и выпуск новой передовой техники является главной возможностью предприятий вызвать интерес к продукции и укрепиться в условиях современного рынка, а все вышеприведенное свидетельствует об актуальности задач расширенного воспроизводства научно-технического потенциала. Важно обеспечить дальнейшее наращивание компетенций в новых прорывных областях и увеличение влияния науки на экономический рост в долгосрочной перспективе.

Л и т е р а т у р а

1. Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://gknt.gov.by/>. – Дата доступа: 11.09.2022.
2. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 11.09.2022.
3. ОАО «МАЗ». – Режим доступа: <http://maz.by/>. – Дата доступа: 11.09.2022.
4. ОАО «МТЗ». – Режим доступа: <http://www.belarus-tractor.com/>. – Дата доступа: 11.09.2022.
5. ООО «МотоВелоЗавод». – Режим доступа: <https://motoveloshop.by/>. – Дата доступа: 11.09.2022.

УДК 338.48

МЕТОДИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОЦЕНКИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ MICE-ТУРИЗМА

Е. Н. Карчевская

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Проведен анализ информационного обеспечения MICE-туризма – области индустрии делового туризма, связанной с организацией и проведением различных корпоративных мероприятий. Анализ наполнения Web-сайта турфирм проведен экспертным методом по коммерческому и PR-направлениям. Результаты анализа могут быть использованы для разработки стратегии развития предприятий индустрии MICE-туризма.

Ключевые слова: MICE-туризм, Web-сайт, деловой туризм.

METHODOLOGICAL TOOLS FOR ASSESSING INFORMATION PROVISION OF MICE-TOURISM

E. N. Karchevskaya

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

This study analyzes the information support of MICE-tourism, an area of the business tourism industry related to the organization and holding of various corporate events. The analysis of the content of the website of travel agencies was carried out by an expert method in commercial and PR areas. The results of the analysis can be used to develop a strategy for the development of enterprises in the MICE-tourism industry.

Keywords: MICE-tourism, Web-site, business tourism.

Информационная среда как функция предприятия может быть реализована с помощью Web-сайта, позволяющего компании сократить свои издержки за счет уменьшения количества печатных рекламных материалов и экономии времени сотрудников отдела маркетинга и PR. Туризм – сфера деятельности, которая не существует без информационного обеспечения. В последнее время все большую популярность обретает такой вид туризма, как MICE-туризм – это область индустрии делового туризма, связанная с организацией и проведением различных корпоративных мероприятий.

В рамках данного исследования был предложен алгоритм анализа информационного обеспечения MICE-туризма, в частности, информации, расположенной на корпоративном сайте предприятия (см. таблицу).

Алгоритм анализа информационного обеспечения MICE-туризма

Блоки	Разделы	Группы	Подгруппы
Информационный	Фирма	Общая информация	общая характеристика; история компании
		Организационное устройство	тип компании; уставная информация
		Структура	описание; визуализация информации
		Управление	топ-менеджмент; визуализация информации; контактные данные
		Бизнес	характеристика отрасли; деятельность компании; клиенты; партнеры
		Социальный пакет	социальные программы фирмы
	СМИ	Пресс-служба	новости; регулярное обновление новостной ленты; связь с другими СМИ

Блоки	Разделы	Группы	Подгруппы
Специализированный	Турпродукт	Направления	meeting (корпоративные встречи, презентации, переговоры); incentives (поощрительные или мотивационные туры и программы, тимбилдинги, обучение персонала, корпоративные праздники); conferences (конференции, конгрессы, съезды, форумы, семинары); exhibitions (выставки, имиджевые мероприятия (фестивали, благотворительные концерты))
		Коммуникации	предлагаются опросы и анкеты; используется регистрация на сайте
	Взаимодействие с поставщиками и потребителями	Справочно-контактная информация	юридический адрес; телефоны, электронный адрес; ответы на часто задаваемые вопросы; банковские реквизиты
Коммуникативный	Дополнительная информация	Структура меню	каталог разделов; визуализация; читабельность
		Эргономика	удобная навигация; организован поиск; есть ссылки на другие ресурсы; организован форум (или гостевая книга)

Всю информацию, предоставленную турфирмой на корпоративном сайте, можно условно разделить на три блока: информационный, специализированный, коммуникативный.

Информационный блок имеет общий характер, не зависит от специфики деятельности, учитывает современные тенденции интернет-общения и характерен для любой фирмы, имеющей свой Web-ресурс. Предлагаемые параметры анализа носят универсальный характер, могут использоваться при анализе предприятия и организации любой отрасли.

Специализированный блок свойственен для предприятий определенной специализации, в нашем случае это предприятия сферы МІСЕ-туризма. Здесь могут рассматриваться только те фирмы, которые позиционируют себя как «предприятия, оказывающие услуги МІСЕ-туризма». Поскольку в уставных документах туристских предприятий нет разграничения по видам туризма (есть только туроператорская и турагентская деятельность), выбор фирм, предлагающих услуги МІСЕ-туризма, осуществлялся с помощью выданных глобальной поисковой системы Google по запросу «МІСЕ-туризм».

Коммуникативный блок предназначен для удобства работы пользователя на сайте компании.

Для сравнения были взяты фирмы разных регионов и стран, в перечне услуг и туров которых среди прочего фигурирует и МІСЕ-туризм [1–3]. Анализ наполнения Web-сайта фирм проводился экспертным методом. Для анализа результатов найдено среднее значение по каждой категории. Пример конкурентных позиций некоторых предприятий представлен на рис. 1.

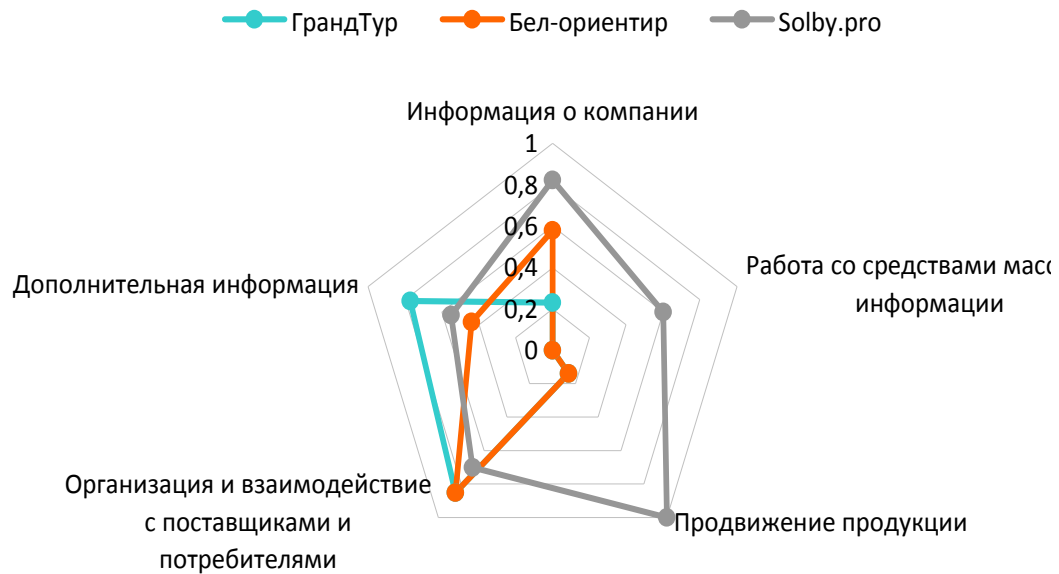


Рис. 1. Сравнительная оценка информационного обеспечения МІСЕ-туризма

Таким образом, в настоящем исследовании проведен анализ информационного обеспечения МІСЕ-туризма, в частности, анализ наполнения Web-сайта турфирм. В целом следует отметить, что интенсивно развивающаяся в зарубежной Европе индустрия делового туризма в нашей стране ограничивается пока еще редкими деловыми поездками и мероприятиями. Заявленный в ассортименте услуг деловой туризм не всегда соответствует истинно МІСЕ-туризму. Фирмам необходимо обратить внимание на разработку деловых и культурных программ, а также их пиар и размещение в медиа. Для эффективного развития делового туризма и организации деловых встреч необходимо учитывать результаты исследования, ликвидировать «неудобства».

Литература

1. Организации зарубежных профессиональных поездок Solby.pro : офиц. сайт. – Режим доступа: <https://solby.pro/>. – Дата доступа: 17.09.2022.
2. Туроператор «Бел-ориентир» : офиц. сайт. – Режим доступа: <https://www.bel-orientir.ru/>. – Дата доступа: 17.09.2022.
3. Турфирма «Грандтур» : офиц. сайт. – Режим доступа: <https://www.grandtour.by/about/>. – Дата доступа: 17.09.2022.

УДК 330.1

МАРКЕТИНГОВЫЕ СТРАТЕГИИ НА СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ РЫНКАХ

Р. И. Громыко, А. П. Митрахович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Дана характеристика особенностей социально значимых благ, описаны особенности маркетинговой стратегии на рынке образовательных услуг.

Ключевые слова: социально значимое благо, асимметрия информации, маркетинговая стратегия.

MARKETING STRATEGIES IN SOCIALLY SIGNIFICANT MARKETS**R. I. Gromyko, A. P. Mitrakhovich***Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

The characteristics of the features of socially significant benefits are given, the features of the marketing strategy in the market of educational services are described.

Keywords: socially significant benefit, information asymmetry, marketing strategy.

Такие социально значимые рынки, как рынок труда, рынок образовательных услуг, фармацевтических и других, имеют особенности, которые необходимо учитывать при формировании маркетинговых стратегий. Эти особенности вызваны производством и предложением на этих рынках смешанных либо квазиобщественных (социально значимых) благ, что предполагает согласование взаимных интересов субъектов сделки и максимально эффективное удовлетворение выявленных потребностей.

Целью исследования является описание специфики рынков социально значимых благ и определение особенностей маркетинговой стратегии на рынке образовательных услуг.

Социально значимое благо – частное благо, потребление которого представляет общественный интерес (услуги социальной сферы).

Критерии отнесения к социально значимым благам:

- совместный характер потребления;
- высокий уровень исключаемости и убываемости;
- сильно выраженный положительный внешний эффект;
- предоставление благ государственными, общественными и частными структурами.

Взаимодействия на социально значимых рынках имеет ряд особенностей [1]:

- полезность товаров и услуг носит социальный характер и влияет на безопасность страны;
- значительная доля государства в воспроизводстве данных благ;
- эффективность функционирования рынка зависит от поведения всех субъектов;
- воспроизводство благ имеет положительную значимость в долгосрочной перспективе;
- производство и использование благ обеспечивает благосостояние и качество жизни населения страны.

В силу вышеуказанных особенностей процесс взаимодействия сторон достигает экономической и социальной результативности при условии его максимальной открытости и наличия полноты информации у заинтересованных сторон.

Сфера образования создает социально значимые блага и сохраняет их особенности. Сложность формирования маркетинговой стратегии образовательного учреждения следует как из особенностей социально значимого блага, так и из необходимости взаимодействия одновременно на нескольких рынках с целью создания и реализации образовательного продукта: на рынке образовательных услуг, на котором привлекаются потенциально обучаемые; на рынке труда преподавателей (для привлечения квалифицированных кадров); на рынке труда выпускников. На каждом рынке существует особый вид неравновесия информации, который создает препятствия для заключения эффективной сделки. На рынке образовательных услуг неравновесие информации может привести, например, к издержкам абитуриента от неверно принятого решения из-за неполноты информации, что выражается в издержках упущенных возможностей,

потерях времени, материальных затратах, несоответствии выбора долгосрочным предпочтениям. На рынке труда выпускников образовательное учреждение обладает большим объемом информации чем работодатель, который может столкнуться с оппортунистическим поведением специалиста после заключения сделки. Отсутствие равновесия на подобных рынках ведет к преимуществам одной из сторон сделки, искажает конкуренцию и нарушает эффективность функционирования рынка. Краткосрочные выгоды образовательного учреждения на данном рынке противоречат целям долгосрочного развития и подрывают доверие к институтам образования, снижают их социальную эффективность.

Маркетинговая стратегия взаимодействия на рынках данного типа должна опираться на принципы открытости и достоверности информации о деятельности образовательного учреждения. Это позволит:

- сформировать доверие участников информационного взаимодействия;
- обеспечить потребительскую лояльность;
- повысить имиджевую составляющую образовательного учреждения.

Так как процесс создания образовательного продукта (услуги) зависит от качества взаимодействия его участников в образовательном процессе, а также от влияния на него потребителей кадров (базовых предприятий), необходимо использование как элементов внутреннего маркетинга, направленного на оптимизацию образовательного процесса и создание качественной образовательной услуги, так и элементов внешнего маркетинга, предполагающего выстраивание отношений с внешней средой.

В связи с этим среди составляющих маркетинговой стратегии образовательного учреждения особую значимость имеют: управление ценностью услуги, ее значимостью для потребителя; формирование устойчивого положительного образа услуги; управление потребительской лояльностью; управление процессом образовательного продукта; управление процессом предоставления образовательной услуги.

Рынки социально значимых благ имеют особенности, которые влияют на организацию производства благ и выработку стратегии рыночного поведения.

Маркетинговые стратегии на рынке образовательных благ необходимо разрабатывать с учетом доверительного и асимметричного характера блага, обеспечивая взаимодействие со всеми участниками

Литература

1. Маркетинговый механизм преодоления отрицательных эффектов информационной асимметрии в региональной экономической системе / Е. Г. Гущина [и др.] // Вестн. Астрах. гос. техн. ун-та. – 2018. – № 4. – С. 21. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/marketingovyy-mehanizm-preodoleniya-otritsatelnyh-effektov-informatsionnoy-asimmetrii-v-regionalnoy-ekonomicheskoy-sisteme/viewer>. – Дата доступа: 10.09.22.

УДК 338.23:331.5

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ УДАЛЕННОГО ФОРМАТА РАБОТЫ В ОРГАНИЗАЦИЯХ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ВЕДЕНИЯ БИЗНЕСА

Е. А. Морозова, Г. В. Митрофанова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Для того, чтобы быть конкурентноспособным в современных условиях ведения бизнеса, организации должны быть способны оперативно приспосабливаться к изменяющимся внешним и внутренним условиям. Одним из ключевых решений по управлению современной

организации является внедрение удаленной работы, что способствует мобильности и гибкости организации. Рассмотрен удаленный формат работы и обоснована необходимость внедрения удаленной работы в организациях.

Ключевые слова: удаленная работа, работоспособность, коллектив, рабочий день, время, дистанционный тип занятости, управление персоналом.

CURRENT ISSUES OF REMOTE WORK FORMAT IN ORGANIZATIONS IN MODERN BUSINESS CONDITIONS

E. A. Morozova, G. V. Mitrofanova

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

In order to be competitive in today's business environment, organizations must be able to quickly adapt to changing external and internal conditions. One of the key decisions for managing a modern organization is the introduction of remote work, which contributes to the mobility and flexibility of the organization. The article considers the remote work format and substantiates the need to introduce remote work in organizations.

Keywords: remote work, efficiency, staff, workday, time, remote type of employment, staff management.

Целью работы является изучение формата удаленной работы и способы выяснения причины, по которым необходимо внедрить его в современные организации. Были использованы следующие методы исследования: изучение научной литературы и интернет-опросов.

Удаленная работа – форма занятости, при которой работодатель и наемный работник (или заказчик и исполнитель) находятся на значительном расстоянии друг от друга, передавая и получая техническое задание, результаты труда и оплату при помощи современных средств связи [1].

Существует три актуальных формата работы:

- классическое посещение офиса с закрепленным рабочим местом. Чаще всего такой формат используется на предприятиях;
- гибридный формат – работа как в офисе, так и из дома;
- удаленная работа – необязательное посещение офиса. Многие IT-компании практикуют такой вид работы [2].

Каждый бизнес выбирает для себя разный формат работы. Иногда это может зависеть от определенной отрасли. Существуют компании, которым не подходит удаленный формат работы, например, розничная торговля, где территориальный менеджер должен постоянно взаимодействовать с разными точками продаж и контролировать их работу, а значит, физически находиться на месте.

Учитывается также конкретная роль каждого сотрудника, т. е. можно ли конкретно его функционал перевести в удаленный формат. К примеру, работник на производстве, который изготавливает конфеты на конвейерной ленте. Из-за его характера работы он может работать только в классическом формате, потому что его работа заключается в прямом контакте с оборудованием.

В большинстве организаций практикуется классический поход на работу. Однако из-за этого организации теряют свою гибкость в современных условиях ведения бизнеса. Существуют такие специалисты, как бухгалтера, экономисты, юристы, инженеры, маркетологи, аналитики и другие, для которых следует ввести возможность удаленной работы.

Причины введения удаленной работы в организациях:

– COVID-19;

– *повышение имиджа организации*. Все больше людей начнет рассматривать данную организацию в качестве места трудоустройства. Для некоторых людей важна гибкость на работе, и таким способом можно привлечь хорошие кадры;

– *гибкость*. Организация должна быть готова к изменяющимся условиям внешней и внутренней среды. Например, при переезде сотрудника организация могла бы дать ему возможность работать удаленно, и это значит, что сотрудник не теряет работу, а организации не придется искать новые кадры.

– *конфликтные ситуации внутри коллектива*. Если сотрудника удовлетворяет его работа в организации, но он имеет проблемы с коллективом, необходимо ему дать возможность перевестись на удаленный формат работы. Благодаря этому организация не потеряет кадры, а сотрудник продолжит работать без стресса на работе;

– *увеличение лояльности работников*. Существуют специалисты, которые хотят сменить сферу деятельности из-за формата работы. Поэтому для таких специалистов важно иметь возможность удаленно работать.

Преимущества удаленной работы, исходя из исследований компании “Talent-Tech” [3]:

- возможность работать в собственном ритме – 66,7 %;
- экономия времени и денег на поездки в офис – 17,5 %;
- возможность сконцентрироваться на работе – 8,1 %;
- возможность путешествовать – 3 %;
- защита от болезней – 2,9 %.

Недостатки удаленной работы [3]:

- проблемы с самодисциплиной – 41,8 %;
- множество отвлекающих факторов – 32,2 %;
- нехватка социализации – 13,6 %;
- отсутствие удобного рабочего места – 6,3 %.

Исходя из исследования, большая часть работников предпочитает работать в собственном ритме, составляя себе собственный график работы. У них есть возможность планировать и контролировать свою работу. Со стороны начальства необходимо давать четкие задачи и задавать сроки их выполнения для того, чтобы работа была результативной и чтобы начальство не беспокоилось о невыполненной работе. Сотруднику также необходимо делать отчеты в конце дня или недели, потому что они помогают следить за рабочим прогрессом и сотруднику, и руководству.

У значительного числа работников возникают проблемы с самодисциплиной. Это вызвано тем, что людям тяжело отвлечься от домашних дел и сфокусироваться на работе. Люди на удаленной работе страдают также от нехватки социализации.

Из-за удаленной работы возникает проблема с повышением сотрудников. Сотрудники, работающие из офиса, чаще получают повышения, чем те, кто работает в удаленном формате. Это связано с тем, что первые взаимодействуют с начальством и попадаются ему на глаза чаще, чем удаленные работники, которые общаются с ним раз в неделю.

Однако главная идея в том, чтобы внедрить удаленный формат работы для людей, которые готовы справиться с недостатками данного формата. Их, как правило, устаивают условия удаленной работы, и им легче перевестись на нее, чем искать новую работу.

Литература

1. Удаленная работа. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>. – Дата доступа: 10.09.2022.
2. Современные форматы работы. – Режим доступа: <https://friend.work/blog/gibridnyj-format-raboty>. – Дата доступа: 10.09.2022.
3. Исследования. Что не нравится на удаленке даже фрилансерам. – Режим доступа: <https://talenttech.ru/blog/hr-research/remote-plus-minus/>. – Дата доступа: 10.09.2022.

УДК 338.43

**ОРГАНИЧЕСКОЕ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО
КАК ФАКТОР УКРЕПЛЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ НАЦИИ,
ИНСТРУМЕНТ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ**

О. В. Шваякова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрены предпосылки развития органического сельского хозяйства на территории Республики Беларусь как одного из факторов укрепления здоровья нации и инструмента макроэкономического развития.

Ключевые слова: человеческий капитал, укрепление здоровья, пищевое производство, антибиотики, пестициды, болезни, органические продукты, органическое сельское хозяйство.

**ORGANIC AGRICULTURE AS A FACTOR OF IMPROVING
THE HEALTH OF THE NATION, A TOOL FOR MACROECONOMIC
DEVELOPMENT**

O. V. Shvayakova

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The article discusses the preconditions for the development of organic agriculture in the territory of the Republic of Belarus as one of the factors for strengthening the health of the nation and an instrument of macroeconomic development.

Keywords: human capital, health promotion, food production, antibiotics, pesticides, diseases, organic products, organic agriculture.

Основой любой экономики страны является человеческий ресурс, который в значительной степени влияет и создает предпосылки для экономического развития. Уже сегодня просматривается перспектива возникновения проблемы дефицита человеческого капитала и активизация борьбы за него, что актуально и для Республики Беларусь и согласно Программе социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг. признается реальной угрозой для нашей страны, а одна из основных задач пятилетия звучит как «...укрепить здоровье нации и повысить ожидаемую продолжительность жизни до 76,5 года в 2025 году» [2].

Основным фактором поддержания жизни и укрепления здоровья, согласно исследованиям Всемирной организации здравоохранения, являются безопасные продукты питания, что на фоне общемировой тенденцией интенсификации пищевого производства достаточно проблематично. Сегодня в продуктах питания повсеместно присутствует остаточное количество антибиотиков, пестицидов и других химических веществ, используемых в сельском хозяйстве.

Уже с 2011 г. Всемирная организация здравоохранения обращает внимание мирового сообщества на проблему формирования устойчивости организмов к лекарственным средствам, т. е. антибиотикорезистентность, которую связывает в том числе и с присутствием остаточного количества антибиотиков в пищевых продуктах. Наличие остаточного количества антибиотиков в продуктах питания – это следствие использования более 50 % видов антибиотиков в сельском хозяйстве в качестве мер защиты от болезней, в профилактических целях и как стимуляторов роста. По самым оптимистичным прогнозам Всемирной организации здравоохранения особенно остро проблема антибиотикорезистентности встанет к 2050 г., когда ежегодная смертность по этой причине составит в Азиатском регионе – 4,73 млн человек, Африке – 4,15 млн человек, Европе – 390 тыс. человек, Южной Америке – 392 тыс. человек, Северной Америке – 312 тыс. человек, а суммарные потери ВВП – 8 %, или около 100 трлн долл. США [1].

Наряду с проблемой наличия остаточного количества антибиотиков в продуктах питания Всемирная организация здравоохранения акцентирует внимание и на отрицательном воздействии на человека (особенно детей раннего возраста, лиц пожилого возраста и больных) гормонов, пестицидов и других химических веществ, используемых в сельском хозяйстве, которые затем переходят в продукты питания и, по данным Всемирной организации здравоохранения, являются причиной более 200 заболеваний (от диареи до онкологических).

Сегодня на территории ЕАС, включая Республику Беларусь, технические регламенты на продукты питания допускают в них наличие остаточного количества антибиотиков и пестицидов. Например, Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» (ТР ТС 033/2013) допускает наличие в молоке и молочных продуктах (в том числе для детского питания), антибиотиков (в зависимости от группы – от 0,0003 до 0,2 мг/кг(л)) и пестицидов (в зависимости от вида – от 0,01 до 0,55 мг/кг(л)) [4].

Однако ряд медицинских исследований в Европейских странах и Российской Федерации подтверждает выводы Всемирной организации здравоохранения о растущей проблеме антибиотикорезистентности, вызванной в том числе наличием остаточного количества антибиотиков в продуктах питания, и негативное влияние на здоровье человека содержания в его пище остаточного количества пестицидов и других химических веществ, используемых в сельском хозяйстве.

Все чаще в медицинском сообществе связывают стремительный рост некоторых заболеваний за последние 50–60 лет, например, аутоиммунных, нейродегенеративных, врожденных аномалий, болезней органов пищеварения, болезней эндокринной системы, именно с влиянием пестицидов и химических веществ, используемых в сельском хозяйстве. Так, например, двадцатилетние исследования Р. Я. Хамитовой о влиянии малых доз пестицидов и химических удобрений на детей до 14 лет выявили корректирование уровня первичной заболеваемости органов пищеварения и эндокринной системы, врожденной аномалии, злокачественных новообразований с этим фактором [5, с. 118].

Сегодня Республика Беларусь не является исключением, здесь также прослеживаются общемировые тенденции антибиотикорезистентности, увеличения аутоиммунных, нейродегенеративных, врожденных аномалий, болезней органов пищеварения, болезней эндокринной системы и злокачественных новообразований (рис. 1).

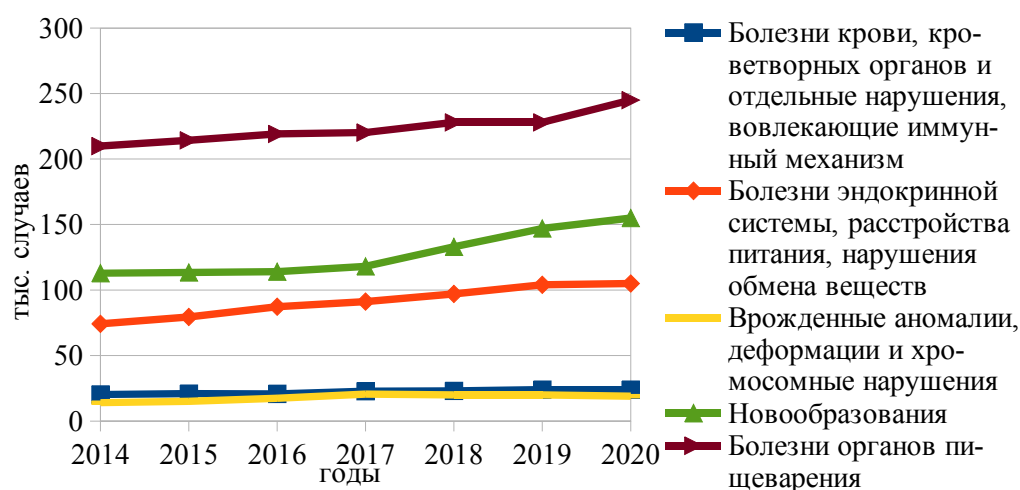


Рис. 1. Заболеваемость населения по отдельным группам болезней с впервые установленным диагнозом по Республике Беларусь

На общегосударственном уровне заболевания, спровоцированные потреблением небезопасных пищевых продуктов, увеличивают расходы на здравоохранение и сопутствующие социальные выплаты, нанося урон национальной экономике, туризму и торговле и тормозят экономическое развитие страны.

Интересен опыт преодоления вышеозначенных проблем Европейскими странами, где одним из факторов поддержания жизни и укрепления здоровья нации, инструментом макроэкономического развития рассматривается органическое сельское хозяйство. На наш взгляд, данный опыт имеет ценность для нашей страны, где развитие органического сельского хозяйства будет способствовать (как и в Европейских странах) укреплению здоровья нации, а также сможет стать инструментом макроэкономического развития [6, с. 168].

Литература

1. Безопасность продуктов питания : информ. бюллетень ВОЗ, 31.10.17. – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>.
2. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы, утвержденная Указом Президента Республики Беларусь от 29 июля 2021 г. № 292. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100292>.
3. Сеть, кадры организаций здравоохранения и заболеваемость населения в Республике Беларусь за 2020 год : стат. бюллетень. – Минск, 2021.
4. О безопасности молока и молочной продукции (ТР ТС 033/2013) / Технич. рег. Таможенного союза. – Режим доступа: <https://mshp.gov.by/documents/tkp/f537113f12f71945.html>.
5. Хамитова, Р. Я. Гигиеническая оценка применения пестицидов и минеральных удобрений в земледелии в Республике Татарстан / Р. Я. Хамитова // Казан. мед. журнал. – 2017. – Т. 98, № 1. – С. 116–121.
6. Шваякова, О. В. Преимущества развития органического земледелия на территории Республики Беларусь / О. В. Шваякова // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем : сб. науч. тр. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Гомел. обл. орг. о-ва «Знание» ; под ред. В. В. Кириенко. – Гомель, 2019. – С. 167–170.

УДК 338.23

**АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРОБЛЕМ ИННОВАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОРГАНИЗАЦИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ****Г. В. Митрофанова, О. А. Прокопнёва***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

В современных условиях предприятия, не имеющие возможность на исследования и разработки в достаточном объеме, с течением времени становятся неконкурентоспособны. В то же время при попытке возрождения своей инновационной активности предприятия могут столкнуться с рядом негативных факторов.

Ключевые слова: инновации, социально-экономические задачи, инновационная деятельность, научно-технологическое развитие и потенциал.

**ANALYSIS OF THE MAIN PROBLEMS OF INNOVATION ACTIVITY
IN ORGANIZATIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS****G. V. Mitrofanova, O. A. Prakapniova***Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

In modern conditions, enterprises that do not have the opportunity for research and development in sufficient volume become uncompetitive over time. At the same time, when trying to revive their innovative activity, enterprises may face a number of negative factors.

Keywords: innovations, socio-economic tasks, innovative activity, scientific and technological development and potential.

Важной социально-экономической задачей современного этапа развития является обеспечение высокого уровня инновационной активности белорусских предприятий. Актуальность темы обусловлена тем, что в современных условиях организации, не имеющие возможность на исследования и разработки в достаточном объеме, с течением времени становятся неконкурентоспособны. В то же время при попытке возрождения своей инновационной активности организации могут столкнуться с рядом негативных факторов.

Целью данного исследования является выявление факторов, непосредственно препятствующих инновационной деятельности белорусских организаций.

Так как научные исследования и разработки являются главным источником инноваций, особенно важно на законодательном уровне поддерживать их осуществление. В последние годы государственная политика в этой области стала более ориентирована на ее внедрение и освоение организациями. Так, согласно статистическим сборникам, в 2020 г. число организаций, выполняющих исследовательские работы, выросло на 4,64 % по сравнению с 2016 г.; объем выполненных научных исследований и разработок – на 47,28 %; внутренние затраты на их выполнение – на 69,78 %.

Однако несмотря на прогрессирующий рост вышеупомянутых показателей в рейтинге Глобального инновационного индекса (ГИИ) Республика Беларусь в 2021 г. заняла 62 место, уступив таким странам, как США, Индия, Украина, Мексика, а также странам северной Африки. Это связано с ключевым показателем уровня развития науки и инноваций – наукоемкостью ВВП (внутренними затратами на научные исследования

и разработки в процентах к ВВП). В ведущих странах мира она составляет 2,5–3 % от ВВП. Это является реальным фактором достижения технологического лидерства. В Беларуси наукоемкость ВВП в последние годы находится на уровне около 0,5 %, и даже ее увеличение с 2016 по 2021 г. на 10 % с 0,5 до 0,55 %, является показателем более низким, чем пороговое значение, установленное Концепцией национальной безопасности Республики Беларусь.

Все вышеперечисленное свидетельствует об актуальности задач расширенного воспроизводства научно-технического потенциала и прежде всего оптимизации кадрового состава белорусской науки преимущественно на основе притока молодых ученых, и в таком случае наблюдаемое в 2021 г. сокращение списочной численности работников, осуществляющих работы, на 1,23 % по отношению к 2016 г., говорит об оттоке специалистов за рубеж. Важно обеспечить дальнейшее наращивание компетенций в новых прорывных областях и увеличение влияния науки на экономический рост в долгосрочной перспективе.

Для более детального анализа необходимо рассмотреть распределение внутренних затрат на научные исследования и разработки по областям Республики Беларусь за 2020 г. В общей сумме затраты составили 807 017 бел. руб., и, ожидаемо, большая часть этих денег ушла на внутренние текущие затраты, т. е. расходы, необходимые для обеспечения инновационной деятельности, выполняемой в течение года (оплата труда, отчисления на социальные нужды, затраты на специальное оборудование и т. д.). Капитальные затраты (на создание или приобретение долгосрочных активов длительного пользования (свыше одного года), не предназначенных для продажи, составили 72 454 бел. руб., что составляет всего 9 % от общей финансируемой суммы. Необходимо увеличивать капитальные затраты с целью долгосрочного увеличения доли инновационных разработок в стране.

Анализируя источники этого финансирования, можно отметить, что средства государственного бюджета и собственные средства отдельных предприятий на исследовательские разработки выделяются почти в одинаковом объеме: 319 988 и 272 942 бел. руб. При большем участии государства в финансировании либо стимулировании других предприятий, главный показатель наукоемкости ВВП может стать значительно выше, так как на сегодняшний день в Республике Беларусь наблюдается слабый механизм стимулирования науки в коммерческом (предпринимательском) секторе. Если в странах ЕС исследования и разработки финансируются в основном бизнесом, а государство стимулирует этот процесс различными косвенными мерами, то в Республике Беларусь доля затрат бизнеса на науку в 2020 г. составила 11,6 % от общей финансируемой суммы (в ЕС – 66 %), в то время как более 44 % составляют бюджетные средства (358 959 бел. руб.). Таким образом, сам предпринимательский сектор вкладывает в науку существенно меньше, чем западные конкуренты.

Для дальнейшего рассмотрения поставленной темы необходимо выявить наиболее болезненные для белорусской экономики факторы, затрудняющие инновационное развитие экономики. Прежде всего, это недостаток у организаций собственных средств. Структура основных источников финансирования инновационной деятельности в целом по республике среди предприятий промышленности по итогам 2020 г. представлена на рис. 1.

Источники финансирования затрат на инновационную деятельность предприятий в 2020 г. (в процентах от общего количества)

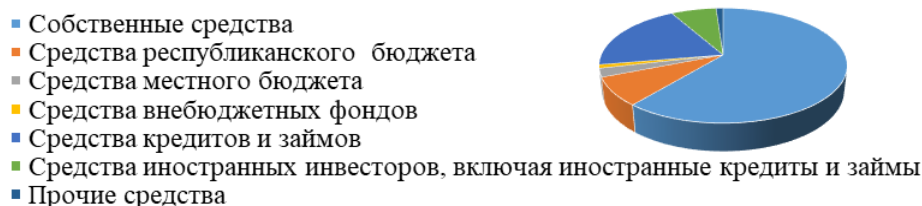


Рис. 1. Основные источники финансирования инновационной деятельности промышленных предприятий Республики Беларусь в 2020 г.

Примечание. Составлено автором на основе источника [1].

Одним из основных собственных источников финансирования инновационной деятельности предприятий является прибыль. Главным препятствием на пути использования прибыли на финансирование инноваций является то, что многие предприятия республики низкорентабельны. Так, рентабельность реализованной продукции за 2020 г. в целом по республике составила 7,6 %, сократившись по сравнению с 2010 г. на 37 %.

Еще одним производственным фактором, препятствующим инновациям, является недостаток квалифицированного персонала, уже упоминавшийся выше. Снижение численности работников, занятых исследованиями и разработками, происходит за счет их оттока в другие сферы деятельности и за рубеж. Кроме того, заметно снизился профессионально-квалификационный уровень персонала научно-инновационной сферы, о чем свидетельствует, например, уменьшение числа работников отрасли, имеющих научную степень, в основном за счет оттока относительно молодых ученых, имеющих степень кандидата наук. Динамика изменения количества работников республики, имеющих степень доктора наук в последние годы, согласно национальному статистическому комитету, и вовсе устойчиво отрицательная (рис. 2).

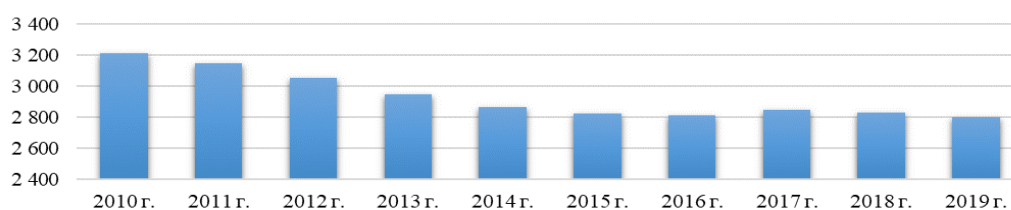


Рис. 2. Списочная численность работников с ученой степенью доктора наук, выполнявших научные исследования и разработки в Республике Беларусь в 2010–2019 гг.

Примечание. Составлено автором на основе источника [1].

Все вышеперечисленное свидетельствует о недостаточной подготовке белорусских предприятий к современным условиям, требующим высокой степени инновационной активности организаций. При продолжении внедрения мер, регулирующих деятельность инновационного сектора, возможен существенный рост практически всех экономических показателей, что благоприятно скажется на экономике страны в целом. Республика Беларусь обладает достаточным инновационным потенциалом и ресурсами, которые для этого необходимы.

Литература

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 11.09.2022.
2. WIPO, Global Innovation Index Database. – Режим доступа: <https://www.wipo.int/>. – Дата доступа: 11.09.2022.

УДК 338.984

АНАЛИЗ И ЕГО РОЛЬ В УПРАВЛЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ

В. А. Сидоркина, Ю. В. Савченко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Показаны роль и значения анализа в управленческой деятельности на различных этапах развития субъекта хозяйствования.

Ключевые слова: анализ, менеджмент, управление, предприятие, конкурентоспособность.

ANALYSIS AND ITS ROLE IN BUSINESS MANAGEMENT

V. A. Sidorkina, Y. V. Savchenko

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

This article mainly deals with methods of analysis and their role in the implementation of management in the enterprise.

Keywords: analysis, management, governance, enterprise, competitiveness.

Целью данного исследования является рассмотрение методов, используемых при анализе управления предприятием, их роль и эффективность.

В настоящее время, когда наблюдается сильное влияние внешней среды на деятельность предприятий и когда экономические, социальные и политические изменения влияют на их деятельность как положительным, так и отрицательным образом, анализ деятельности предприятия, эффективные действия и принятие решений необходимы предприятию для того, чтобы избежать неплатежеспособности. Анализ внешней среды проводится по следующим направлениям:

- исследование динамики цен на товары и услуги;
- налоговые ставки и ставки процентов по банковскому кредиту и депозитам, курс выпущенных акций;
- конкуренция на товарных и финансовых рынках.

Анализ эффективности деятельности предприятия играет важную роль в управлении предприятием. Целью анализа, с одной стороны, является определение эффективности деятельности предприятия за отчетный период и по отношению к поставленным целям, а с другой – установление потенциальных направлений деятельности предприятия на текущий период и на перспективу с учетом необходимых материальных, финансовых и трудовых ресурсов. Поэтому необходимо проводить целевой анализ для выявления таких возможностей и резервов предприятия, которые обеспечили бы оптимальное использование имеющихся ресурсов.

Анализ предприятия – это не только одна из функций управления, но и образ мышления, для которого необходима определенная база данных. Кроме того, качество анализа зависит от общего уровня финансового учета предприятия и качества от-

четности, а также от того, насколько правдивы и справедливы включенные в нее показатели. Фактическое положение предприятия по отношению к среде, в которой оно работает, отражается в портфельном анализе и базовой стратегии, которую предприятие выбрало для своей концепции.

Цель менеджмента – создать свою организационную и операционную структуру, предполагая, что на рынке найдена незанятая конкурентная ниша, и стремиться к выживанию. Менеджер должен иметь веру в успех, готовность к риску, операционные возможности, организационный потенциал, понимание технологий, рынка, маркетинга и т. д. [1].

На этапе роста спрос на продукт увеличивается, отраслевые потребители узнают продукт; они становятся более требовательными и начинают просить скидки. Появляются новые сегменты рынка и новые области применения продукта.

В начале этого этапа конкуренция еще не очень высока, быстро растущий спрос и полученная доля рынка увеличивают доходы предприятия от продаж. Маркетинговые исследования важны для того, чтобы убедиться в логичности и обоснованности выбора продукта, а также для поиска потенциальных покупателей. Именно в этот период многие фирмы становятся банкротами. Это связано с непрофессионализмом менеджеров, неточными оценками и нехваткой оборотных средств. Если эти проблемы преодолены, и переход на следующий этап проходит успешно, то обычно происходит трансформация внутренних принципов управления: от единого управления комплексом к его дифференциации. Это требует уделять больше внимания и на более профессиональном уровне планированию, прогнозированию, оценке рисков (не только интуитивной, но и аналитической), долгосрочным финансовым решениям, повышению ценности для инвестиций собственника.

На этапе зрелости развитие замедляется, рынок значительно насыщен, конкурентоспособность определяется самой низкой ценой. Предприятие должно снижать цены, искать деловых партнеров, чтобы остаться на рынке. Потребители становятся более требовательными, поэтому качество обслуживания приобретает большее значение, необходимо увеличить объем продаж потребителям. Существуют сильные лидеры рынка, которые устанавливают рыночные барьеры для новичков. В то же время самые слабые предприятия уходят с рынка.

Успешная конкурентоспособность на рынке определяется в основном потенциалом предприятия.

Потенциал предприятия – это реальная или возможная способность осуществлять целенаправленную деятельность [2].

Потенциал предприятия можно разделить на следующие четыре категории: базовый потенциал дает возможность предприятию достичь своих основных целей, произвести экономическую стоимость и получить прибыль. Базовый потенциал связан с его конкурентными преимуществами. Сохранение и рост этого потенциала обеспечивают стабильное положение на рынке. Скрытый потенциал – активы, не имеющие очевидных преимуществ в один момент времени, в то время как в перспективе они могут быть превращены в базовые активы. К скрытому потенциалу относятся потенциал сотрудников предприятия и опыт, накопленный в определенной сфере деятельности.

Существует также так называемый затратный неэффективный потенциал. Неэффективный потенциал означает использование ресурсов, не приносящее предприятию никакой прибыли. Перекрестный потенциал характеризуется наличием в распоряжении предприятия активов, которые обеспечивают эффективное использование других видов

потенциала, т. е. хорошо функционирующих систем сбыта или финансов. Конкурентоспособность товаров или услуг является одним из основных компонентов успешного функционирования предприятия на рынке. Конкурентоспособность товаров/услуг часто представляет собой сочетание цены и себестоимости, обеспечивающих успех конкретного товара/услуги по сравнению с другими поставщиками или провайдерами однородных товаров или услуг.

Процесс глобализации невозможно остановить; необходимость глобализации продиктована потребностью выживания. На этой основе усиливается конкуренция на мировом рынке, происходит консолидация конкуренции, т. е. слияние предприятий, работающих в одной отрасли. В таких условиях конкуренции недостаточно просто реагировать на изменения. Предприятия должны активно воздействовать на окружающую среду и с помощью маркетинговых инструментов пытаться самостоятельно изменить ее характеристики, создавая новые потребности и, соответственно, предлагая товары/услуги, которые бы удовлетворяли бы эти потребности. Для успешного решения проблем и стратегически правильной деятельности необходимо учитывать отрасль, в которой работает предприятие, поскольку каждая отрасль может характеризоваться своими специфическими особенностями, со своей реакцией на изменения в экономической деятельности. Анализ продукции и услуг возможен всегда, поскольку конкурировать можно как за счет повышения качества продукции и снижения цен, так и за счет более эффективного обслуживания клиентов.

Термин «анализ» происходит из греческого языка и переводится как «делить, разделять». Любое деление позволяет проникнуть во внутренние части объекта исследования и выяснить значение каждого компонента. Анализ в более широком значении понимается как способность познания предмета и явлений внешней среды, основанная на разделении единичного предмета на составные части и рассмотрении их во всей полноте.

Управление предприятием – это процесс реализации функций управления. Оно связано с выполнением многочисленных деловых операций, в совокупности составляющих хозяйственную деятельность предприятия [3].

Резюмируя все вышеизложенное, управленческие решения и действия должны быть обоснованы точными оценками и всесторонним экономическим анализом. Анализ эффективности деятельности проводится перед принятием важных решений, используется для обоснования управленческих решений и действий, служит научным обоснованием в управлении предприятием, а также обеспечивает объективность и эффективность принимаемых решений. Менеджеры не могут полагаться только на свою интуицию. Управленческие решения и действия должны быть обоснованы точными оценками и всесторонним экономическим анализом.

Л и т е р а т у р а

1. Бельчина, Е. М. Финансы организации : учеб. пособие / Е. М. Бельчина. – Минск : БГАТУ, 2018. – 304 с.
2. Audit-it. – Режим доступа: https://www.audit-it.ru/finanaliz/terms/analysis/company_analysis.html. – Дата доступа: 17.09.2022.
3. Касперович, С. А. Организация производства и управление предприятием : учеб. пособие / С. А. Касперович, Г. О. Коновальчик. – Минск : БГТУ, 2012. – 342 с.

UDC 330.322

ANALYSIS OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA PLACE IN INTERNATIONAL RATINGS OF INVESTMENT ATTRACTIVENESS

T. V. Savenko

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

This article analyzes the positions of the People's Republic of China in international rankings from the standpoint of objectivity and validity. At the end of the article, the author concludes that China's positions in various international investment ratings have a positive trend, which has a positive effect on the investment climate.

Keywords: investment ratings, investment climate, investment attractiveness, Doing Business Index, Economic Freedom of the World Index, Economic Freedom Index.

Various international research organizations calculate and publish several widely used investment attractiveness ratings, which reflect the quality of the investment climate in a large number of countries and actively used by analysts.

A lot of articles in the international press have drawn a connection between foreign direct investments and Doing Business. Such articles often suggest that higher Doing Business rankings will be associated with more foreign investment, which is believed to create jobs, bring in new technologies and processes and have other beneficial collateral effects on the real economy. Thus, a better ranking for an economy implies that its investment climate is more favorable to foreign investors.

It is important to notice that the methodology of doing Business is not explicitly designed for this purpose. Potential investors consider many other factors, such as the overall quality of an economy's business environment and its national competitiveness, macroeconomic stability, development of the financial system, market size, rule of law, and the quality of the labor force.

China participates in Doing Business since 2008 (tab. 1).

Table 1

Rank of China in Doing business

Year	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2018	2019
Rank	91	99	96	83	80	78	78	46	31

Comparative analysis of changes in its positions is difficult because of change in quantity of countries covered by the rating (in 2008 the rating covered 181 countries, and in 2019 – 190), as well as several changes that have occurred in the calculation methodology. According to the table above the rank of China improved year by year. Now China is ranked 31 among 190 economies in the ease of doing business.

The index published in Economic Freedom of the World measures the degree to which the policies and institutions of countries are supportive of economic freedom.. The degree of economic freedom is measured in five broad areas.

Area 1: size of Government.

As government spending, taxation, and the size of government-controlled enterprises increase, government decision-making is substituted for individual choice and economic freedom is reduced.

Area 2: legal System and Property Rights.

Protection of persons and their rightfully acquired property is a central element of both economic freedom and civil society. Indeed, it is the most important function of government.

Area 3: sound Money.

Inflation erodes the value of rightfully earned wages and savings. Sound money is thus essential to protect property rights. When inflation is not only high but also volatile, it becomes difficult for individuals to plan for the future and thus use economic freedom effectively.

Area 4: freedom to Trade Internationally.

Freedom to exchange – in its broadest sense, buying, selling, making contracts, and so on – is essential to economic freedom, which is reduced when freedom to exchange does not include businesses and individuals in other nations.

Area 5: regulation.

Governments not only use a number of tools to limit the right to exchange internationally, they may also impose onerous regulations that limit the right to exchange, gain credit, hire or work for whom you wish, or freely operate your business.

Since the first publication in 1996, numerous studies have used the data published in Economic Freedom of the World to examine the impact of economic freedom on investment, economic growth, income levels, and poverty rates. Virtually without exception, these studies have found that countries with institutions and policies more consistent with economic freedom have higher investment rates, more rapid economic growth, higher income levels, and a more rapid reduction in poverty rates (tab. 2).

Table 2

Rank of China in Economic freedom of the world Index

Year	2005	2010	2015	2018	2019
Rank	116	123	120	124	116
Summary index	5,86	6,02	6,2	6,1	6,53

The Overall index of economic freedom has ten components grouped into four broad categories:

- rule of law;
- limited government;
- regulatory efficiency;
- open markets.

The overall economic freedom is scored on a scale of 0 to 100, where 100 represents the maximum freedom (tab. 3).

Table 3

Rank of China in Economic freedom Index

Year	2014	2015	2016	2018	2019	2020	2021
Rank	53	53	52	58	58	60	58,4

According to the tab. 3 China index of economic freedom fluctuated substantially in recent years. China's economic freedom score is 58.4, making its economy the 107-th freest in the 2021 Index. For comparison, the world average in 2021 based on 176 countries is 62 index points. Its overall score has decreased, primarily because of a decline in fiscal health. China is ranked 20th among 40 countries in the Asia – Pacific region, and its overall score is below the regional and world averages.

Thus, according to the Rank of China in Economic freedom Index it remains a mostly unfree economy. The modest improvements in its economic freedom score in recent years have resulted mostly from gains in the property rights, judicial effectiveness, and business freedom indicators.

In the end it is important to stress out that the analysis of the objectivity and validity of international ratings of investment attractiveness shows that only the Doing Business rating (Doing Business) of the World Bank Group based on its own sources (polls). Its results are used in one way or another by the Fraser Institute and the Heritage Foundation (The Heritage Foundation) when developing their own indexes of economic freedom. Thus, focusing on improving the performance in Doing Business will automatically lead to the growth of the final ratings

Moreover, frequent use by the Heritage Foundation (The Heritage Foundation) data from the US Department of Commerce and the US Department of State reduces the degree of objectivity in assessing the final results of the Index of Economic Freedom.

Thus, we can conclude that investment rating of the People's Republic of China has positive dynamics, which contributes to the creation of a favorable investment climate.

References

1. Mode of access: <https://www.doingbusiness.org/content/dam/doingBusiness/media/AnnualReports/English/DB13-Chapters/DB13-CS-Doing-Business-matter-for-FDI.pdf>.
2. Mode of access: <https://iea.org.uk/publications/economic-freedom-of-the-world-2021-annual-report/>.
3. Mode of access: <https://www.fraserinstitute.org/resource-file?nid=14828&fid=18374>.

УДК 658.532

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛЬНОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ ТРУДА ПЕРСОНАЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

О. Н. Царь, И. В. Ермонина

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрены вопросы совершенствования системы материального стимулирования труда персонала на примере отдела организации труда и заработной платы ОАО «Гомельский завод литья и нормалей». Предложен новый метод определения надбавки за сложность и напряженность работы в зависимости от уровня сложности выполнения задач работниками отдела. Приведен расчет годового экономического эффекта от внедрения новшества на предприятии.

Ключевые слова: промышленное предприятие, персонал, материальное стимулирование труда, основные и неосновные задачи, уровень сложности задачи, сложность и напряженность работы, надбавка.

IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF MATERIAL INCENTIVES FOR STAFF OF INDUSTRIAL ENTERPRISE

O. N. Tsar, I. V. Ermonina

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The issues of improving the system of material incentives for personnel labor are considered on the example of the department of organization of labor and wages of JSC "Gomel Plant of Casting and Normals". A new method is proposed for determining the allowance for the complexity and intensity of work, depending on the level of complexity of tasks performed by department employees. The calculation of the annual economic effect from the introduction of innovations at the enterprise is given.

Keywords: industrial enterprise, personnel, material incentives for labor, main and non-main tasks, level of task complexity, complexity and intensity of work, allowance.

Целью исследования является изучение системы материального стимулирования труда персонала промышленного предприятия и разработка предложений по ее совершенствованию.

Система материального стимулирования труда – это набор разнообразных видов денежных вознаграждений, специально разработанных для определенных групп работников с учетом их влияния на результат работы предприятия. Он является основным материальным стимулом для работников организации.

На промышленном предприятии ОАО «Гомельский завод литья и нормалей» (ГЗЛиН) существует определенная система материального стимулирования труда работников. Однако как и во многих других предприятиях, в ОАО «ГЗЛиН» часть выплат по материальному стимулированию труда не действует. Это случается из-за того, что существует проблема ослабления их стимулирующего эффекта. Так, в ОАО «ГЗЛиН» существует надбавка за сложность и напряженность работы в размере 20 %. Однако для ее получения нет конкретно установленных условий. Из-за этого данная надбавка не стимулирует специалистов, а воспринимается как должное.

Целесообразно в отделе организации труда и заработной платы (ОТТиЗ) ввести нормированные задания, по которым и будет нормироваться размер получения надбавки за сложность и напряженность работы, ее максимальный размер или же ее полное отсутствие. Для этого необходимо изучить работу отдела: что входит в обязанности работников, какие обрабатываются документы, какая заполняется отчетность в данном отделе и другое, т. е. изучить сложность и количество выполняемой работы каждым работником в течение месяца.

В табл. 1 представлена информация по дифференциации обязанностей работников ООТиЗ ОАО «ГЗЛиН». Все обязанности работников данного отдела ранжированы по сложности выполнения от 1 до 4.

Таблица 1

Дифференциация обязанностей работников ООТиЗ по сложности

Уровень сложности	Конкретная работа
1	<ul style="list-style-type: none"> – разработка графика отпусков; – подготовка приказов (о работе в выходные дни, о доплатах, о премировании, о временном возложении обязанностей, о социальных выплатах); – проверка табельного учета, подготовка оптимальных графиков работы для работников со сменным графиком работы

Уровень сложности	Конкретная работа
2	– расчет технико-экономических показателей по труду за отчетные периоды и их анализ; – нормирование труда рабочих (фотография рабочего времени, расчет и утверждение сдельных расценок); – разработка должностных инструкций
3	– разработка плана по труду и заработной плате; – пересчет плана по труду и заработной плате по итогам месяца, сравнение его с фактом и с начальным планом; – анализ полученных показателей плана по труду и заработной плате, выявление отклонений и их причин
4	– непосредственное участие в комиссиях по аттестации и повышению квалификации работников, протоколирование данных аттестации; – разработка различных положений, касающихся оплаты труда (положение о премировании); – анализ фактической заработной платы, способы ее оптимизации; – разработка мероприятий по мотивированию персонала

Таким образом, из табл. 1 видно, что выделено четыре степени сложности выполнения работ в ООТиЗ. При этом 4 степень – самая сложная и напряженная работа, соответственно, 3, 2, 1 – менее напряженная и сложная работа.

На основе табл. 1 составим таблицу коэффициентов для расчета надбавки за сложность и напряженность работы (табл. 2). При этом стоит учесть, что один специалист может заниматься не одним уровнем сложности, и задачи могут быть разного уровня сложности.

Таблица 2

Коэффициенты для расчета надбавки за сложность и напряженность работы

Условие	Коэффициент
Большинство основных выполняемых задач (60 % и более)	
Уровень сложности 1	0,10
Уровень сложности 2	0,15
Уровень сложности 3	0,17
Уровень сложности 4	0,20
Неосновные (дополнительные) задачи (от 25 до 40 %)	
Дополнительные задачи ниже уровня основных задач	0,9
Дополнительные задачи ниже уровня основных задач	1,1
Основные задачи составляют больше 75 %	1

Как видно из табл. 2, максимальная надбавка за сложность и напряженность работы – 20 % от оклада, наименьшая – 10 %. Исходя из табл. 2, сформулируем формулу расчета надбавки за сложность и напряженность работы:

$$N = OK_oK_d,$$

где N – размер ежемесячной надбавки за сложность и напряженность работы, руб; O – оклад работника, руб; K_o – коэффициент основных выполняемых задач; K_d – коэффициент дополнительных выполняемых задач.

Результаты расчетов размера надбавки за сложность и напряженность работы работникам ООТиЗ с использованием предложенных выше коэффициентов и на основании формулы показаны в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты расчета размера надбавки за сложность
и напряженность работы работникам ООТиЗ**

Должность	О, руб.	K_o	K_d	N , руб.
Ведущий экономист по труду	486,05	0,2	1	97,21
Экономист по труду 1 категории	431,83	0,17	0,9	66,06
Экономист по труду 1 категории	431,83	0,17	1,1	80,75
Экономист по труду 2 категории	418,12	0,10	1,1	45,94
<i>Итого</i>	1767,83	–	–	289,96

Итак, суммарный размер надбавки за сложность и напряженность работы в ООТиЗ составит 289,96 руб. за месяц.

Рассчитаем годовой экономический эффект от мероприятия и запишем результаты в табл. 4.

Таблица 4

Расчет годового экономического эффекта от внедрения мероприятия

Размер надбавки до мероприятия за год, руб.	Размер надбавки после мероприятия за год, руб.
$1767,83 \cdot 0,2 \cdot 12 = 4242,79$	$289,96 \cdot 12 = 3479,52$
Годовой экономический эффект, руб.	
$4242,79 - 3479,52 = 763,27$	

Таким образом, из табл. 4 видно, что при проведении мероприятия по дифференциации размера надбавки работникам ООТиЗ за сложность и напряженность работы были получены следующие результаты: стимулирование работников ООТиЗ к более сложной и напряженной работе и годовой экономический эффект, равный 763,27 руб. за счет перераспределения данной надбавки внутри отдела.

Гибкая организация труда, самоорганизация работников на предприятии, их сознательное участие не только в производственном процессе, но и в управлении производством становится отправной точкой создания систем управления человеческими ресурсами, в которых система материального стимулирования труда персонала предприятия занимает важное место.

УДК 332.1

НЕГАТИВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

И. В. Рачкова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрены основные проблемные вопросы социально-экономического развития Гомельской области. Предложены меры по устранению негативных тенденций социально-экономического развития.

Ключевые слова: валовый региональный продукт, инвестиции, малое предпринимательство, население, социально-экономическое развитие.

NEGATIVE TRENDS OF SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE GOMEL REGION

I. V. Rachkova

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

This article discusses the main problematic issues of the socio-economic development of the Gomel region. Proposed measures to eliminate negative trends in socio-economic development.

Keywords: gross regional product, investment, small business, population, socio-economic development.

Ситуация, складывающаяся в настоящее время в экономике Беларуси, и необходимость ее структурной перестройки требуют определения «точек роста», позволяющих реализовать приоритеты, направления и задачи устойчивого развития страны и ее регионов. В этой связи актуальным является рассмотрение отрицательных тенденций социально-экономического развития Гомельской области с точки зрения снижения негативных последствий, влияющих на развитие области.

Отрицательные тенденции социально-экономического развития Гомельской области:

1. Отставание темпов роста производительности труда от темпов роста реальной заработной платы.

Темп роста производительности труда по валовому региональному продукту (ВРП) за 2021 г. составил 103,3 % к уровню 2020 г., тогда как темп роста реальной заработной платы (без микро- и малых организаций без ведомственной подчиненности) – 105,9 % (рис. 1).

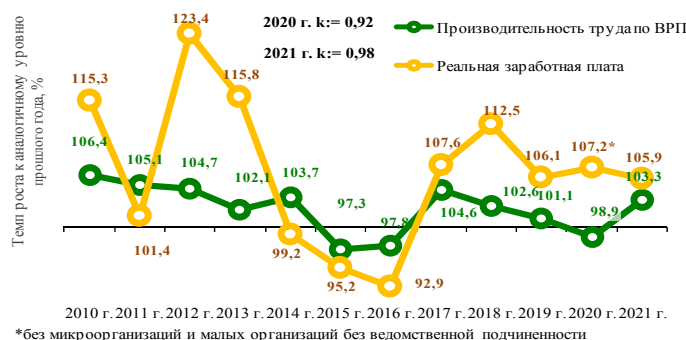


Рис. 1. Динамика производительности труда по валовому региональному продукту и реальной заработной платы

2. Ухудшение результатов внешнеэкономической деятельности области.

В 2021 г. сальдо внешней торговли товарами образовалось отрицательным – «–» 237,4 млн долл. США, в 2020 г. – «+» 380,2 млн долл. США (основная причина – превышение темпа роста импорта товаров – 193,2 %, над темпом роста экспорта товаров – 152,2 %). Сальдо внешней торговли услугами за этот же период сократилось на 66,4 млн долл. США и составило 159,1 млн долл. США (за счет сокращения экспорта услуг на 4,2 % и увеличения импорта услуг на 64,1 %).

3. Снижение объемов сельскохозяйственного производства.

В 2021 г. производство продукции сельского хозяйства в сельскохозяйственных организациях снизилось в сопоставимых ценах на 10,2 % (по республике – на 6,4 %) (рис. 2).

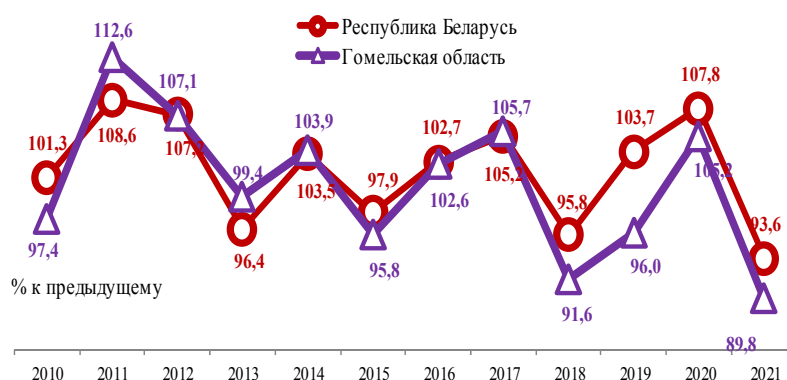


Рис. 2. Производство сельскохозяйственной продукции в сельскохозяйственных организациях

Сложившая динамика обусловлена сокращением производства продукции животноводства и снижением показателей в растениеводстве.

4. Сокращение инвестиционной активности в области.

В 2021 г. объем инвестиций в основной капитал в сопоставимых ценах по области сократился на 8,4 % по отношению к 2020 г. (по республике – на 8,1 %), что обусловлено сокращением строительно-монтажных работ на 15 % (удельный вес в общем объеме инвестиций в основной капитал – 56,9 %). Спад инвестиционной активности связан с завершающей стадией реализации крупнейших инвестиционных проектов области (на ОАО «Мозырский НПЗ» и Петриковский ГОК (ОАО «Беларускалий»)).

5. Недостаточное развитие сектора малого предпринимательства.

За 2011–2020 гг. при увеличении количества микро- и малых организаций в области на 18,1 % (по республике – на 29,7 %) средняя численность работников сократилась на 2,8 % (по республике – рост на 0,1 %). Удельный вес организаций сектора малого предпринимательства области в республиканских показателях (выручка от реализации продукции (товаров, работ, услуг), средняя численность работников, объем производства продукции (работ, услуг)) существенно не изменился. Вклад малого предпринимательства в региональные показатели вырос незначительно (рис. 3).

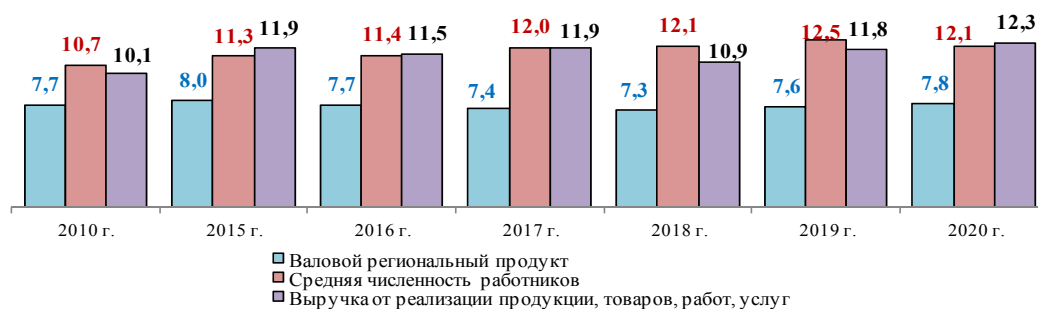


Рис. 3. Удельный вес микроорганизаций и малых организаций Гомельской области в основных показателях развития региона

6. Сокращение численности занятого населения.

В 2021 г. численность занятого в экономике населения области составила 579,5 тыс. человек, или 99,4 % к концу 2020 г. (рис. 4).

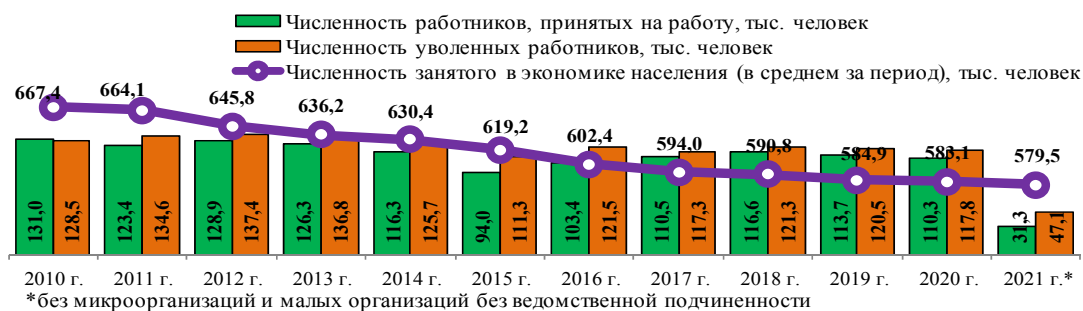


Рис. 4. Динамика параметров рынка труда Гомельской области

7. Сокращение численности населения.

С 2010 по 2020 г. население области сократилось на 56,4 тыс. человек, или на 3,9 %. Численность населения к республиканскому уровню сократилась с 15,1 % в 2010 г. до 14,7 % в 2020 г.

Таким образом, мы рассмотрели основные проблемные вопросы социально-экономического развития Гомельской области.

Отрицательными моментами социально-экономического развития Гомельской области являются: сокращение объемов сельскохозяйственного производства; спад инвестиционной активности региона, вызванный сокращением объема инвестиций в крупнейшие инвестиционные проекты области; сохраняется тенденция снижения численности населения, занятого в экономике.

Для сокращения отрицательных тенденций предлагаем:

- в целях стимулирования привлечения инвестиций провести мониторинг неиспользуемых площадей, объектов недвижимости для вовлечения их в хозяйственный оборот;
- своевременное выявление причин нарушения сроков реализации инвестиционных проектов, с дальнейшей выработкой управленческих решений для их устранения;
- стимулировать развитие малого предпринимательства, в особенности в сельскохозяйственных районах, в целях увеличения занятости населения;

– усилить социальную защиту населения, в целях недопущения сокращения потребительского спроса на фоне замедления темпов роста реальной заработной платы и др.

Литература

1. Регионы Республики Беларусь 2021 год / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/920/iaf6y7uv9m8cj9aolkt4sq5s9nxatlmr.pdf/>. – Дата доступа: 20.09.2022.

УДК 321.01.10.02.19

**О РОЛИ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЙ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА**

С. П. Кацубо

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрена роль законодательства в области инновационной деятельности, основные направления его совершенствования для решения целей и задач инновационной политики государства.

Ключевые слова: инновационная политика, законодательство, направления инновационной деятельности в области машиностроения.

**ABOUT THE ROLE OF LEGISLATION IN IMPROVING INNOVATIVE
DEVELOPMENT AND TRANSFORMING PRODUCTIVE POTENTIAL**

S. P. Katsubo

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The article discusses the role of legislation in the field of innovation activities, the main directions of its improvement to solve the goals and objectives of the state innovation policy.

Keywords: innovation policy, legislation, directions of innovation activity in the field of mechanical engineering.

Состояние инновационной деятельности в любом государстве является важнейшим индикатором развития общества и его экономики.

Учитывая актуальность инноваций для достижения социально-экономических целей, вопросы активизации инновационной деятельности определены как один из приоритетов развития Республики Беларусь.

В связи с этим важнейшей социально-экономической задачей республики в настоящее время является повышение эффективности использования научных разработок в производстве.

Формирование и реализация инновационной политики предусматривает создание системы, способствующей развитию научно-технического потенциала республики, продвижению результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в реальный сектор экономики.

Основной целью инновационной политики республики является повышение технологического уровня и конкурентоспособности производства.

Инновационная политика в любом государстве, независимо от его экономической мощи, направлена на развитие научно-технического потенциала, обновление существующих и создание новых технологий в различных отраслях, а также создание системы коммерциализации научных разработок.

Основными задачами государства в сфере инновационной политики являются: формирование нормативной правовой базы инновационной деятельности, стимулирующей ее активность; финансовая поддержка инновационной деятельности, создание условий для сохранения и умножения инновационного потенциала республики; формирование и содействие развитию инновационной инфраструктуры; подготовка кадров, ориентированных на инновационную деятельность.

Эффективное законодательство в этом играет ключевую роль. В Республике Беларусь ведется активная работа по формированию действенной нормативно-правовой базы инновационного развития. Данная сфера настолько важна, что можно вести речь о необходимости ускоренного формирования отдельного направления права Республики Беларусь – законодательства в сфере науки и инноваций.

Крупный блок вопросов предстоит решить в сфере законодательного обеспечения совершенствования программно-целевых методов управления научно-техническим развитием страны.

Учеными разработаны научно-технические прогнозы и поэтапные государственные программы до 2035 г. Однако нужны законы, четко регламентирующие процедуру согласования новых приоритетов, планов и научно-инновационных программ и проектов, направленных на их реализацию. Создание правовой среды для осуществления инновационных проектов – ключевая задача, которая в существующих условиях становится первоочередной.

Следует отметить, что нормативная правовая база, регулирующая инновационную деятельность, системно совершенствуется. Правовое обеспечение инновационной деятельности основано на ряде нормативных правовых актов (законы Республики Беларусь: от 19 января 1993 г. «Об основах государственной научно-технической политики»; от 21 октября 1996 г. «О научной деятельности»; ряд нормативных правовых актов Главы государства: декрет Президента Республики Беларусь от 21 декабря 2017 г. № 8 «О развитии цифровой экономики»; Указ Президента Республики Беларусь от 27 мая 2019 г. № 197 «О научной, научно-технической и инновационной деятельности»; Указ Президента Республики Беларусь от 15 сентября 2021 г. № 348 «О Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг.»; Указ Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 г.»; Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 12 августа 2010 г. № 1196 «О некоторых вопросах регулирования научной, научно-технической и инновационной деятельности», утвердившее: положение о порядке разработки, финансирования и выполнения государственных программ научных исследований; Положение о порядке организации и проведения государственной научной экспертизы; Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 15 декабря 2021 г. № 722 «О комплексе мероприятий по развитию национальной инновационной системы на 2021–2025 гг.» и др.

Государство оказывает максимальную поддержку инициативам по созданию научно-технических (технологических) парков, инновационных центров, центров трансфера технологий, бизнес-инкубаторов (субъектов инновационной инфраструктуры), призванных координировать работу участников инновационной деятельно-

сти. В качестве основных задач инвестиционного развития ставятся: активная государственная поддержка изобретательства, рационализаторства и инженерно-технического творчества, развитие национальной системы интеллектуальной собственности и ее инфраструктуры, повышение роли и престижа «креативного класса» (ученых, разработчиков, изобретателей, рационализаторов и новаторов).

Эффективность научно-инновационной деятельности самым тесным образом связана с выставочной деятельностью, с участием белорусских производителей в различных международных информационных сетях и организациях. Без государственной поддержки решить эти проблемы невозможно. Поддерживается лизинг дорогостоящего и уникального оборудования.

Огромное значение в республике имеет организация четко работающей системы подготовки кадров для работы в новых экономических условиях. Не обладая соответствующими знаниями и опытом, в условиях жесткой конкуренции добиться успеха в инновационном бизнесе крайне сложно.

Перечисленные направления оказывают содействие созданию благоприятной экономической среды, необходимой для успешной работы.

Главным направлением преобразований производственного потенциала Республики Беларусь должно стать внедрение новых и высоких технологий, обладающих наибольшей добавленной стоимостью, низкой энерго- и материалоемкостью, способствующих созданию новых видов товаров и услуг, новейших экологически безопасных (чистых) материалов и продуктов, обеспечивающих производство традиционных товаров и услуг с новыми свойствами и параметрами, недостижимыми в рамках предыдущих технологических укладов.

Указом Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг.» в области машиностроения, машиностроительных технологий, приборостроения и инновационных материалов обозначены задачи создания производственных автоматизированных комплексов; электрических и беспилотных транспортных средств; лазерного, плазменного, оптического оборудования; микро-, опто- и СВЧ-электроники, фотоники, микросенсорики; наноматериалов и нанотехнологий и т. д.

Развитие указанных направлений и решение поставленных задач предполагается обеспечить путем интеграции организаций НАН Беларуси, учреждений высшей школы, промышленных предприятий путем реализации государственными заказчиками масштабных инновационных проектов.

В этой связи основная цель совершенствования системы нормативного правового регулирования инновационной деятельности – создание благоприятной для инновационной деятельности институционально-правовой среды.

Задачей является создание системы законодательства, комплексно и на основе единых принципов регулирующей отношения, возникающие при осуществлении инновационной деятельности; совершенствование механизмов финансирования и поддержки инновационного развития; организация в Республике Беларусь венчурной деятельности, в том числе формирование эффективного механизма венчурного финансирования и привлечения средств частного капитала для финансирования инновационных проектов.

УДК 659.19

**МЕТОДИКА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ САЙТА ПРЕДПРИЯТИЙ
МАШИНОСТРОЕНИЯ****Л. Л. Соловьёва, А. М. Гудеева***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Продвижение предприятий сферы В2В имеет свои особенности по сравнению с рынком В2С. На первом месте идет личная продажа, а не реклама. Рассмотрены особенности потребителей рынка В2В с точки зрения обработки информационного обращения. В современных условиях развития информационных технологий предприятия машиностроения могут активизировать рекламную деятельность через развитие сайта. Представлена авторская методика анализа и развития сайта предприятия. Создан макет «идеального сайта». Он содержит 8 обязательных вкладок. Методика оценивает существующий сайт на соответствие «идеалу» по 3-балльной шкале. Вкладки имеют свой коэффициент значимости. Методика апробирована на примере сайта ЗАО «Ремеза». Авторами разработаны рекомендации по развитию сайта. Особое значение придается вкладке «Окно дилера», которая позволит упростить процесс поиска дилеров на разных рынках.

Ключевые слова: В2В, сайт, методика, вкладки, балл.

**METHODS OF IMPROVING THE WEBSITE OF MACHINE-BUILDING
ENTERPRISES****L. L. Solovyova, A. M. Gudeeva***Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

The promotion of B2B enterprises has its own characteristics in comparison with the B2C market. Personal sales are put first, not advertising. The article discusses the features of consumers of the B2B market from the point of view of processing information circulation. In modern conditions of information technology development, mechanical engineering enterprises can activate advertising activities through the development of a website. The paper presents the author's methodology for the analysis and development of the company's website. The authors created a layout of the "ideal site". It contains 8 required tabs. The methodology evaluates the existing site for compliance with the "ideal" on a 3-point scale. Tabs have their own significance coefficient. The methodology was tested on the example of the website of CJSC "Remeza". The authors have developed recommendations for the development of the site. Special importance is attached to the "Dealer Window" tab, which will simplify the process of finding dealers in different markets.

Keywords: B2B, website, methodology, tabs, score.

Продвижение является одним из элементов комплекса маркетинга, формируемых предприятием. Под продвижением понимается целенаправленная деятельность по информированию потребителя о компании и ее продукции [1, с. 270]. Классический комплекс продвижения состоит из 4 элементов: рекламы, стимулирования сбыта, PR, личной продажи. Значимость данных элементов различна для предприятий, работающих на рынках В2В и В2С. Для предприятий сферы В2С главным элементом является реклама, для предприятий В2В личная продажа.

Охарактеризуем особенности потребителей рынка В2В, на которых будет направленно информационное сообщение:

1. Численность целевой аудитории значительно меньше, чем на рынке В2С. Например, количество предприятий в Гомельской области, закупающих сырое молоко, всего 7. В то время как потенциальные потребители переработанной молочной

продукции – все жители Гомельской области (1,375 млн человек) [2, с. 30]. Поэтому потери в охвате потребителей в 50 % для рынка B2C могут быть несущественным, а для B2B – критичны.

2. Лиц, принимающих решение, несколько, в то время как на рынке B2C потребитель самостоятельно может принимать решения или по совету семьи, друзей или продавца.

3. Процесс закупки носит длительный характер.

4. Больше внимание потребитель B2B обращает на технические характеристики, требования технических условий, условия упаковки, доставки, цены. Конечный потребитель свой выбор делает на эмоциях, мнениях окружающих.

5. B2B-сегмент особо ценит профессиональные знания, компетенцию и высокое положение в отрасли. Широкая аудитория ищет выгодные предложения (скидки, бонусы и прочее).

Поэтому для повышения эффективности политики продвижения предприятий рынка B2B в первую очередь надо обратить внимание на целевую аудиторию – работников отдела снабжения предприятий-потребителей, которые в поисках поставщиков изучают коммерческие издания, в том числе и интернет-источники. В то же время они являются пользователями социальных сетей (это возможность для таргетированной рекламы). Но все же важным интернет-ресурсом для доведения информации до потребителя является сайт предприятия.

Рассмотрим политику продвижения предприятия машиностроения на примере ЗАО «Ремеза». Политика продвижения предприятия состоит из комплекса действий, направленных на улучшение имиджа компании, информирование потенциальных потребителей о товаре и увеличение его продаж. Предприятие для себя определило следующие главные элементы: личные продажи (процедуры работников отдела сбыта), официальный сайт в Интернете, участие в различных выставках, сувенирная продукция.

Данная компания имеет сайт в интернете: www.remeza.com [3].

Для анализа сайта и разработки его наиболее эффективного варианта авторами была разработана следующая методика. Создан макет «идеального сайта». Данный макет содержит следующие вкладки:

– вкладка «Главная страница» должна включать в себя всю информацию с гиперссылками, представленную на сайте в сжатом варианте;

– вкладка «О компании» («Предприятие») должна содержать информацию о компании, ее деятельность, возможно, отрасль;

– вкладка «Продукция» («Каталог» и прочее) содержит всю необходимую информацию для клиента о продукции и услугах, которые предлагает предприятие. Макет изделия может быть представлен в 3D-формате;

– вкладка «Производство» рассказывает о технологиях компании, оборудовании, инновациях в отрасли, которых достигло предприятие;

– вкладка «Карьера» вкладка отражает заинтересованность компании в новых сотрудниках. Поэтому в ней должны быть описаны вакансии компании, требования к потенциальным сотрудникам, электронная доска почета.

– вкладка «Партнерам» может делиться на вкладки «Инвестора» и «Дилеры». Она включает в себя информацию, полезную для любых партнеров. Особым статусом должна обладать вкладка «окна продаж» для дилеров;

– вкладка «Новости» дает посетителю сайта увидеть, что компании постоянно развивается, растет;

– контактные данные необходимы для связи потребителя с предприятием, поэтому должны быть описаны все аспекты для комфортного общения обеих сторон.

Несмотря на то что все вкладки значимы, их можно подразделить на вкладки первой необходимости (которые закрыть/убрать нельзя: главная страница, о компании, продукция, контакты) и вкладки второй необходимости (которые должны находиться в отдельных вкладках, но могут находиться на вкладках первой необходимости).

Вкладки имеют свой коэффициент (k). Вкладкам первой необходимости присваивается коэффициент 2. Вкладкам второй необходимости – 1.

Каждая вкладка предназначена для определенной информации, которая подлежит оценке.

Критерии оцениваются по 3-балльной системе: 0 – информация о показателе отсутствует на сайте; 1 – есть упоминание на сайте, однако информации недостаточно для понимания компании; 2 – информации достаточно для понимания компании; 3 – имеется развернутое описание о показателе.

По результатам анализа сайта ЗАО «Ремеза» были сформулированы следующие предложения:

1. На главной странице необходимо дополнить информацию о компании, о партнерах. Рассказать о производстве. Добавить описание рабочих мест.

2. Во вкладке «О компании» есть описание производственной сферы предприятия. Стоит дополнить информацию и внести ее в отдельную вкладку.

3. Корректировка вкладки «Каталог» по желанию предприятия.

4. Рекомендуется создать вкладку «Карьера», добавить информацию о должностях компании, вакансиях, которые требуются, указать контактные данные отдела кадров и т. д. Наличие вкладки «Карьера» зародит уважение и доверие к компании благодаря честности и открытости со стороны компании.

5. Так как компания по форме закрытое акционерное общество, то свои акции выпускаются ограниченному количеству лиц, которые уже существуют. Поэтому во вкладке «Инвесторам» можно указать данную информацию (о наличии акций, сколько выпущено, отчет по акциям за год).

6. Вкладка «Новости» находится во вкладке «О компании» (стоит вынести на отдельную вкладку). Обновлять информацию чаще. Для предприятия тяжелой промышленности обновление новостей может быть не частой, однако регулярной (возможно раз в месяц/несколько месяцев). Критерий предприятие выставляет свое, его можно будет проследить по датам опубликования.

7. Создать во вкладке «Дилерам» «окно продаж». Специфика «окна продаж» заключается в автоматическом открытии набора определенных вкладок для обслуживания клиента. Так как ЗАО «Ремеза» продает свою продукцию с помощью дилеров, «окно продаж» можно оформить следующим образом. На официальном сайте предприятия на вкладке «Дилеры» сбоку будет высвечиваться специальное окно с данными: организация, имя обращаемого человека, электронная почта для связи с ним, страна, в которой хочет осуществлять дилерскую деятельность, сообщение (обращение), которое после заполнения будет отправлено сотруднику из коммерческой службы предприятия. Сотрудник, обработав информацию, сможет понять, стоит ли сотрудничать с данным человеком (организацией) для успешного продвижения продукции или нет.

Предложенные рекомендации позволят повысить качество сайта и обеспечить его информационную и коммуникативную эффективность, что важно в политике продвижения сферы B2B.

Литература

1. Романов А. А. Маркетинг : учеб. пособие / А. А. Романов, В. П. Басенко, Б. М. Жуков. – М. : Дашков и К°, 2012. – 440 с.
2. Республика Беларусь, 2021 : стат. ежегодник / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь ; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – 2021. – 407 с.
3. Официальный сайт ЗАО «Ремеза». – Режим доступа: <https://www.remeza.com/>. – Дата доступа: 23.08.2022.

УДК 657.622

**РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ АНАЛИЗА
ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ СУБЪЕКТА ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ**

Е. П. Пономаренко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Для проведения различия между понятиями «платежеспособность» и «финансовое состояние организации» уточнена сущность последнего, определены направления его анализа и соответствующие им группы показателей.

Ключевые слова: анализ, капитал, платежеспособность, управление, финансовое состояние.

**DEVELOPMENT OF THEORETICAL ASPECTS OF ANALYSIS
OF FINANCIAL CONDITION OF BUSINESS ENTITY**

E. P. Ponomarenko

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

To distinguish between the concepts of “solvency” and “financial condition of the organization” the essence of the latter was clarified, the directions of its analysis and the corresponding groups of indicators were determined.

Keywords: analysis, capital, solvency, management, financial condition.

Основой существования и развития коммерческой организации является ее текущая и перспективная платежеспособность, которая обеспечивается путем поддержания устойчивого финансового состояния. В условиях экономической и финансовой нестабильности актуальными становятся задачи повышения эффективности системы управления финансовым состоянием субъекта хозяйствования. Значимую роль в их решении играет развитие методик анализа финансового состояния, в частности, приведение их в соответствие с меняющимися информационными запросами системы финансового менеджмента.

Методологические основы оценки финансового состояния в Республике Беларусь установлены Инструкцией о порядке расчета коэффициентов платежеспособности и проведения анализа финансового состояния и платежеспособности субъектов хозяйствования (далее – Инструкция № 140/206) [1]. Утвержденная методика анализа ориентирована на получение информации, необходимой для подготовки экспертных заключений о финансовом состоянии и платежеспособности организаций в рамках рассмотрения дел об экономической несостоятельности (банкротстве), находящихся в производстве экономических судов. Однако она не в полной мере отвечает требованиям системы управления по нескольким параметрам. Во-первых, данная методика

анализа не позволяет получить итоговую оценку финансового состояния организаций (устойчивое, неустойчивое, кризисное). Во-вторых, не дает возможности оценить степень финансовой устойчивости и отследить ее изменение в динамике.

В настоящее время учеными и экономистами значительное внимание уделяется разработке методик обобщающей (комплексной) оценки финансового состояния субъекта хозяйствования. Большинство из них отдают предпочтение методикам, основанным на расчете интегральных показателей с применением скоринговых и дискриминантных моделей, нелинейных моделей бинарного выбора [2]. Определяющим условием при построении таких моделей является выбор показателей, которые наиболее полно и всесторонне охватывали бы все аспекты финансового состояния организации и при этом не дублировали друг друга. Выполнение второй части условия успешно достигается путем выявления тесноты связи показателей по результатам проведенного корреляционного анализа. В части определения значимых показателей оценки финансового состояния авторы, как правило, полагаются на свое профессиональное суждение.

По нашему мнению, при выборе показателей оценки финансового состояния следует исходить из сущности и содержания этой экономической категории. Целью настоящего исследования является уточнение сущности финансового состояния и обоснование системы показателей, характеризующих его отдельные стороны.

Обзор литературных источников по теме исследования [2–5] позволяет свести многообразие трактовок финансового состояния к нескольким основным: 1) это способность субъекта хозяйствования финансировать свою деятельность; 2) характеризуется размещением и использованием средств и источниками их формирования; 3) обеспеченность организации денежными средствами для осуществления хозяйственной деятельности; 4) состояние капитала в процессе его кругооборота и способность хозяйствующего субъекта финансировать свою деятельность. Финансовое состояние коммерческой организации формируется в процессе кругооборота капитала и проявляется в ее платежеспособности. По нашему мнению, наиболее точно его сущность характеризует определение на основе категории «капитал». Считаю целесообразным уточнить данное определение и сформулировать его следующим образом: это состояние капитала субъекта хозяйствования в процессе кругооборота, определяющее способность обеспечить финансирование его деятельности. Данная трактовка устанавливает четкую зависимость платежеспособности организации от того, насколько рационально размещен ее капитал в активах и как он используется в процессе хозяйственной деятельности.

Оборот капитала в промышленной организации заключается в прохождении его по трем стадиям, на каждой из которых он принимает конкретную функциональную форму (денежную, производственную, товарную). При этом происходит изменение его состава, структуры и величины. Последнее определяется получением прибыли или убытка по завершении оборота капитала, приводит к изменению структуры источников его формирования. Полагаем, что состояние капитала характеризуется тем, какими видами активов он представлен и за счет каких источников они сформированы, как сбалансированы активы и источники их создания по срокам, как быстро он оборачивается, а также уровнем его доходности. Это позволило нам выделить несколько направлений оценки капитала и соответствующие им статические и динамические показатели (рис. 1).

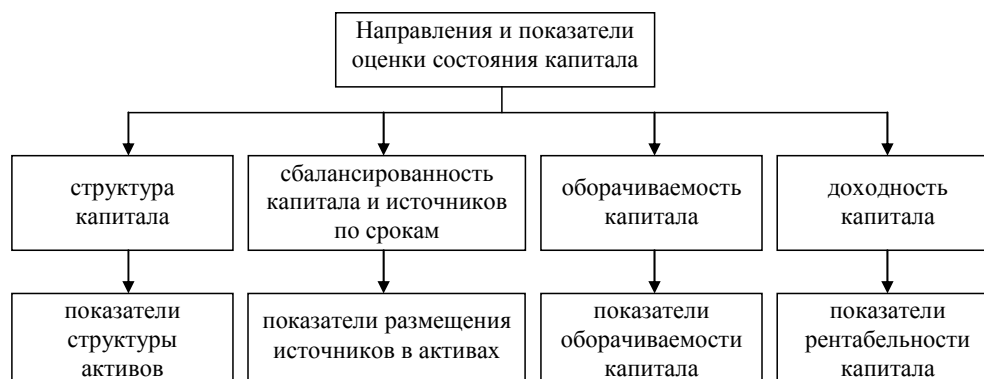


Рис. 1. Направления оценки состояния капитала и статистические и динамические показатели

Состояние капитала в процессе его кругооборота и как следствие платежеспособность организации зависит от структуры активов по срокам их оборачиваемости, по степени их ликвидности и по наличию прав на них со стороны собственника (учредителей) и кредиторов. Платежеспособность может быть оценена путем расчета коэффициента соотношения краткосрочных и долгосрочных активов, долей высоколиквидных, быстрореализуемых и медленно реализуемых активов в общей сумме активов, путем расчета коэффициента финансовой независимости, коэффициента капитализации.

Немаловажную роль для обеспечения устойчивости финансового состояния имеет сбалансированность капитала и источников его формирования по срокам (финансовое равновесие), которая предполагает, что активы должны быть сформированы за счет источников, срок погашения которых соответствует сроку использования этих активов. При этом часть краткосрочных активов должна быть образована за счет собственного капитала, о чем свидетельствует положительная величина собственных оборотных средств. К числу показателей размещения источников в активах относятся: удельные веса заемного капитала в формировании долгосрочных и краткосрочных активов, коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами.

Оборачиваемость капитала определяется скоростью прохождения капитала по стадиям кругооборота и возврата его к денежной форме. Она может быть измерена как обобщающими показателями скорости оборота (коэффициент общей оборачиваемости капитала, коэффициент оборачиваемости краткосрочных активов), так и частными (например, коэффициент оборачиваемости запасов готовой продукции).

Эффективное использование капитала в деятельности организации предполагает возврат его к исходной форме с приростом в виде прибыли, которая служит источником пополнения собственного капитала и обеспечивает укрепление финансового состояния. Следовательно, доходность капитала целесообразно оценивать по показателям рентабельности капитала и его отдельных частей.

Таким образом, предложенное нами уточнение определения финансового состояния предприятия позволило обозначить причинно-следственную связь между состоянием капитала в процессе его оборота и платежеспособностью субъекта хозяйствования, а также обосновать систему показателей, охватывающую различные стороны финансового состояния организации и в полной мере соответствующую логике Инструкции № 140/206. Данная система показателей может быть использована при формировании моделей интегральной оценки финансового состояния организации, что даст возможность получить более точную итоговую оценку финансового состояния и повысить эффективность управленческих решений.

Литература

1. Инструкция о порядке расчета коэффициентов платежеспособности и проведения анализа финансового состояния и платежеспособности субъектов хозяйствования : утв. постановлением М-ва финансов Респ. Беларусь и М-ва экономики Респ. Беларусь 27.12.2011. – Минск, 2022.
2. Савицкая, Г. В. Экономический анализ : учебник / Г. В. Савицкая. – М. : ИНФРА-М, 2017. – 649 с.
3. Любушин, Н. П. Экономический анализ : учебник для вузов / Н. П. Любушин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2017. – 575 с.
4. Селезнева, Н. Н. Финансовый анализ. Управление финансами : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Селезнева, А. Ф. Ионова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2017. – 639 с.
5. Экономика и право : словарь-справочник / сост.: Л. П. Кураков, В. Л. Кураков, А. Л. Кураков. – М. : Вуз и школа, 2004. – 1072 с.

UDC 338.5

POSSIBILITIES OF MARGINAL COSTING AS ONE OF THE COST MANAGEMENT TOOLS AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

T. G. Filchuk, O. A. Morakinyo

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The article deals with the theoretical foundations of marginal costing. The possibilities of this costing technique, which the enterprise receives in the field of economic and financial analysis, are determined. A set of indicators (contribution margin, break-even point, contribution margin ratio, margin of safety) is presented, which can be calculated by an enterprise if margin costing is used. The calculation of these indicators based on the data of OJSC "GZLiN" was carried out.

Keywords: marginal costing, contribution margin, contribution margin ratio, break-even point, margin of safety.

Costs determine the financial result of the enterprise, therefore, the amount of profit directly depends on the level of cost management efficiency. Effective cost management provides for the presence at the enterprise of appropriate organizational and methodological systems for ensuring this management, knowledge of the basic mechanisms for determining costs (techniques of costing), using modern methods for their analysis and planning.

Traditionally, domestic industrial enterprises use the standard costing as the main technique of costing. Standard costing refers to the preparation of standard costs and applying them to measure the variations from standard costs and analyzing the variations with a view to maintain maximum efficiency in production [1, p. 36].

At the same time, the management of the enterprise can use a number of other techniques of costing controlling costs and making managerial decisions. One such technique is marginal costing. It refers to the ascertainment of marginal costs by differentiating between fixed costs and variable costs and the effect on profit of the changes in volume or type of output. In this case, only the variable costs are charged to products or operations while fixed costs are charged to profit and loss account of the period in which they arise [1, p. 36].

Marginal costing, as one of the tools of management accounting helps management in making certain decisions. It provides management with information regarding the behavior of costs and the incidence of such costs on the profitability of an undertaking. Marginal costing is defined as "the ascertainment of marginal costs and of the effect on profit of changes in volume or type of output by differentiating between fixed costs and variable costs". Marginal costing is not a separate costing. It is only a technique used by account-

ants to aid management decision. This technique of costing is also known as “Variable Costing”, “Differential Costing” or “Out-of-pocket” costing [1, p. 321].

The use of this technique of costing enables the enterprise to obtain additional information after calculating the following indicators: contribution margin, break-even point, contribution margin ratio, margin of safety.

The contribution margin is the excess of sales over the variable costs of the product or service. It is the amount of money available to cover fixed costs and to generate profit. The contribution margin is a very valuable indicator when analyzing financial results. With its help, you can rank certain types of products and certain segments of the enterprise according to their level of profitability. It serves as the basis for determining the break-even sales volume for each type of product for the whole enterprise, as well as for substantiating the optimal variant of various management decisions.

The break-even point represents the level of sales revenue that equals the total of the variable and fixed costs for a given volume of output at a particular capacity use rate. Generally, the lower the break-even point, the higher the profit and the less the operating risk, other things being equal. The breakeven point formula is determined by dividing the total fixed costs associated with production by the revenue per individual unit minus the variable costs per unit.

The contribution margin ratio is the contribution margin as a percentage of sales.

The margin of safety is a measure of difference between the actual sales and the break-even sales. It is the amount by which sales revenue may drop before losses begin, and is expressed as a percentage of expected sales. The margin of safety is used as a measure of operating risk. The larger the ratio, the safer the situation since there is less risk of reaching the break-even point [2].

The calculation of the indicators presented above was carried out on the basis of data from an open joint-stock company “Gomel casting and normals plant” (OJSC “GZLiN”), located in the city of Gomel. Currently, OJSC “GZLiN” is a modern industrial organization with a fairly high potential, with sophisticated equipment and qualified personnel. The company carries out the following main activities: agricultural machinery production; production of castings from iron, steel and non-ferrous alloys; manufacture of mechanical fasteners (bolts, nuts, pins, rivets, axles, etc.); manufacturing of foundry equipment, non-standard equipment; production of cold heading tools, dies.

The above tab. 1 shows the sales, variable costs, fixed costs, total cost and profit of OJSC “GZLiN” from 2018–2020. The presented set of indicators makes it possible to calculate all the indicators discussed above.

Table 1

**The actual cost of production in OJSC “Gomel casting and normals plant”
for the 2018–2020, rubles**

Indicators	2018	% share	2019	% share	2020	% share
Marketable product (sales)	160959.3	100.0	147507.1	100.0	127257.4	100.0
Total input costs (variable costs)	79501.7	49.4	75093.8	50.9	67663.2	53.2
Fixed costs	61901.7	50.5	66649.56	45.2	52600.8	41.3
Costs of production and sales product (total costs)	141403.4	87.9	141743.6	96.1	120264.0	94.5

Ending of tab. 1

Indicators	2018	% share	2019	% share	2020	% share
Profits from marketable products (profit)	19555.9	12.1	5763.5	3.9	6993.4	5.5

Remark. Own development.

The data in tab. 1 make it possible to conduct a marginal analysis: calculate contribution margin, contribution margin ratio, break-even point, margin of safety (tab. 2).

Table 2

The procedure for calculating indicators

Indicators	Calculation		
	2018	2019	2020
Contribution margin	160959.3 – 79501.7	147507.1 – 75093.8	127257.1 – 67663.2
Contribution margin ratio	$\frac{160959.3 - 79501.7}{160959.3}$	$\frac{147507.1 - 75093.8}{147507.1}$	$\frac{127257.1 - 67663.2}{127257.1}$
Break-even point	$\frac{61901.7}{0.50607}$	$\frac{66649.56}{0.49091}$	$\frac{52600.8}{0.46829}$
Margin of safety	$\frac{160959.3 - 122318.45}{160959.3}$	$\frac{147507.1 - 135767.37}{147507.1}$	$\frac{127257.1 - 112325.27}{127257.1}$

Remark. Own development.

The calculation results are presented in tab. 3.

Table 3

Results of marginal analysis (according to OJSC “Gomel casting and normals plant”) for the 2018–2020

Indicators	Period			Deviation	
	2018	2019	2020	2019 related to 2018	2020 related to 2019
Contribution margin, thousand rubles	81457.6	72413.3	59594.2	–9044.3	–12819.1
Contribution margin ratio	0.506	0.491	0.468	–0.015	–0.023
Break-even point, thousand rubles	122318.45	135767.37	112325.27	13448.9	–2344.1
Margin of safety, %	24.01	7.96	11.73	–16.05	3.77

Remark. Own development.

The conducted marginal analysis showed that the contribution margin has been declining for three years, which is a negative trend; similar dynamics for contribution margin ratio; the break-even value of production (break-even point) is the best in 2020; the value of the margin of safety had a relatively normal value (24.01 %) only in 2018, in 2019 and 2020 the value of this indicator is in the critical zone.

The use of marginal analysis, the determination of the truncated cost of the variable part of the costs and the margin of coverage for each type of product allows you to more correctly determine the profitability of each product and its contribution to the generation of the total margin of coverage and profit of the enterprise compared to the traditional method of calculating the full cost of production. With a full calculation of the cost of production, as a rule, a significant distortion of its level is allowed due to the fact that it is very difficult to choose the right distribution base for overhead costs, as a result of which the cost of some types of products is clearly overestimated, while others are underestimated. Structural policy changes adopted on this basis may turn out to be erroneous; types of products that actually make a significant contribution to the total income of the enterprise can be removed from production.

References

1. Cost and management accounting: Executive programme. – Mode of access: <https://www.icsi.edu/media/webmodules/publications/2.%20CMA/>. – Date of access: 19.09.2022.
2. Financial Management: Theory and Practice (Book Only) 13th Edition by Eugene F. Brigham, Michael C. Ehrhardt. – 1186 p.

УДК 334.012.64

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ БИЗНЕС-СТРУКТУР В ГОСУДАРСТВЕ ЛИВИЯ

Р. А. А. Атниша, Н. В. Сычёва

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Приведены обоснованные авторами ключевые принципы и критерии эффективного функционирования и развития бизнес структур в государстве Ливия. Результаты исследования могут быть использованы органами государственного управления Ливии для разработки действенного организационно-экономического механизма функционирования предпринимательских структур и формирования экономической политики стимулирования развития бизнеса в стране.

Ключевые слова: бизнес-структуры, эффективность, конкурентоспособность, государственное регулирование, принципы развития.

BASIC PRINCIPLES AND CRITERIA FOR THE EFFECTIVE FUNCTIONING AND DEVELOPMENT OF BUSINESS STRUCTURES IN THE STATE OF LIBYA

R. A. A. Atnisha, N. V. Sycheva

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The article presents the key principles and criteria substantiated by the authors for the effective functioning and development of business structures in the state of Libya. The results of the study can be used by the government of Libya to develop an effective organizational and economic mechanism for the functioning of business structures and the formation of an economic policy to stimulate business development in the country.

Keywords: business structures, efficiency, competitiveness, government regulation, development principles.

Одним из главных направлений углубления экономических реформ в странах с переходной экономикой является поддержка развития предпринимательства и бизнес-структур различного масштаба и сфер деятельности. Это позволяет поддерживать необходимую конкурентную среду на отраслевых рынках, а также формировать условия для достижения социально-экономической стабильности общества на основе создания дополнительных рабочих мест, повышения уровня благосостояния населения и возможности более гибкого реагирования на изменения в потребительском поведении. Вместе с тем необходимым условием функционирования и развития бизнес-структур является эффективно функционирующий инструментарий поддержки предпринимательской деятельности. Возможность его создания и поддержания в работоспособном состоянии во многом определяется текущим положением государства, наличием и остротой экономических, социальных и политических проблем.

Следует отметить, что в современных условиях формирования инновационной экономической модели эффективное развитие субъектов малого и среднего бизнеса в Ливии происходит за счет непрерывного активного государственного регулирования, поскольку страна переживает период экономического спада и незатухающего военного конфликта. Обеспечение устойчивого развития национальной экономики Ливии и повышение конкурентоспособности национальных предприятий связаны с переходом к новой модели экономического развития по западному типу, которая включает высокую концентрацию знаний и технологий.

В настоящее время существует ряд проблем в целях обеспечения инновационного развития бизнес-структур в Ливии. Одна из них – отсутствие эффективного организационно-экономического механизма развития бизнеса. Его совершенствование должно обеспечить не только экономический рост хозяйствующих субъектов, но и усилить финансовую стабильность.

Было определено, что организационно-экономический механизм развития бизнес-структур – это совокупность организационных форм, экономических методов и рычагов воздействия на внешнюю и внутреннюю среду субъектов предпринимательства, которые направлены на повышение эффективности финансово-хозяйственной деятельности и создание благоприятных условий для развития бизнес-структур. Эффективное функционирование такого механизма обеспечивается выполнением ряда принципов, под которыми мы понимаем четкие правила и обоснованное использование мер влияния на установленные процессы (макро- и микроуровней) с целью решения определенных задач (повышения эффективности функционирования бизнес-структур).

На основе уже известных научных принципов работы экономических механизмов, существующих экономических, политических и социальных проблем государства Ливия, а также с учетом собственных взглядов нами была обоснована система принципов организационно-экономического механизма эффективного функционирования бизнес-структур в стране, в соответствии с которой выделены следующие основные группы:

1. Экономические принципы, включающие:

– ориентацию на рынок, подразумевающую стратегическую направленность на выявление потребностей и желаний потребителей с целью определения новых продуктов, которые необходимо разработать;

– максимизацию прибыли как ключевой фактор эффективности предпринимательской деятельности и главную цель создания и функционирования экономического субъекта;

– экономическую устойчивость, определяющую долгосрочность (выживаемость) экономического субъекта и означающую способность бизнес-структур адек-

ватно реагировать на изменения рыночной конъюнктуры при условии сохранения достигнутого уровня развития;

– конкурентоспособность – возможность производить и успешно реализовывать товары и услуги, имеющие спрос на рынке при оптимальном соотношении «цена–качество».

2. Организационные принципы, в том числе:

– добровольность, при которой бизнес-структуры создаются по инициативе собственника с целью достижения его социально-экономических целей;

– законность, что подразумевает безусловное и неукоснительное соблюдение требований законодательства, регламентирующего все аспекты функционирования бизнес-структур;

– независимость, которая рассматривается с точки зрения высокой степени самостоятельности руководителей бизнес-структур при формировании планов (программ) производства продукции (услуг), выборе рыночных сегментов, подборе персонала, а также при распределении ресурсов и использовании прибыли;

– эволюционность, означающая поэтапное развитие экономического субъекта с учетом целей, задач и достигнутых результатов функционирования.

3. Принципы социальной ответственности, к числу которых относятся:

– корпоративная ответственность, включающая в себя обязательства организации учитывать социальные потребности и проблемы своего персонала;

– экологическая ответственность, что подразумевает охрану окружающей среды, сокращение выбросов и снижение уровня отходов при производстве товаров и услуг;

– финансирование социальных проектов из прибыли означает активное участие в реализации волонтерских проектов, а также мероприятий, направленных на улучшение состояния местной инфраструктуры и т. д.

4. Технологические принципы, объединяющие:

– инновационность, которая ориентирует бизнес-структуры на производство продукции с высоким уровнем добавленной стоимости и наукоемкости, а также обеспечивает выполнение работ и принятие управленческих решений с учетом перспективных направлений и важнейших достижений науки и техники;

– ресурсосбережение, что предполагает стратегическую ориентацию на использование техники и технологий, позволяющих осуществлять производство продукции на принципах безотходности, с минимальным потреблением ресурсов, увеличением выпуска и сокращением величины производственного цикла.

В качестве одного из наиболее важных критериев работоспособности организационно-экономического механизма эффективного функционирования бизнес-структур в государстве Ливия целесообразно рассматривать состояние предпринимательской активности в стране и ее динамику [1, 2]. В этой связи предлагается система индикаторов (таблица), обоснованная с учетом методологии Глобального индекса предпринимательства (The Global Entrepreneurship Index – GEI), а также собственных взглядов.

Индикаторы предпринимательской активности

Индикаторы	Оценка
Социальные ценности и восприятие предпринимателей	Удачный выбор карьеры; высокий социальный статус; внимание СМИ к предпринимательству

Индикаторы	Оценка
Индивидуальные характеристики потенциального предпринимателя	Предпринимательские возможности; предпринимательские способности; предпринимательские намерения; страх провала
Индикаторы предпринимательской активности	Ранняя предпринимательская активность (ТЕА); устоявшийся бизнес; выход из бизнеса
Индикаторы специфических типов предпринимательской активности	Внутрифирменное предпринимательство (ЕЕА) Социальное предпринимательство (SEA)
Восприятие качества предпринимательской экосистемы	Экспертная оценка восприятия условий развития предпринимательства: – финансирование предпринимательства; – государственная политика; – государственные программы в области предпринимательства; – предпринимательское образование;
	– внедрение научно-технических разработок; – коммерческая и юридическая инфраструктура; – открытость рынков; – физическая инфраструктура; – культурные и социальные нормы

Таким образом, использование представленных принципов и критериев при формировании политики поддержки предпринимательской деятельности в государстве Ливии позволит обеспечить повышение эффективности функционирования бизнес-структур Ливии за счет создания благоприятного делового климата (режима доверия), формирования адаптивной законодательной базы, перераспределения ресурсного потенциала.

Л и т е р а т у р а

1. Орлова, Э. О. Предпринимательская активность и воздействие на нее со стороны государства (на материалах Республики Таджикистан) / Э. О. Орлова, Н. М. Ахмадбекова // Рос. предпринимательство. – 2017. – Т. 18, № 22. – С. 3507–3526.
2. Трабская, Ю. Экосистема как источник предпринимательских возможностей / Ю. Трабская, Т. Метс // Форсайт. Предпринимательские экосистемы (Науч. журн. Нац. исслед. ун-та «Высшая школа экономики»). – 2019. – Т. 13, № 4. – С. 10–22.

УДК 658

ФАКТОРЫ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Е. А. Морозова, М. Н. Андриянчикова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Оценена конкурентоспособность ОАО «СветлогорскХимволокно». В ее рамках были выявлены ключевые направления развития и реализации продукции предприятия в условиях ограниченных следующими факторами: невысокий уровень технического обеспечения и высокая стоимость сырья. Определены также главные конкуренты и их характеристики.

Ключевые слова: конкурентоспособность, предприятие, конкурентное преимущество, конкуренты, фактор, экспорт, продукция.

FACTORS OF COMPETITIVENESS OF THE ENTERPRISE IN MODERN CONDITIONS

E. A. Morozova, M. N. Andriyanchikova

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

This work evaluates the competitiveness of OAO SvetlogorskKhimvolokno. Within its framework, key directions for the development and sale of the company's products were identified in conditions limited by the following factors: low level of technical support and high cost of raw materials. The main competitors and their characteristics are also identified.

Keywords: competitiveness, enterprise, competitive advantage, competitors, factor, export, products.

Цель работы – определение факторов и уровня конкурентоспособности ОАО «СветлогорскХимволокно». Были использованы следующие методы исследования: изучение научной литературы, анализ отчетности предприятия и интернет-ресурсов.

Белорусские организации работают в рыночной среде, они должны постоянно осуществлять стратегические разработки, направленные на обеспечение лидирующих позиций в отрасли и повышение своей конкурентоспособности. Успех и лидерство в конкурентной экономике возможны в случае объективного изучения и оценки собственного потенциала и потенциала конкурентов.

Организации, которые лучше всего преуспевают в рыночных отношениях, являются наиболее конкурентоспособными. Будет ли организация лидером напрямую, зависит от ее способности предоставлять товары и услуги, точно отвечающие потребностям клиентов и рынка в целом.

Конкурентоспособность – это борьба за наиболее выгодные условия производства и сбыта товара за лидерство на рынке.

Современные организации функционируют в сложной бизнес-среде. Эта среда часто оказывается нестабильной, враждебной, непредсказуемой по следующим причинам: новые технологии и рыночные возможности возникают в результате развития науки и техники. Эта ситуация подчеркивает важность способности организации получать и поддерживать конкурентное преимущество в долгосрочной перспективе.

ОАО «СветлогорскХимволокно» специализируется на выпуске полиэфирных текстильных нитей, нетканых материалов (спанбела, акваспана, дублированного нетканого материала, иглопробивного, объемного полотна), углеродных волокнистых материалов, арселеновой продукции (нитей, тканей, волокон), полипропиленовой продукции (нитей, тканей, мешков, биг-бегов, контейнеров специализированных (вагонных вкладышей), шпагата), трикотажных полотен и т. д.

В сегментах потребления химических волокон наиболее жесткая конкуренция наблюдается со стороны азиатских производителей. Так, доля Китая составляет 73 % мирового производства химических волокон, Индии – 7 %, а США – 3 % (рис. 1) [1]. В основном все крупные производители являются крупнейшими холдингами, применяющими прямой метод формования – поликонденсацию, вертикальную интеграцию производства, начиная от добычи и переработки нефти и газа, заканчивая производством полиэфирных текстильных нитей, полиэфирного волокна, полотен, одежды. Кроме того, повышению конкурентоспособности нитей по ценовому фактору благоприятствуют государственные программы поддержки и развития текстильной отрасли и экспорта, что дает им несравнимые конкурентные преимущества.

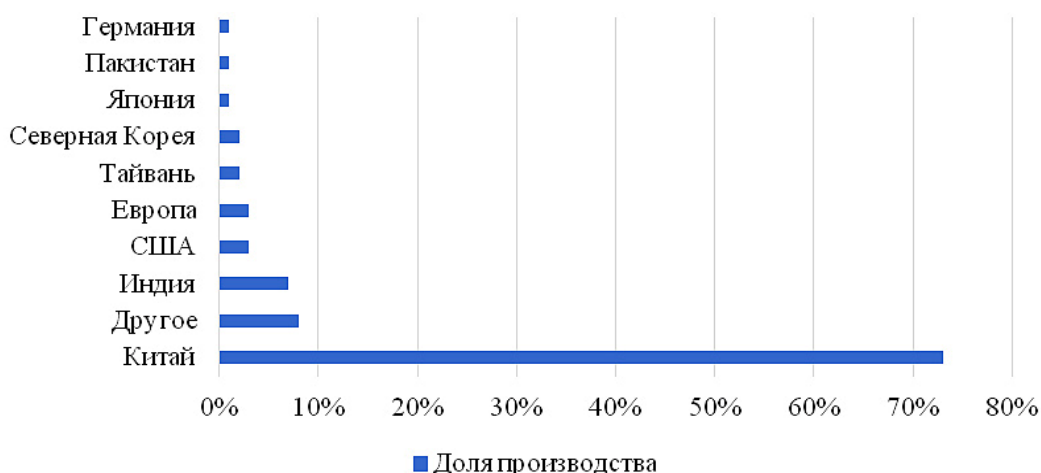


Рис. 1. Распределение производства химических волокон в мире, 2020 г. [1]

Хоть Китай и является лидером по производству химических волокон в мире, большая часть продукции перерабатывается внутренним рынком. Это дает другим предприятиям большое преимущество в реализации своей продукции на свободных рынках.

Одним из факторов конкурентоспособности является производственная мощность. Под производственной мощностью предприятия понимается максимально возможный объем выпуска продукта, оказания услуг или выполнения работ за 1 год при полном использовании всех доступных ресурсов [2]. Европейские страны, такие как Украина, Польша, Словакия, Бельгия и другие, либо не обладают достаточным уровнем производственных мощностей для производства продукции, либо экспортируют собственную продукцию. Производственные мощности ОАО «СветлогорскХимволокно» представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Коэффициент использования производственных мощностей
ОАО «СветлогорскХимволокно» за 2017 г.**

Наименование	Среднегодовая мощность, т/год	Использование мощностей, %
Нити полиэфирные текстильные	30130	99,7
Нити и волокна арселоновые	368	93
Углеродные волокнистые материалы	190	52,9

Примечание. Разработано автором на основе отчетности предприятия.

По сравнению с ОАО «СветлогорскХимволокно» Украина производила нити п/э от 450 до 540 т в год, Словакия – 6300 т, а другие страны и вовсе не занимаются производством данной продукции. Отсюда следует, что предприятие превосходит европейские страны благодаря производственным мощностям.

Цена продукции также является фактором конкурентоспособности и играет большую роль в формировании прибыли предприятия. Чем ниже цена на качественную продукцию, тем выше на нее спрос. Анализ цен основных конкурентов на основной вид продукции за 2018 г. представлен в табл. 2.

Анализ цен основных конкурентов на основной вид продукции за 2018 г.

Вид продукции	Цена	Цена конкурента № 1	Цена конкурента № 2	Разница, долл. США	
				№ 1 – цена	№ 2 – цена
Нить полиэфирная	1,91	1,50	1,43	0,41	0,48
Углеродные материалы	132,82	90	80	42,82	52,82
Арселоновая продукция	24,49	23	21	1,49	3,49
Нетканый материал СпанБел	1,85	1,72	1,50	0,13	0,35

Примечание. Разработано автором на основе отчетности предприятия.

Из таблицы видно, что цены на продукцию ОАО «СветлогорскХимволокно» выше, чем у конкурентов. Это происходит из-за высоких цен на сырье и недостатка уровня технического обеспечения предприятия из-за того, что конкуренты предлагают товар по меньшей стоимости и теряется некоторая доля рынка. Такое происходит, например, с полиэфирной нитью. Углеродные материалы, цены которых выше цен конкурентов, пользуются большим спросом из-за достаточно высокого качества и малого предложения продукта со стороны конкурентов.

Несмотря на серьезную конкурентность рынка, ОАО «СветлогорскХимволокно» является конкурентоспособным предприятием, прибыль которого увеличивается с каждым годом. Ключевыми факторами этого являются географический признак, качество и гибкое отношение к клиентам. Предприятие продолжает сохранять и укреплять рыночные позиции по реализации продукции более, чем 40 странам. Для увеличения прибыли, предприятие делает переориентацию на такие премиальные сегменты рынка, как Италия, Швейцария, Великобритания, кроме того, планирует осваивать новые рынки сбыта, обладающие большой емкостью: Марокко, Тунис, Алжир.

Литература

1. Распределение производства химических волокон в мире. – Режим доступа: <https://www.statista.com/statistics/271653/distribution-of-global-chemical-fiber-production-by-region/>. – Дата доступа: 15.09.2022.
2. Производственная мощность предприятия. – Режим доступа: <https://up-pro.ru/encyclopedia/proizvodstvennaya-moschnost/>. – Дата доступа: 14.09.2022.

УДК 658

РЫНОК ТРУДА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Я. С. Шелупенко, М. Н. Андриянчикова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрен потенциал и проблемы белорусского рынка труда, а также методы решения некоторых из них. Дана характеристика спроса и предложения на труд, рассмотрены основные тенденции и перспективы.

Ключевые слова: безработица, трудоизбыточность, дефицит кадров, дистанционная работа, пассивность соискателей, трудовая миграция.

**THE LABOR MARKET OF THE REPUBLIC OF BELARUS:
PROBLEMS AND PROSPECTS****Y. S. Shelupenko, M. N. Andriyanchikova***Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

The article discusses the potential and problems of the Belarusian labor market, as well as methods for solving some of them. The characteristics of supply and demand for labor are given, the main trends and prospects are considered.

Keywords: unemployment, labor surplus, shortage of personnel, remote work, passivity of applicants, labor migration.

Трудовой потенциал Республики Беларусь определяется численностью и составом трудовых ресурсов. Основным источником формирования трудовых ресурсов страны является трудоспособное население в трудоспособном возрасте. Трудоспособный возраст граждан в Беларуси – это возраст от 16 лет до достижения возраста, дающего право на страховую пенсию по старости (с 1 января 2022 г. – у мужчин в 63 года, у женщин – в 58 лет).

Целью данного исследования является выявление основных проблем и перспектив рынка труда Республики Беларусь.

Как известно, молодежь – наиболее перспективная группа в составе трудовых ресурсов. Успешный старт на рынке труда – ключевое условие, которое определяет участие молодежи в жизни общества и ее влияние на общественное развитие. Молодежь в возрасте 14–30 лет в нашей стране составляет чуть больше 2 млн человек (около 22 %). Число занятых в экономике молодежь составляет почти четвертую часть – 24 % [4, с. 38].

Информация о структуре занятого населения по возрастным группам представлена на рис. 1.

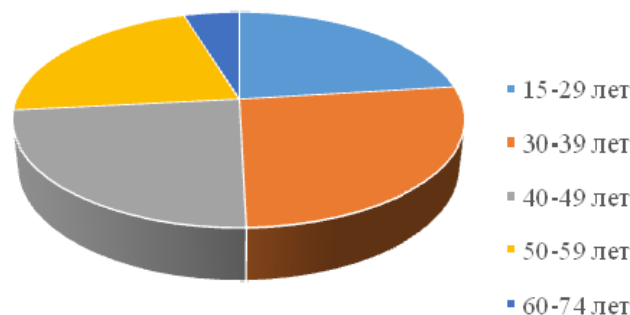


Рис. 1. Структура занятого населения, %

Рынок труда Республики Беларусь развивается в условиях сокращения численности занятых в экономике, обусловленного трансформацией структуры населения. Уровень занятости населения в 2020 г. составлял более 117 тыс. граждан (70 %), а это достаточно высокий показатель.

На рынке труда республики на протяжении длительного времени сохраняется стабильная и управляемая ситуация. Уровень регистрируемой безработицы удерживался в 2020 г. в социально допустимых пределах – от 0,2 до 0,5 % от численности

экономически активного населения. В начале 2015 г. наметились новые тенденции, характеризующиеся снижением спроса на рабочую силу, увеличением количества обращений в службу занятости за содействием в трудоустройстве, ростом регистрации безработных и напряженности на рынке труда. Несмотря на рост безработицы, в Республике Беларусь отмечается один из самых низких в СНГ уровень официально регистрируемой безработицы [1, с. 15].

На рынке труда республики сложились определенные региональные различия. В ряде районов и малых городов рынки труда более напряженные, чем в целом областные. Более двух третей трудовых ресурсов (82,6 %) сосредоточены в городской местности.

Территориальная неравномерность размещения трудовых ресурсов и их низкая мобильность выступают основными факторами трудоизбыточности в одних регионах и дефицита кадров в других, а также дисбаланса профессионально-квалификационной структуры локальных рынков труда. Одним из направлений решения данной проблемы является разработка и применение эффективных мер по стимулированию трудовой мобильности граждан.

Большое внимание уделяется обучению безработных. Ежегодно службой занятости направляется на профессиональную подготовку, переподготовку и повышение квалификации около 10 тыс. безработных. При этом особое внимание уделяется организации профессионального обучения безработной молодежи, не имеющей ни опыта работы, ни профессиональной подготовки.

Ключевыми направлениями действий по решению проблем занятости являются предоставление возможности получения профессии, создание новых рабочих мест, развитие молодежного предпринимательства, стимулирование нанимателей, трудоустройства молодежи на временные рабочие места для получения навыков практической работы на производстве.

Что касается спроса на рабочую силу, то надо отметить, что структура вакансий претерпевает изменения. Сегодня практически одинаково востребованы как рабочие, так и специалисты, в то время как год назад удельный вес вакансий для рабочих составлял почти 60 %.

Высокую активность работодателей специалисты объясняют эффектом отложенного спроса: весной 2020 г. количество вакансий резко снизилось, а во второй половине года постепенно начало увеличиваться, и тенденция продолжилась в 2021 г. Это повлияло на увеличение предложений в первые месяцы года, что обычно не характерно для рынка труда.

Одновременно с ростом спроса со стороны работодателей на сотрудников на рынке наблюдается снижение активности соискателей. В 2020 г. из-за пандемии часть специалистов была вынуждена искать новое место работы или временную подработку. В 2021 г. ситуация на рынке стабилизировалась, и необходимость в очередной смене места работы отпала.

Уменьшение количества при возросшем числе вакансий привело к ощутимому снижению конкуренции. Если средний показатель по рынку труда по итогам 2020 г. достиг 9,2 резюме на 1 вакансию, то в 2021 г. он снизился, и по результатам месяцев январь–декабрь сформировался на уровне 6,7 резюме на одну вакансию. При этом конкуренция существенно зависит от профессиональных областей. Самая высокая по итогам 2021 г. наблюдается среди студентов и начинающих специалистов – более 21 резюме на одну позицию [2].

Интерес к удаленной работе за последний год растет как со стороны соискателей, так и работодателей. Количество созданных и обновленных резюме от специалистов в поиске дистанционного формата в прошлом году увеличилось примерно на 94,7 % в сравнении с 2020 г. Кроме того, развитие технологий привело к тому, что для части специальностей уже не требуется выделенного рабочего места в определенном населенном пункте. Поэтому в ближайшие годы дистанционная работа не только не потеряет своей значимости, но будет одним из основных условий для конкурентного поиска работы или сотрудника по специальностям, где такая форма работы применима [3].

Еще одна тенденция – растущая пассивность соискателей и лояльность к текущему работодателю. Как отмечают специалисты портала, сотрудники, которые пережили коронавирус со своим работодателем, реже склонны к перемене места работы. Специалисты предпочитают сотрудничать с уже знакомыми надежными работодателями, которые помогают пройти через кризисный период и проявляют эмпатию к своим подчиненным.

Следующий фактор – переосмысление ценностей. Соискатели начинают осознавать, что они стали дефицитом, и, как следствие, увереннее ощущают себя на рынке труда и не соглашаются на снижение зарплатных ожиданий в обмен на хоть какую-нибудь работу.

Последняя тенденция, которую следует учитывать при формировании кадровой политики, – отток кадров и рост трудовой миграции. По данным Белстата, в январе–ноябре 2021 г. наниматели уволили 688,6 тыс. человек, а приняли – 624,1 тыс. То есть кадровый отток в целом по стране за 11 месяцев 2021 г. составил около 64,5 тыс. работников. Такой отток кадров может свидетельствовать об активной миграции трудоспособного населения, причем не обязательно по политическим мотивам [3].

Из всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы. На рынке труда республики сохраняется стабильная и управляемая ситуация. Однако это не означает отсутствие некоторых проблем, таких как дисбаланс профессионально-квалификационной структуры локальных рынков, снижение конкуренции и активности соискателей. Сегодня не только соискатели, но и работодатели должны учитывать возникшую на рынке ситуацию, принимать во внимание все тенденции и изменения. Современный работодатель также должен понимать, что он конкурирует за специалиста не только с такими же белорусскими предприятиями, но и с предложениями о трудоустройстве за рубежом.

Литература

1. Беларусь в цифрах 2021 / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnayastatistika/publications/izdania/public_compilation/index_28455/. – Дата доступа: 12.09.2022.
2. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://belretail.by/article/ryinok-truda-belarusi-pervi-kvartal>. – Дата доступа: 14.09.2022.
3. Рынок труда в Беларуси. – Режим доступа: <https://neg.by/novosti/otkrytj/rynok-truda-v-belarusi-itogi-2021-tendentsii-2022/>. – Дата доступа: 14.09.2022.
4. Труд и занятость в Республике Беларусь. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/ed5/ed53c414ac383e1f65fd78675052dcc1.pdf>. – Дата доступа: 14.09.2022.

УДК 334.7

**ВОЗМОЖНОСТИ КЛАСТЕРНОГО РАЗВИТИЯ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ****Ю. А. Волкова***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Представлены результаты оценки возможностей кластерного развития машиностроения Республики Беларусь, базирующиеся на анализе соответствующих статистических данных за 2012–2020 гг. Даны практические и методические рекомендации по определению наиболее целесообразного типа кластерного взаимодействия в зависимости от региона и вида экономической деятельности.

Ключевые слова: кластер, кластерное развитие, машиностроение, Республика Беларусь.

**OPPORTUNITIES FOR CLUSTER DEVELOPMENT
OF THE MACHINE-BUILDING COMPLEX
OF THE REPUBLIC OF BELARUS****Y. A. Volkova***Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

The article presents the results of assessing the possibilities of cluster development of mechanical engineering in the Republic of Belarus, based on the analysis of relevant statistical data for 2012–2020. Practical and methodological recommendations are given for determining the most appropriate type of cluster interaction depending on the region and type of economic activity.

Keywords: cluster, cluster development, mechanical engineering, the Republic of Belarus.

Машиностроение играет важнейшую роль в промышленном развитии не только являясь крупнейшим звеном производственно-сбытовых цепей, но и определяя технологический уровень организаций промышленности. Машиностроительный комплекс Республики Беларусь объединяет предприятия, изготавливающие вычислительную, электронную и оптическую аппаратуру, электрооборудование, транспортные средства, машины и оборудование. Около 70 % производимой в машиностроении продукции поставляется на экспорт. Тракторы ОАО «МТЗ», комбайны ОАО «Гомсельмаш», дорожно-строительная и лесозаготовительная техника ОАО «Амкодор», карьерные самосвалы ОАО «БЕЛАЗ», тягачи и автобусы ОАО «МАЗ», вагоны железнодорожные и трамвайные ЗАО «Штадлер Минск», легковые автомобили СЗАО «БЕЛДЖИ», бытовая техника ОАО «Горизонт», ЗАО «АТЛАНТ», лифты ОАО «Могилевлифтмаш» – бренды, известные далеко за пределами Беларуси. Таким образом, исследование возможностей развития данного отраслевого комплекса для сохранения и усиления его конкурентных позиций является актуальной и практически значимой задачей.

Целью данной работы является анализ возможностей кластерного развития машиностроительного комплекса Республики Беларусь. В настоящее время изучению различных аспектов формирования и успешного функционирования кластерных структур в промышленности посвящено множество работ отечественных и зарубежных ученых [1, 4, 6]. Несмотря на имеющийся значительный научный задел, зачастую практические вопросы определения приоритетных направлений кластерного

развития как в отраслевом, так и в региональном разрезе не имеют достаточного методического обеспечения в силу необходимости учета различных аспектов специфики хозяйствования.

В рамках решения данной проблемы была разработана методика определения перспективных направлений кластерного развития в регионах [2, 3, с. 135–163]. Данная методика предполагает анализ динамики значений соответствующего интегрального коэффициента за ряд лет и оценку его среднего арифметического значения по следующей шкале [4]: значения, превышающие 1,30, соответствуют приоритетным направлениям формирования инновационно-промышленных кластеров; значения от 1,11 до 1,30 – благоприятным направлениям; значения от 1 до 1,10 – направлениям, имеющим предпосылки для формирования инновационно-промышленных кластеров; значения ниже 1 – направлениям, не имеющим соответствующих предпосылок.

Результаты апробации разработанной методики применительно к отраслям машиностроения Республики Беларусь за 2012–2020 гг. сведены в таблицу.

Результаты апробации методики перспектив кластерного развития применительно к отраслям машиностроения Республики Беларусь (по данным 2012–2020 гг.)

Наименование вида экономической деятельности	Значения по регионам Республики Беларусь						
	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минск	Минская	Могилевская
Производство вычислительной, электронной и оптической аппаратуры	0,76	1,01	0,78	1,05	1,47	0,96	0,58
Производство электрооборудования	1,10	0,95	0,90	1,03	1,62	0,95	1,18
Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	0,93	0,83	1,04	0,95	1,21	1,21	1,26
Производство транспортных средств и оборудования	0,85	0,56	0,23	1,30	1,28	1,36	1,22

Примечание. Рассчитано автором на основании данных Национального статистического комитета Республики Беларусь [5, с. 243–247].

Данные таблицы свидетельствуют о том, что наиболее привлекательной с точки зрения формирования кластерных структур географической локацией является г. Минск, отмечающийся наиболее высокими значениями интегрального коэффициента перспектив кластерного развития по всем отраслям машиностроения. Хорошими перспективами создания кластерных структур различного машиностроительного профиля обладают также Могилевская и Гродненская области. Остальные регионы Республики Беларусь отмечаются выраженными приоритетами в кластерном развитии: Витебская область – в производстве вычислительной, электронной и оптической аппаратуры, Брестская – в производстве электрооборудования, Гомельская – в производстве машин и оборудования, не включенных в другие группировки.

В заключение необходимо отметить, что географическая близость имеет большое значение для формирования промышленных кластеров, основой функционирования которых является кооперация в производственно-сбытовой сфере. Как следствие, фактор локации играет определяющую роль при выборе участников интегрированной структуры. Для инновационно-промышленных кластеров, включающих научные или научно-образовательные центры, а также организации, обеспечивающие финансирование прикладных исследований, географическая близость стейкхолдеров не является приоритетным критерием построения кластерной структуры. Большей значимостью обладает предметная специализация. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что апробированная в рамках данного аналитического исследования методика является инструментом, позволяющим не только оценить возможности кластерного развития машиностроительного комплекса, но и определить наиболее целесообразный тип кластерного взаимодействия в зависимости от региона и вида экономической деятельности.

Л и т е р а т у р а

1. Бабкин, А. В. Кластер как субъект экономики: сущность, современное состояние, развитие / А. В. Бабкин, А. О. Новиков // Науч.-техн. ведомости СПбГУ. Экон. науки. – 2016. – № 1 (235). – С. 9–29.
2. Волкова, Ю. А. Оценка перспектив кластерного развития регионов: методика и результаты эмпирического исследования (на примере Республики Беларусь) / Ю. А. Волкова // Экон. анализ: теория и практика. – 2018. – Т. 17, № 1. – С. 30–47.
3. Волкова, Ю. А. Интеграция промышленных предприятий в Республике Беларусь: выбор форм и оценка эффективности / Ю. А. Волкова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 272 с.
4. Нехорошева, Л. Н. Концептуальные подходы, методы и инструменты кластерной политики в Республике Беларусь и Польше: сравнительный анализ / Л. Н. Нехорошева, Э. Хостилович // Белорус. экон. журнал. – 2015. – № 4. – С. 4–22.
5. Республика Беларусь, 2021 : стат. ежегодник / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь ; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2021. – 408 с.
6. Шутин, В. Ю. Конкурентный потенциал и конкурентные преимущества машиностроительного комплекса Республики Беларусь на современном этапе: ключевые индикаторы и тренды развития / В. Ю. Шутин. – Минск : БГЭУ, 2016. – 223 с.

УДК 330.131.7

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА УНИВЕРСИТЕТА

Т. В. Гришко, А. В. Сычѳв

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрены теоретические и методологические вопросы обоснования стратегии управления рисками в условиях функционирующей системы менеджмента качества университета. Результаты исследования могут быть использованы для целей дальнейшего развития и совершенствования систем управления образовательных учреждений, а также расширения и углубления научных исследований в сфере риск-менеджмента.

Ключевые слова: риск, эффективность, стратегия управления, риск-менеджмент, система управления, университет.

STRATEGIC ASPECTS OF RISK MANAGEMENT IN THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF THE UNIVERSITY**T. V. Grishko, A. V. Sychev***Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

The article deals with the theoretical and methodological issues of substantiating the risk management strategy in the context of a functioning university quality management system. The results of the study can be used for the purposes of further development and improvement of management systems of educational institutions, as well as the expansion and deepening of scientific research in the field of risk management.

Keywords: risk, efficiency, management strategy, risk management, management system, university.

В современных социально-экономических условиях учреждения высшего образования вынуждены решать задачу обеспечения конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках образовательных услуг, в том числе на основе повышения качества образовательной деятельности, что соответствует стратегическим ориентирам государственной политики развития системы образования.

Одним из инструментов системы управления вузом является разработка системы менеджмента качества (СМК) и ее сертификация на соответствие требованиям стандартов серии ISO 9001. Важнейшей особенностью международного стандарта ISO 9001:2015 «Системы менеджмента качества. Требования» в сравнении с предыдущей версией 2009 г. является применение риск-ориентированного менеджмента при планировании деятельности [2].

Необходимо отметить, что управление рисками в образовательных учреждениях значительно отличается от управления рисками на промышленных предприятиях и в коммерческих компаниях, где риск-менеджмент методически проработан [3]. В связи с этим внедрение принципов риск-ориентированного менеджмента обусловило разработку собственной системы управления рисками университета, включающую в себя: механизмы выявления и идентификации возможных рисков, анализа и числового оценивания рисков с последующей обработкой и документированием. При этом было учтено, что система управления учебными и вспомогательными процессами, а также качественными показателями должна рассматриваться на трех уровнях: университет–факультет–кафедра, а система управления рисками должна соответствовать иерархии управления вуза, и управление рисками должно осуществляться на каждом из них.

Основываясь на материалах семинара ООН по обсуждению темы управления рисками [1], необходимо отметить, что после этапа анализа и оценки рисков следует этап выбора и реализации стратегий обработки рисков. Внедренная в университете методика управления рисками и возможностями не предусматривает данного этапа.

Целесообразность внедрения данного этапа обусловлена тем, что, согласно стандарту ISO 31000:2009, выбор наиболее приемлемого варианта обработки риска основывается на поиске равновесия между усилиями и затратами на реализацию и полученной выгодой с учетом правовых, нормативных и прочих требований. Анализ затрат и выгод часто применяется для выбора стратегии обработки риска и позволяет оценить общие ожидаемые затраты по отношению к общей ожидаемой выгоде, чтобы выбрать лучший или наиболее выгодный вариант.

При выборе предлагаемых стратегий, приведенных в таблице, необходимо учесть как минимум три параметра: уровень риска или возможности, выгоду, которая будет получена от деятельности, сопряженной с ними (которая может быть выражена с помощью обозначения целей), и затраты на обработку риска.

Стратегии реагирования на риски

Наименование стратегии управления риском или возможностью	Описание
Допущение или принятие	<p>Допущение или принятие риска или возможности означает то, что университет (владелец процесса, руководитель подразделения) признает наличие риска, но не предпринимает никаких действий для снижения его вероятности или степени тяжести последствия. Данный вариант рассматривается в следующих ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – когда ожидаемая выгода от принятия риска является очень высока; – когда затраты на обработку риска выше стоимости возможного ущерба, если сопряженное с риском событие произойдет (например, нет смысла тратить 100 тыс. руб. на мероприятия по смягчению риска, если он влечет за собой потери в размере 50 тыс. руб. или выгоду, менее суммы затрат); – когда что-то выходит за рамки личного или организационного контроля и не остается другого выбора, кроме как принять риск
Передача или разделение	Передача риска внутренняя (горизонтальная, вертикальная), внешняя означает разделение риска с другой стороной или сторонами
Смягчение или сдерживание	Смягчение подразумевает попытку минимизировать последствия и/или вероятность возникновения события, сопряженного с риском. Сдерживание заключается в поддержании вероятности возникновения события и/или тяжести последствий на установленном при его оценке уровне
Уклонение	<p>Предполагает изменение плана управления процессом таким образом, чтобы либо исключить угрозу, вызванную негативным риском, либо оградить цели процесса от угрозы или ослабить цели, находящиеся под угрозой.</p> <p>При реализации возможностей применяется когда затраты на ее реализацию выше стоимости возможной выгоды</p>

Принятие риска совершенно не означает, что о риске забывают. Это значит, что тот, кто принимает риск, знает, почему он это делает. Риск вносится в реестр рисков, и все принятые риски учитываются при разработке планов действий.

Понимание передачи риска или возможности условно можно рассматривать как внутреннюю и внешнюю. Под внутренней передачей принимается передача управления риском или возможностью в другой процесс или подразделение университета. Внутреннюю передачу риска или возможности следует рассматривать по горизонтали системы управления и по вертикали. Горизонтальная – это передача риска или возможности в рамках одного процесса другому подразделению. Вертикальная –

это передача риска или возможности на более высокий уровень управления (уровень владельца процесса, ректора) или более низкий уровень (например, от факультета передается управление на уровень кафедры).

Одной из возможных стратегий внешней передачи риска или возможности в этом случае является аутсорсинг, когда одно предприятие передает другому часть функций и связанные с ними риски. Еще одной известной стратегией внешней передачи риска или возможности является страхование.

Смягчение риска подразумевает попытку минимизировать последствия и/или вероятность возникновения события, сопряженного с риском. Этого можно достичь путем ликвидации источников риска, изменения вероятности возникновения события или изменения его последствий. Сдерживающая стратегия позволит избежать увеличения потерь от наступления риска или позволит сохранить вероятность возникновения риска на прежнем уровне.

Применение смягчающей или сдерживающей стратегии при управлении возможностями при высокой степени вероятности ее возникновения и степени ее реализации позволит сохранить ее при отсутствии средств и методов ее реализации в отчетный период и сохранить возможность ее реализации в перспективе.

Таким образом, можно выявить значимые и эффективные мероприятия в управлении рисками, что позволит в дальнейшем сформировать их перечень, который можно будет реализовать в случае повторного возникновения идентичного риска.

Учитывая специфику показателей деятельности учреждений образования, определить экономическую эффективность мероприятий не всегда возможно. Данный механизм определения стратегии управления рисками и возможностями, а также оценки результативности мероприятий поможет в принятии стратегических и оперативных управленческих решений по выполнению показателей развития и достижению целей университета, а следовательно, будет способствовать повышению конкурентоспособности вуза.

Л и т е р а т у р а

1. Пархоменко, Н. В. Менеджмент рисков в учреждении высшего образования / Н. В. Пархоменко, А. В. Сычев, Т. А. Шевелева // Современные проблемы машиноведения : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), 22–23 нояб. 2018 г. – Гомель, 2018. – С. 400–402.
2. Системы менеджмента качества. Требования : ГОСТ СТБ ISO 9001–2015. – Введ. 01.03.16. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2015. – 4 с.
3. Щеглов, П. Е. Качество высшего образования. Риски при подготовке специалистов / П. Е. Щеглов, Н. М. Никитина // Унив. упр.: практика и анализ. – 2003. – № 1 (24). – С. 46–59.

УДК 332.02

КОНЦЕПЦИЯ ПОДХОДА “GOOD GOVERNANCE” – «НАДЛЕЖАЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ»

И. В. Рачкова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрен подход “Good Governance” – «надлежащее управление», – как один из элементов международного опыта разработки и реализации политики устойчивого регионального развития.

Ключевые слова: государство, подход, региональное развитие, решение, управление.

GOOD GOVERNANCE APPROACH CONCEPT

I. V. Rachkova

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

In this article, we have considered the approach of “Good Governance” – “good governance” as one of the elements of international experience in the development and implementation of sustainable regional development policies.

Keywords: state, approach, regional development, decision, management.

Концепция “Good Governance” – не новая, но в настоящее время она становится все более важным фактором в современном процессе принятия решений государственными органами. Решения, основанные на достоверных данных, включая мнения заинтересованных сторон, и принятые в результате откровенного обсуждения, дают возможность властям использовать самое эффективное сочетание ресурсов. Такой подход не подразумевает, что все поддержат решение как правильное, но граждане, положительно оценивающие процесс выработки решения, скорее всего воспримут это решение, даже если изначально они были с ним не согласны.

Таким образом, даже самые сложные и противоречивые решения имеют больше шансов завоевать необходимую поддержку со стороны общественности.

Термин «управление» означает процесс принятия решений и процесс, которым эти решения реализуются или не реализуются.

Подход “Good Governance” – «надлежащее управление» имеет 8 основных элементов, а именно:

1. *Вовлеченность.* Участие гражданского общества – главный камень надлежащего управления. Такое участие может быть либо прямым, либо через законные учреждения-посредники или через представителей. Чтобы быть продуктивным, участие должно быть информированным и организованным. Это означает свободу объединений и выражения с одной стороны, и наличие организованного гражданского общества – с другой.

2. *Стремление к консенсусу.* В любом обществе есть множество групп интересов и столько же мнений. Надлежащее управление требует совмещения различных интересов, чтобы добиться в обществе консенсуса в отношении того, что лучше всего для общества в целом, и того, как этого добиться. Требуется также широкая и долгосрочная перспектива устойчивого развития и понимание того, как достичь целей этого развития. Такое возможно только при понимании исторического, культурного и социального контекстов конкретного общества или конкретного местного общества.

3. *Подотчетность.* Ключевое требование надлежащего управления. Не только правительственные учреждения, но и частный сектор, и гражданское общество должны быть подотчетны перед обществом и всеми его заинтересованными сторонами. В целом, организация или учреждение подотчетны тем, на кого распространяются эти решения или меры. Подотчетность не может быть реализована без прозрачности и верховенства закона.

4. *Прозрачность.* Решения принимаются и реализуются по понятным всем правилам и процедурам. Это также означает, что информация свободно и прямо доступна для тех, на кого эти решения распространяются, а также то, что достаточное количество информации предоставляется в легко доступной и понятной форме и на соответствующих носителях.

5. *Оперативность.* «Надлежащее управление» требует, чтобы учреждения и применяемые ими рабочие процессы обеспечивали обслуживание всех заинтересованных сторон в разумные сроки.

6. *Результативность и эффективность.* Результаты деятельности государственных органов удовлетворяют потребности общества и распоряжаются имеющимися ресурсами наилучшим образом. Концепция эффективности в контексте надлежащего управления также охватывает устойчивое использование природных ресурсов и охрану окружающей среды.

7. *Справедливость и всеобщий охват.* Благополучие общества зависит от обеспечения того, что все его члены чувствуют себя участниками процесса развития общества, и того, что они не исключены из этого процесса. Требуется, чтобы все группы, в частности, самые уязвимые имели возможность улучшить или сохранить свое благополучие.

8. *Верховенство закона.* «Надлежащее управление» требует справедливой правовой структуры, которая действует непредвзято.

Так как управление – это процесс принятия решений и процесс, по которому эти решения реализуются, то анализ управления в Республике Беларусь должен фокусироваться на формальных и неформальных участниках, вовлеченных в процесс разработки и принятия решений и их реализацию, а также формальных и неформальных структурах, которые принимают и реализуют решения. Правительство – это один из участников процесса управления, другие заинтересованные стороны зависят от конкретного уровня управления. В сельской местности, например, этими сторонами могут быть влиятельные предприятия, ассоциации крестьян-фермеров, кооперативы и т. д.

В сложной системе современных органов государственного управления в Республике Беларусь процесс принятия решений нужно принимать во внимание для того, чтобы создать более эффективную программу реформ, включая реформы в сфере региональной политики. Чтобы политика регионального развития в Республике Беларусь была успешной, необходимы нормально функционирующие учреждения, прозрачные и эффективные процедуры, а также ответственные и компетентные общественный и частный сектора.

Внедряя элементы «надлежащего управления», Республика Беларусь начнет процесс создания инструментов функциональной, экономически эффективной и ориентированной на результаты политики регионального развития с наличием на месте оптимальной системы принятия решений.

УДК 338.2

ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ И ОТЧЕТНОСТИ ДЛЯ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Е. В. Хроль, Д. П. Беспалова, И. В. Затонская
*Кубанский государственный аграрный университет,
г. Краснодар, Российская Федерация*

Описаны методы управления документацией в современных российских организациях малого бизнеса. Проведено описание систем интеграции с базами данных для управления системами документооборота и отчетности. Разработаны этапы создания архитектурного стиля системы.

Ключевые слова: малый бизнес, интеграция, электронный документооборот, эффективность, данные, архив, управление документацией.

INTEGRATION TECHNOLOGIES OF DOCUMENT MANAGEMENT AND REPORTING SYSTEMS FOR SMALL ENTERPRISES**E. V. Khrol, D. P. Bepalova, I. V. Zatonskaya***Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation*

The article describes the methods of document management in modern Russian small business organizations. The description of integration systems with databases for managing document management and reporting systems is carried out. The stages of creating the architectural style of the system have been developed.

Keywords: small business, integration, electronic document management, efficiency, data, archive, document management.

В последние несколько лет российский малый бизнес оказывается в ситуации, когда для дальнейшего успешного развития необходим определенный комплекс мер, направленный на повышение эффективности внутренних бизнес-процессов, что, в свою очередь, позволит добиться плановых показателей прибыльности и эффективности. Соответственно, говоря о списке мер, он обширен. Поэтому в данной статье мы рассмотрим лишь одну из важнейших частей системы управления бизнесом, которая описывает основные бизнес-показатели – системы документооборота и отчетности [4].

В России каждый частный бизнес – это сложный механизм, в котором управление документацией и отчетностью представляет собой первичную проблему отсутствия автоматизации. Так, анализируя основные бизнес-процессы для создания системы управления документами и отчетами, можно сказать о том, что необходимо учитывать всю специфику определенного бизнеса, в том числе и на законодательном уровне. Ведь для каждой отрасли существуют свои стандарты разработки и интеграции с другими приложениями.

С чего же начинается управление документацией и отчетностью? С описания элементов управления, которые и составляют весь жизненный цикл документов. Едино они позволяют достигнуть развития организации и большей эффективности в систематизированном электронном виде.

Внедрение электронного документооборота и отчетности в российском бизнесе за последние годы выросло более чем на 61 %. Следовательно, за это время установились определенные негласные стандарты, которые организуют весь процесс. Далее в статье мы опишем эти стандарты.

В России существует множество документов, регламентирующих построение систем документооборота и определяющих их основные требования. Одним из наиболее часто используемых является международный стандарт управления документами ISO 15489 «Информация и документация» (ISO 15489–2001 «Информация и документация»). На основании этого документа выделим несколько основных требований к системам управления документами. На рис. 1 построена ТОР-диаграмма, которая отражает начало и сущность использования системы.

Безусловно, необходимо начать с первичного процесса – создания документов. При создании документов разработчик предоставляет в базу данных перечень используемых документов, их названий и функционального назначения, проектирование форм документов, наблюдение за их использованием, применение современных технологий для составления документов.

Далее рассмотрим второй стандарт – процесс хранения и использования информации. Так, разработчику необходимо создать центр хранения документов (иначе – базы данных управления).

Следующим негласным стандартом назовем саму передачу документов на постоянное хранение. Необходимо следующее: составление списков документов со сроками хранения, оценка документов, идентификация и описание каждого документа и групп документов. Признается ценность и необходимость сохранения документов, которые можно использовать для подтверждения существующих сделок бизнеса.

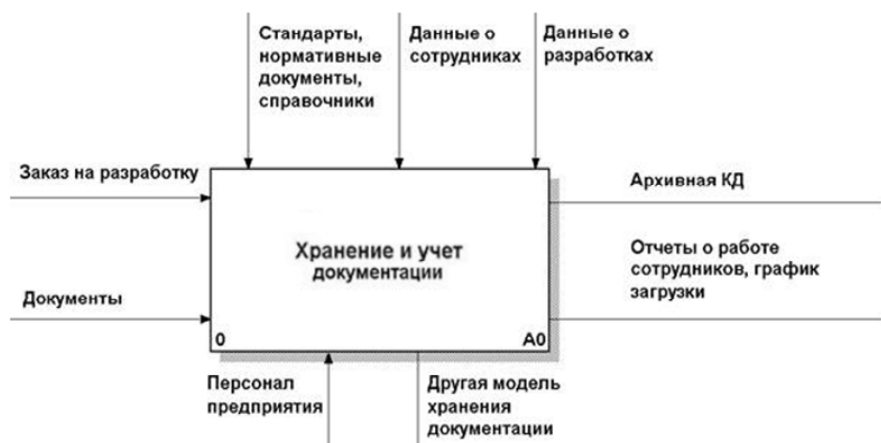


Рис. 1. ТОР-диаграмма хранения и учета документации

Создание архитектурного решения для электронного документооборота и отчетности для малого бизнеса требует ряда действий: сбор данных для разработки и анализ деятельности, а также создание регламента и инструкции.

Необходимо сказать о том, что существуют проблемы при построении архитектуры системы документооборота. Главная задача при построении архитектуры приложения для системы электронного документооборота (СЭД) – предотвращение потери документов при их передаче.

Со стороны программы репликация – главный метод масштабирования базы данных. Его цель – передать актуальные данные с одного сервера базы данных, где они копируются (реплицируются), на один или несколько других серверов (называемых репликами).

Применяя данный метод для приложения, возможно использовать не один сервер для обработки запросов, а несколько. Работники подключаются к одному из серверов и работают с одной из реплик, соответственно, сотрудники работают с одними и теми же документами. Поэтому и появляется возможность распределить нагрузку с одного сервера на несколько серверов.

Чаще всего программисты пользуются физической репликацией. Идея физической репликации заключается в том, что изменения из журналов воспроизводятся в другой базе данных (реплике), а затем данные в реплике побайтно повторяют данные в основной базе данных, где и отражают все изменения, внесенные в файлы базы данных. Данный метод оказался настолько востребованным, что на сегодняшний день механизм физической репликации есть практически во всех современных системах управления баз данных:

- Oracle;
- MySQL;
- Microsoft SQL Server.

При использовании сервера в актуальном состоянии поддержки реплики ему достаточно 12 % процессорной мощности сервера, на базе которой он и работает [1].

Актуальными системами электронного документооборота на 2022 г. являются Битрик24 и DIRECTUM. Первая система удобна для создания электронного архива документов и автоматизации делопроизводства. Интерфейс довольно сложный, но в этом продукте может быть все, что вам нужно. А в то же время DIRECTUM – ECM-система, нацеленная на повышение эффективности работы всех сотрудников организации в разных областях совместной деятельности. Согласно данным аналитических агентств, DIRECTUM лидирует на российском рынке СЭД [4].

При интеграции системы электронного документооборота и отчетности необходимо понимать, что в основу любой программы СЭД заложены простые архитектурные принципы. В целом, системы реализуют комплексный подход к реализации полного цикла работы с информацией и процессами для решения различных бизнес-задач.

Благодаря открытости, доступности и широкому функционалу российские системы являются отличным средством создания ECM-инфраструктуры малого бизнеса, решая задачи управления отчетностью, документами, управления бизнес-процессами, и организации взаимодействия сотрудников. Построение единой ECM-инфраструктуры – важная задача бизнеса в области внедрения системы электронного документооборота [2].

При внедрении системы не ставится цель комплексного охвата всех бизнес-процессов. Благодаря этому подход, ориентированный на внедрение бизнес-решений, получает ряд преимуществ:

- перевод ряда операций на СЭД автоматически увеличивает темп и точность работ;
- появляется возможность качественно и оперативно менять управленческие функции бизнес-процесса;
- мгновенный доступ к актуальной информации;
- сокращение материальных издержек на ведение документооборота.

Л и т е р а т у р а

1. Осипов, Д. Технологии проектирования баз данных / Д. Осипов. – ДМК-Пресс, 2019. – 498 с.
2. Затонская, И. В. Математическая модель производственной структуры предприятия в условиях цифровой трансформации АПК / И. В. Затонская // Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. : в 2 т. – Нальчик, 2022. – С. 249–252.
3. Иваненко, К. М. Информационные технологии в исследовании свойств и факторов производства аграрного предприятия / К. М. Иваненко, А. К. Сапигина, И. В. Затонская // Интеллектуальные информационные системы : материалы Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. – 2018. – С. 145–148.
4. Сапрыкина, А. И. Методы автоматизации рабочих мест в российских организациях / А. И. Сапрыкина, Е. В. Хроль, В. В. Осенний // Актуальные вопросы развития отраслей сельского хозяйства: теория и практика : материалы IV Всерос. конф. молодых ученых АПК, п. Рассвет. – Азов, 2022.

УДК 330.15

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК И ЕГО ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА**Ю. В. Савченко***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Критически рассмотрены сложившиеся подходы к оценке экологических рисков. Особое внимание уделено экономическими критериям экологической опасности промышленных предприятий. В результате обозначены «узкие» позиции и перспективные направления сложившейся практики эколого-экономической оценки рисков производственно-хозяйственной деятельности на локальном уровне.

Ключевые слова: риск, экологический риск, оценка риска, ущерб, риск-анализ, эколого-экономическая оценка, экологические платежи, экономические потери.

ENVIRONMENTAL RISK AND ITS ECONOMIC ASSESSMENT**Y. V. Sauchanka***Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

The purpose of the study is to critically examine the existing approaches to environmental risk assessment. Special attention is paid to the economic criteria of environmental hazard of industrial enterprises. As a result, the “narrow” positions and promising directions of the current practice of ecological and economic risk assessment of production and economic activity at the local level are identified.

Keywords: risk, environmental risk, risk assessment, damage, risk analysis, ecological and economic assessment, environmental payments, economic losses.

В условиях превалирования экономических подходов в природопользовании именно экономическая эффективность определяет целесообразность практической реализации мероприятий, направленных на снижение экологических рисков на производстве.

На текущий момент нет общепринятого определения для термина «риск» ни в научном, ни в общественном понимании. Его смысл в современных терминах трактуется как вероятность ущерба, тогда как сама проблема риска понимается, как нахождение способа избежать ошибок при решениях, которые могут повлечь за собой этот ущерб.

До сих пор интерпретация понятия «риск», которую социологи характеризуют как статистический подход или рационалистическую традицию, которая отражает возможность (вероятность) наступления неблагоприятного события и (или) количественной меры такого события (ущерба), является господствующей в науке. При этом сам риск в упрощенном подходе исчисляется путем перемножения вероятности упомянутого события на ущерб. Такого подхода к анализу природного и техногенного риска придерживается большинство специалистов, работающих в области точных и естественных наук.

Экологический риск – мера для количественного измерения негативных изменений окружающей среды и здоровья населения, представляющая собой многокомпонентную величину, измеренную с помощью статистических данных или рассчитанную с помощью имитационных моделей, включающих количественные показатели:

- ущерб от воздействия того или иного экологически опасного фактора;
- вероятность возникновения рассматриваемого опасного фактора;
- неопределенность в величинах ущерба, наносимого окружающей среде, и вероятности его реализации [5, с. 24].

Существующие методологические подходы к оценке экологического риска близки по своей сущности в определении этапов анализа. Разнообразие подходов на каждом из этапов обусловлено, как правило, спецификой анализируемого объекта. Однако на завершающем этапе оценки, – количественной оценке риска при определении сопряженных (косвенных) показателей экологического риска – в научных трудах определены различные подходы.

В качестве количественной меры риска в научных трудах [1–3] указывают на целесообразность использования показателя, одновременно учитывающего две характеристики неблагоприятного события – вероятность его наступления и величину причиняемого им ущерба.

Наиболее распространенной мерой риска является показатель среднего риска, рассчитываемый согласно формуле (1) [4, с. 154]:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i X_i, \quad (1)$$

где R – количественная мера риска (средний риск), выражаемая в тех же величинах, что и предполагаемый ущерб X_i (в экономике, как правило, в стоимостном выражении); n – число возможных вариантов ущербов, которые могут быть при наступлении неблагоприятного события, включая и нулевой ущерб.

Таким образом, для определения величины риска, согласно формуле (1), необходимо иметь информацию, выражающую соответствие значений P_i и X_i при $i = 1, 2, \dots, n$. Такая информация в простейшем случае определяет закон распределения вероятностей в пространстве ущербов.

В итоге эколого-экономический риск может быть определен базовой формулой (2), выражающей показатель риска [4, с. 154]:

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_{ij}(V) P_j P_i(j, z_j) X_i, \quad (2)$$

где m – число видов неблагоприятных событий; $g_{ij}(V)$ – вероятность выбора объектом ситуации, характеризующейся вероятностью наступления неблагоприятного события P_j , и законом распределения ущерба $P_i(j, z_j)$, зависящем от принятых мер по защите z_j .

Для каждого конкретного объекта с учетом видов его деятельности и соответствующих им наборов ситуаций, неблагоприятных событий и возможных ущербов формула (2) может быть уточнена и конкретизирована. Для этого, в первую очередь, необходимо сформировать общие принципы и подходы к определению характеристик объекта и разработать методы их количественной оценки [4, с. 155]. В каждой сфере общественной деятельности существуют определенные особенности решения этих задач.

Эколого-экономическими показателями оценки риска производственно-хозяйственной деятельности служат ущербы от загрязнения окружающей среды. Основными недостатками системы расчета ущербов являются недостаточно корректная стоимостная оценка реальных потерь, вызванных вредным воздействием предприятия, а также сложность определения и нерепрезентативность исходных данных.

Причины первого заложены в самой сути проблемы: очень трудно объективно оценить в стоимостных единицах потери биологических компонентов окружающей среды (природные и «вторичные» антропогенные экосистемы, здоровье и жизнь человека). Причины второго заключаются в сложности сбора информации для оценки ущербов аналитическим методом и методом контрольных районов. Поэтому в качестве стоимостного критерия для оперативной оценки экологической опасности промышленных предприятий на локальном уровне могут использоваться лишь ущербы, рассчитанные эмпирическим методом на базе удельных показателей.

Стоимостными критериями могут также служить соответствующие экологические платежи предприятия. По сути они являются производными от тех же удельных показателей ущерба.

Показатели риска экономических потерь объекта от ухудшения качества окружающей среды, рассчитываемые по формуле среднего риска, имеют абсолютный характер (в том смысле, что они определяют только ожидаемую величину ущерба при том или ином характере жизнедеятельности объекта, оставляя без внимания достигаемые в ходе ее осуществления результаты). Вместе с тем, в реальной жизни объект определяет стратегию жизнедеятельности, сопоставляя между собой эти характеристики.

Предприятие, выбирая различные варианты стратегий по обеспечению безопасности собственного производства и окружающей среды от последствий техногенных аварий, также сопоставляет возможные варианты ущербов и прибыли при их реализации.

Теория риска как механизм управления природоохранной деятельностью базируется на двух взаимосвязанных составляющих элементах – системе оценки риска и системе управления риском. Система управления экологическими рисками ориентирована, в первую очередь, на снижение потенциально негативного воздействия факторов на окружающую среду и человека. Существующие подходы снижения экологического риска ориентированы на избежание риска, снижение вероятности реализации рискового события, снижение величины ущерба, передачу риска, компенсацию ущерба. Для этого используются нормативно-правовые, административные, технические и экономические меры.

Здесь необходимо выделять два направления: управление, ориентированное на снижение величины риска (чистые риски), и управление в условиях существования риска (спекулятивные риски).

При оценке экологических рисков важная роль отводится оптимально определенным методам риск-анализа и условиям их применения. Современные научные подходы рассматривают во взаимосвязи экономические и экологические аспекты снижения экологических рисков, ориентируясь на соответствующие результаты оценки эффективности предпринимаемых усилий.

Объективная оценка уровня экологических рисков и оптимизация программы по их снижению в современных условиях определяет эффективность производственно-хозяйственной деятельности предприятия в целом.

Литература

1. Савченко, Ю. В. Особенности управления эколого-экономическими рисками в производственно-хозяйственных системах / Ю. В. Савченко, А. М. Титоренко // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24–25 нояб. 2011 г. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. Р. И. Громыко. – Гомель, 2011. – Ч. 1. – С. 143–145.

2. Савченко, Ю. В. Эколого-экономическая оценка безопасности функционирования локальных производственно-хозяйственных систем / Ю. В. Савченко, А. М. Павлов // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 120-летию со дня рождения П. О. Сухого, Гомель, 26–27 нояб. 2015 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т П. О. Сухого ; под общ. ред. В. В. Кириенко. – Гомель, 2015. – С. 289–291.
3. Тулупов, А. С. Актуальные вопросы оценки социальных и экологических рисков в отраслях народного хозяйства / А. С. Тулупов, А. Ф. Мудрецов // Экономика и социум: современные модели развития. – 2019. – Т. 9, № 3 (25). – С. 106–117.
4. Хоружая, Т. А. Оценка экологической опасности. Обеспечение безопасности. Методы оценки рисков. Мониторинг / Т. А. Хоружая. – М. : Кн. сервис, 2002. – 203 с.
5. Экономическая оценка рисков в системе управления экологической и промышленной безопасностью на производственных объектах / А. И. Попов [и др.] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Саратов. гос. техн. ун-т. – Саратов : Саратов. гос. техн. ун-т, 2012. – 170 с.

УДК 339.138

МАРКЕТИНГОВОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ НИР В ИННОВАЦИОННОМ РЕЖИМЕ «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ТОЛЧОК»

С. Е. Астраханцев

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Обоснована необходимость организации маркетингового сопровождения научных исследований и опытно-конструкторских работ университета. На современном этапе развития экономики актуальными становятся вопросы не только создания, но и доведения до потребителя инновационного продукта. Техническим университетам необходимо не только разрабатывать инновации, но и научиться эффективно осуществлять трансфер инноваций и коммерциализацию результатов научно-исследовательской деятельности.

Ключевые слова: инновации, инновационный режим, коммерциализация, маркетинг, научно-исследовательские работы, сопровождение, трансфер, университет.

MARKETING SUPPORT FOR R&D IN AN INNOVATIVE MODE “TECH PUSH”

S. E. Astrakhantsau

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The article substantiates the need to organize marketing support for scientific research and development work of the university. At the present stage of economic development, the issues of not only creating, but also bringing an innovative product to the consumer become relevant. Technical universities need not only to develop innovations, but also to learn how to effectively transfer innovations and commercialize the results of research activities.

Keywords: innovation, innovation mode, commercialization, marketing, research, support, transfer, university.

Современный этап развития требует от университетов более активного вклада в развитие экономики, основанной на знаниях, посредством коммерциализации результатов научно-исследовательской деятельности и создания новых наукоемких продуктов. В системе Министерства образования Республики Беларусь сконцентрирован значительный кадровый, научно-технический и инновационный потенциал,

который должен эффективно использоваться для решения социально-экономических задач, стоящих перед страной. Однако в целом процесс коммерциализации результатов научно-технической деятельности в Беларуси проходит болезненно, что связано как с объективными, так и субъективными факторами. Это в равной степени относится и к организациям Министерства образования.

Целью исследования является поиск возможностей повышения результативности и эффективности процессов трансфера технологий и коммерциализации результатов научно-технической деятельности университетов. Тема исследования является актуальной, о чем свидетельствует количество публикаций отечественных авторов (А. И. Киселевич, Е. Милоста, Ю. В. Нечепуренко, А. И. Поболь, И. Сержинский и другие).

В настоящем исследовании под коммерциализацией результатов научно-исследовательской деятельности (научных исследований и разработок, НИОКР) понимаем, с одной стороны, это денежный результат, полученный путем продвижения результатов научных исследований и разработок в реальную экономику. С другой стороны, под коммерциализацией результатов научных исследований и разработок понимают собственно процесс продвижения или трансфер результатов научных исследований и разработок на рынок, в реальную экономику [1].

Сфера трансфера технологий является необходимой посреднической средой между наукой и бизнесом, она должна быть встроена в научную организацию или университет. Главное – это ее функция преобразования технического замысла в рыночное предложение в режиме «технологического толчка» и трансляция рыночного запроса в сферу исследований и разработок в режиме «рыночной тяги» [1].

Инновационный режим «технологический толчок» соответствует поиску экономически целесообразных технических применений творческой и научной инициативы. Главной проблемой «технологического толчка» является поиск актуальных рыночных приложений. Обычно такой режим имеет три исхода, перечисленных в порядке нарастания вероятности: 1) удастся разработать новые для рынка товары и услуги, отсутствовавшие на рынке, т. е. выявить неизвестные ранее потребности и нужды покупателей и создать новый бизнес (крайне редко); 2) удастся найти действующий бизнес, который может быть улучшен за счет новых решений (редко); 3) не удастся ни разработать новые для рынка товары и услуги, ни найти действующий бизнес, который может быть улучшен за счет новых решений (в подавляющем большинстве случаев) [1].

Поскольку реализация каждого этапа инновационного цикла направлена на снятие определенных рисков, то и задача участников инновационной деятельности заключается в снятии рисков определенного характера. Поэтому очень важно изначально предусмотреть возможные риски и принять все меры для их предвидения, уменьшения и избегания.

Маркетинговые риски могут быть связаны: 1) с неверным выбором потенциальных партнеров; 2) с неверным определением области применения разработанных результатов и потенциальных потребителей; 3) с неверным определением и оценкой целевых рынков, включая их потенциальный объем; 4) с неточным определением рыночного сегмента и его емкости; 5) с неточным определением себестоимости и цены разработанных решений и стоимости прав на их использование; 6) с неправильной стратегией и технологией сбыта товаров и услуг. Снятие маркетинговых рисков осуществляется путем проведения масштабных маркетинговых исследований квалифицированными специалистами с обеспечением достоверности и полноты полученных сведений. Маркетинговые исследования необходимо проводить на каждом этапе процесса создания и коммерциализации результатов исследований и разработок.

В статье [2] авторы представили вариант практической реализации решения задачи повышения эффективности процессов трансфера технологий и коммерциализации результатов научно-исследовательской деятельности университета. Предложенный алгоритм маркетингового сопровождения научных исследований и опытно-конструкторских работ (НИОКР) вуза представляет собой часть двухуровневой маркетинговой системы (стратегический и операционный уровень), внутри которой он выполняет функции маркетинга инноваций (формулирует и формирует перспективный спрос), непрерывно взаимодействуя с разработчиками инноваций, начиная с поиска идей для инновационного проекта, заканчивая выходом на рынки (рис. 1). Практическая реализация маркетингового сопровождения НИР вуза (его организационное обеспечение) предполагает реализацию функций маркетинга инноваций на базе Центра маркетинговых технологий вуза. Задачами Центра маркетинговых технологий вуза являются тщательное и всестороннее изучение рынка, а также воздействие на рынок таким образом, чтобы это способствовало формированию спроса на научные разработки и готовую инновационную продукцию.

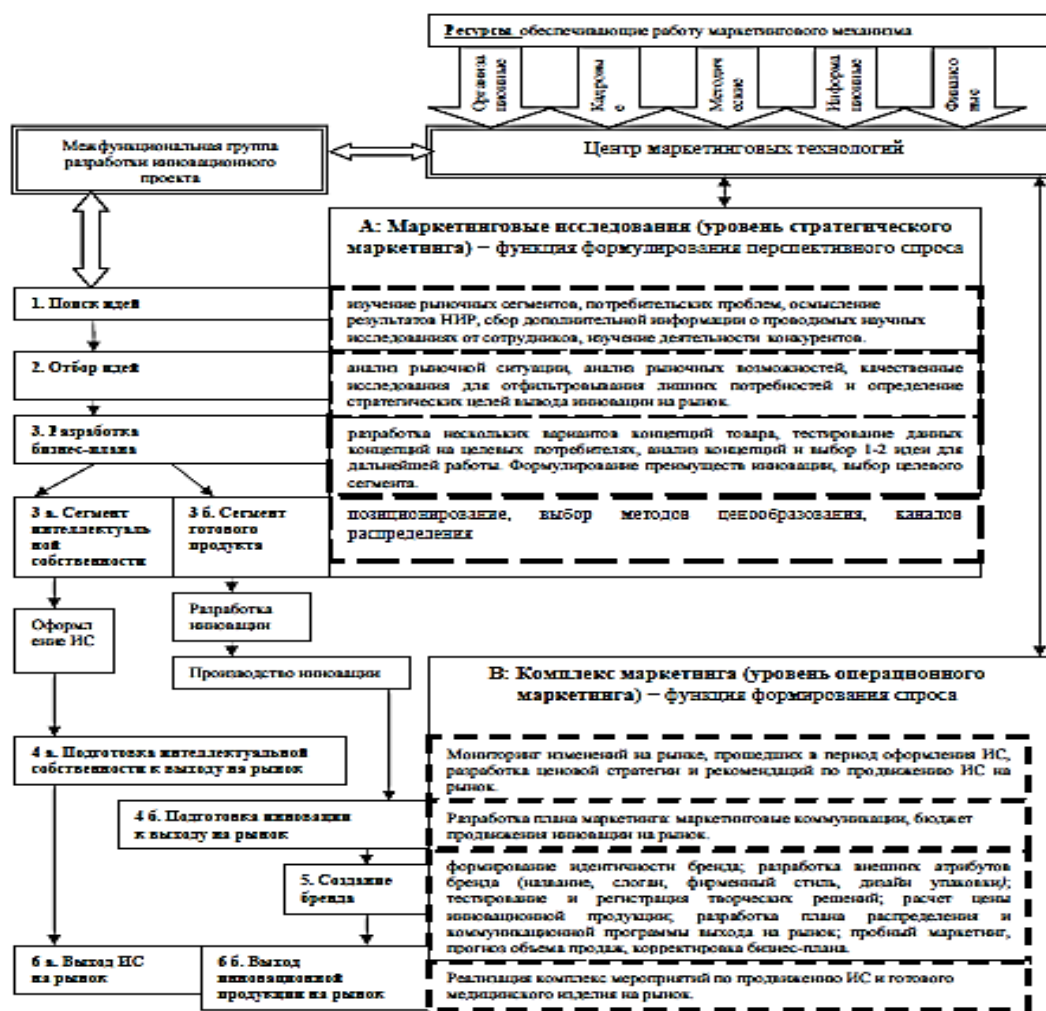


Рис. 1. Алгоритм маркетингового сопровождения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ вуза [2]

Внедрение алгоритма маркетингового сопровождения НИР позволит:

– выявить наиболее перспективные НИР на рынке инноваций, снизить риски провала готовой продукции на рынке, выявив отсутствие перспективы и конкурентоспособности будущего продукта;

– выявить конкурентные преимущества разработки, которые следует заложить в продукт на стадии;

– определить зону ответственности каждого подразделения инновационной инфраструктуры университета на этапах коммерциализации инноваций;

– снабдить разработчиков необходимой маркетинговой информацией;

– разработать направления коммерциализации инновации в соответствии с текущими потребностями рынка потребителей;

– обеспечить планомерный процесс успешной коммерциализации проекта с последующим его продвижением на рынок в соответствии с долгосрочной стратегией организации.

Таким образом, на современном этапе развития экономики актуальными становятся вопросы не только создания, но и доведения до потребителя инновационного продукта. Техническим университетам необходимо не только разрабатывать инновации, но и научиться эффективно осуществлять трансфер инноваций и коммерциализацию результатов научно-исследовательской деятельности.

Литература

1. Антонец, В. А. Основы коммерциализации технологий : учеб.-метод. материал по программе повышения квалификации «Инновационная деятельность в научно-технической сфере. Коммерциализация результатов исследований и разработок» / В. А. Антонец, Н. В. Нечаева. – Нижний Новгород. – 2007. – Режим доступа: <http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2007/90.pdf>. – Дата доступа: 03.10.2022.
2. Семеркова, Л. Н. Маркетинговый подход к коммерциализации инноваций в вузе / Л. Н. Семеркова, С. М. Геращенко, М. М. Геращенко // Вестн. УрФУ. Серия экономика и управление. – 2015. – Т. 14, № 3. – Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/55176/1/vestnik_2015_3_008.pdf. – Дата доступа: 10.09.2022.

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Сборник научных трудов

**В двух частях
Часть 2**

Ответственный за выпуск *Н. Г. Мансурова*

Редакторы: *Т. Н. Мисюрова, О. С. Ковалёва*

Компьютерная верстка: *Н. Б. Козловская, И. П. Минина*

Подписано в печать 23.02.23.

Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 40,92. Уч.-изд. л. 31,5.

Тираж 50 экз. Заказ № 136/4.

Издатель и полиграфическое исполнение

Гомельский государственный

технический университет имени П. О. Сухого.

Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя

печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.

пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель