

Министерство образования Республики Беларусь  
Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого



Научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов  
и молодых ученых

# **МИТРо 2025**

## **«Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника»**

**МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ**



Гомель, 2025

УДК 621+001.895+621.865.8  
ББК 34.4+65-551+30.69+32.816  
М 38

**Редакционная коллегия**

Петришин Г.В. (проректор по учебной работе, к.т.н., доцент)  
Невзорова А.Б. (заведующий кафедрой НГР и ГПА, д.т.н., профессор)  
Лапко О.А. (старший преподаватель кафедры Механика, исследователь)

МИТРо 2025 – Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника  
М38 [Электронный ресурс] : материалы докл. науч.-техн. конф. / Гомель, 5 декабря  
2025 г. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – 282 с.

**Издается в авторской редакции**

Тезисы докладов содержат результаты научных исследований аспирантов, магистрантов и молодых ученых, посвященные актуальным вопросам технологии машиностроения, робототехнике, проектированию технических изделий, моделированию процессов в нефтегазодобыче, энергосбережении, экологии промышленности, механике и аддитивным технологиям.

Для широкого круга читателей.

УДК 621+001.895+621.865.8  
ББК 34.4+65-551+30.69+32.816

© Оформление. ГГТУ им. П.О. Сухого,  
машиностроительный факультет, 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

ВСКРЫТИЕ ИНТЕРВАЛОВ РАЗРЕЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ Авласенко И.С. (магистрант гр. ЗНГИ-21) .....	11
ОБЛИТЕРАЦИЯ В МАЛЫХ ЗАЗОРАХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ АППАРАТОВ Алейник Н.М. (студент гр. ТМ-41) .....	13
ПОДДЕРЖАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ДРОБИЛЬНОЙ КАМЕРЫ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНАШИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ Анисимов Д.М. (студент, г. СГД ГМиО) .....	15
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА УРОКАХ ФИЗИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ RHYWE Аннаева А.Г. ....	17
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕЧНОГО БЫТОВОГО ТОПЛИВА И ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ДИСТИЛЛЯТОВ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕГОНКИ Ареховская М.А. (студент, гр. ТЭ-22) .....	19
ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОСИСТЕМЫ ЦЕНТРА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО СО СТОЛОМ- СПУТНИКОМ Астапенко И. А. (студент, гр. ГА-51) .....	21
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ПОЛЬЗА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ Атабалов Х.Б. (инженер).....	23
МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ТРЕНИЯ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН С ПРОТЯЖЕННЫМ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ОКОНЧАНИЕМ Байковский Д.И. (аспирант).....	25
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ГОРНО-ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ Балетова Ю.В. (студентка, г. 3-СГД ГМиО).....	28
РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОСИСТЕМЫ ПРИВОДА ХОДОВОЙ ЧАСТИ ГУСЕНИЧНОЙ КОСИЛКИ Баранов А.М. (студент гр. ГА-51) .....	30
ВЛИЯНИЕ ВИДА ПЕРЕКАЧИВАЕМОЙ ЖИДКОСТИ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ РАБОЧИХ КОЛЕС ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ Барабанщиков В.Г. (студент, гр. ГА-31).....	32
АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ИСКРИВЛЕНИЯ РОТОРНО-УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ПРИМЕНИМОСТИ Борсук Е.А. (магистрант гр. ЗНГИ-21) .....	34
ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ОСЛОЖНЕНИЯ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИНЫ НА ПРИМЕРЕ ТИШКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ Бочаров Н.В. (инженер <sup>1</sup> , магистрант гр. ЗНГИ-11 <sup>2</sup> ) .....	36
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖАНИЯ НЕОБХОДИМОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НЕФТИ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ Бугримов А. А., (студент, гр. НР-51) .....	39

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ГИДРОПРИВОДА ЭКСКАВАТОРА Быстров Г.И. (студент, гр. ГА-51).....	41
АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ С ПОМОЩЬЮ САПР Вайнер Д.А. (магистрант гр. ММ-11).....	43
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТОКАРНОГО СТАНКА Василец Н.А. (студент, гр. ГА-51) .....	45
АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В САПР Васильев Ю. Е., (магистрант гр. ММ-11) .....	47
ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СТРУЖКИ Вишняков Ф.А. (студент гр. ТМ-41).....	49
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ НЕФТИ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСТАДИЙНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА Войтехин О.Л. ( <i>аспирант</i> ) .....	51
АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНЫХ АБРАЗИВОВ В МАГНИТНО- АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ Воробей А.А. (студент, гр. ТМ-31) .....	53
КОНСТРУКЦИИ ДАТЧИКОВ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ РОБОТОВ Гавриленко Д.Д. (студент, гр. РТ-41).....	55
ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ПРОКТОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА Галушкин И. А. (студент, гр. ТТ-41) ...	57
ПЕРЕРАБОТКА ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ 3D-ПЕЧАТИ Гапонова Д.Н. (студент, гр. ТТ-11) .....	59
ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕДОВЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ Германович В.А. (студент, гр. АП-11) .....	61
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАДИЕНТНЫХ ФИЛЬТРОВ Горовцова В.В. (студентка, гр. ТТ-31).....	63
РОБОТИЗАЦИЯ ЗАГРУЗКИ ЗАГОТОВОК НА СТАНКАХ С ЧПУ Гуща А.О. (магистрант, гр. ММ11).....	65
ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ НА СТРОИТЕЛЬСТВО СКВАЖИНЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КАРОТАЖА НА БУРОВОМ ИНСТРУМЕНТЕ Драпеза А.С. (магистрант) .....	67
ПРЕИМУЩЕСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-ПЕЧАТИ В РОБОТОТЕХНИКЕ Дрозд В.В. (студент, гр. 10114123).....	69
АНАЛИЗ ПРИЧИН ВЫНОСА РАСКЛИНИВАЮЩИХ АГЕНТОВ Дубина Д.А. (магистрант гр. ЗНГИ-21) .....	71
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ОКОН ПИТАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УЗЛА АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВОГО НАСОСА Дубинский В.А. (студент, гр. ГА-41).....	73

МОБИЛЬНЫЕ КОЛЕСНЫЕ РОБОТЫ Дубоделова П.В, (студент, гр. РТ-41) .....	75
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СЕГМЕНТНОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ Дубровский В.В, (студент, гр. АП-31) .....	77
ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕЧНОГО БЫТОВОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ Желобкова Е.Д., Костицкая В.И. (студенты, гр. ЭН-41) .....	79
ДИАГНОСТИКА КАВИТАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОБОРУДОВАНИЯ Жуков Д.А. (студент, гр. ГА-51) .....	82
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ УПЛОТНЕНИЯ КОЛЛЕКТОРА ДЛЯ СКВАЖИН РЕЧИЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ Жуковский А.М. ( <i>аспирант</i> ) .....	84
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ПОЛЗАЮЩИХ РОБОТОВ Закревский А. А. (студент, гр. РТ-41) .....	86
ВИРТУАЛЬНЫЕ И ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ПРОЕКТИРОВАНИИ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ Зверуго А.О. (студент, гр. 10809124) .....	88
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ НАПРАВЛЯЮЩИМ СТАНКОВ Зеленковский Д.И., (студент, гр. ГА-21) .....	89
КАВИТАЦИЯ В ГИДРОТУРБИНАХ Зорин М. А. (студент, гр. ГА-31) .....	92
АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ Кагоцько А.Р. (студент гр. ЗТМ 51) .....	94
МЕТОДЫ ВТОРИЧНОГО ВСКРЫТИЯ ПЛАСТА НА ОСНОВЕ ПРОСТРЕЛОЧНО- ВЗРЫВНЫХ РАБОТ Казак Р.А. (студент гр. НР-31) .....	96
БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ Казаченко А.А, (студент, гр. РТ-41) .....	98
АНАЛИЗ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ В МОБИЛЬНЫХ МАШИНАХ Капшай К.А. (студент, гр. ГА-11) .....	100
КОНСТРУКЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ ПО УЛУЧШЕНИЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ И РОЛИКОВ ТРАНСПОРТЕРОВ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РУДЫ Карцев Д. И. (студент, гр. З-СГД_ГМиО) .....	102
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГИБКИ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА Кирьянов Р.О, (магистрант гр. ММ-11) .....	104
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИДРОСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЗЧИКОМ С АДАПТАЦИЕЙ К НАГРУЗКЕ Клевжиц Д.А. (студент, ГА-51) .....	106
РАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ПРОМЫСЛОВО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН ПО КОНТРОЛЮ ЗА РАЗРАБОТКОЙ Клепча Н.С. (студент гр.НР-31) .....	108
ОПТИМИЗАЦИЯ МИНИМАЛЬНОГО ДЕБИТА В НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЕ ДЛЯ ЕЕ КОНСЕРВАЦИИ Клочко У.В., (студент, гр. НР-51) .....	111

ВИНТОВЫЕ ЗАБОЙНЫЕ ДВИГАТЕЛИ Клыч Е.А, (магистрант, гр. ЗНГИ-11).....	113
КОНСТРУКЦИИ СХВАТОВ РОБОТОВ Коваленко Д.Н., (студент, гр. РТ-41).....	115
РОБОТИЗАЦИЯ СВАРКИ И ВЫРЕЗАНИЯ ОТВЕРСТИЙ В РЕЗЕРВУАРЕ МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ ТИПА МЖУ-16 Козел С. С., Кучинский Е. К., Чурин Г. А. (учащиеся).....	117
ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ГИЛЬЗА» ЦИЛИНДРА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО Колбик Н.Н. (студент) .....	120
ПРОИЗВОДСТВО И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ «ГОЛУБОГО» ВОДОРОДА В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ Колмачёва П.С. (студентка, гр.ТЭ-41).....	122
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПРЕДИКТИВНОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ ДОБЫЧИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ Короткевич Д.В. (студентка, гр. ТЭ-41) .....	124
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ Корнеевец Г.К, (студент, гр. ТМ-41).....	126
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ОБЪЕМНОГО КПД В АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ НАСОСАХ Кривенков В. В. (студент, гр. ГА-41) .....	128
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОГРУЖНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ВЫСОКОДЕБИТНЫХ СКВАЖИН Кривенчук Н.С., (студент, гр. НР-51).....	130
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ДИСТИЛЛЯТОВ Криворучко А.В (студент, гр.ТЭ-22) .....	132
СБОРОЧНЫЕ РОБОТЫ Крючков В.А, (студент, гр. РТ-41).....	134
ОЦЕНКА РЕШЕНИЙ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАЦИЙ, ПРЕИМУЩЕСТВ И ФАКТОРОВ МНОГОСТАДИЙНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА Крючков В.А. (студент гр.НР-31).....	136
ПЛАЗМЕННАЯ НАПЛАВКА КАК КЛЮЧЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН Ксензова В.Ю, (студент, гр. ОП-41).....	138
КЛЕЩЕВОЙ ЗАХВАТ КОВОЧНОГО МАНИПУЛЯТОРА Кудрицкий П.А, (студент, гр. РТ-41) .....	140
ВЛИЯНИЕ ВИДА БЕСКОНТАКТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ НА КПД ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ Кузменков С.С. (студент, гр. ГА-31).....	142
ДИАГНОСТИКА И ПРОФИЛАКТИКА ГИДРОСИСТЕМЫ ТОКАРНОГО СТАНКА С ЧПУ Кульминский Ю.А. (студент, гр. ГА-51).....	144
ТЕХНОЛОГИЯ ЗАХВАТА БИОНИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО РОБОТА: СТРУКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ Лю Яньхао (студент) .....	147

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ РАСТВОРЕННОГО В НЕФТИ ГАЗА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ Майлат Я. А. (аспирант) .....	149
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕФТЕПРОДУКТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ТОПЛИВА Малашин С.М (студент) .....	151
ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДИНАМИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНЫХ МАШИН Марушкова Д.А. (студент, гр. ЗСГД_ГМиО) .....	153
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ Минаш К.Ю., (студент, гр. АТ-21) .....	155
ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ПЯТИЛЕПЕСТКОВОГО ГРЕЙФЕРА Михальчук В. Д. (студент, гр. ТМ-31) .....	157
АНАЛИЗ РИСКОВ, СВЯЗАННЫХ С ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫМИ РЕШЕНИЯМИ Настюшкин П. Р., (студент, гр. НР-51) .....	160
ОПТИМАЛЬНЫЕ ДИАПАЗОНЫ ВАРЬИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОЙ НАПЛАВКИ И СОСТАВА ПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ Невзоров М.В. (аспирант) .....	162
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ПРОЗРАЧНЫХ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ОКСИДНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПРЕКУРСОРОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ Невзорова О.С, (аспирант) .....	164
АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ КОНСТРУКЦИЙ И УСЛОВИЙ РАБОТЫ ПАР ТРЕНИЯ АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ ГИДРОМАШИН Никитин А.В. (студент, гр. ГА-41) .....	166
ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДИНАМИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНЫХ МАШИН Никитин М.Ю. (студент, гр. ЗСГД_ГМиО) .....	168
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ IN-SITU ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ НЕФТЕДОБЫЧЕ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ Никитина А. Г. (студент, гр. НР-51) .....	170
АНАЛИЗ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПЛАСТИНЫ ПЛАСТИНЧАТОГО НАСОСА Новак М.Д. (студент, гр. ГА-41) .....	173
СВОЙСТВА НИОБИЙ-КРЕМНИЕВОГО СПЛАВА И АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ГИПЕРЗВУКОВЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ Носко Д.П. (студент, гр. И-11) .....	175
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УТЕЧЕК ЖИДКОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИНЧАТОГО НАСОСА Овсянников С. А. (студент, гр. ГА-41) .....	177
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАТФОРМЫ UNITRAIN ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ УПРАЖНЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ Оразбердиева Э.М., (преподаватель) .....	179

ПОВЫШЕНИЕ ИНТЕРЕСА СТУДЕНТОВ К ОБУЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ Оразмередов М.А. (преподаватель) .....	181
ТАМПОНАЖНЫЕ РАСТВОРЫ В ПРОЦЕССЕ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН Паладич Е.В., (студент, гр. НР-21).....	184
ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИИ НА ВЕЛИЧИНУ ПУЛЬСАЦИЙ ПОДАЧИ ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА Панглиш А.С. (студент, гр.ГА-41).....	186
СОВРЕМЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ Петровский А.С. (студент) .....	188
ПОВЫШЕНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ СКВАЖИН Пешкун А.В. (студент, гр. НР-51) .....	191
ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ПЕЧАТИ В ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ Пивовар С.Н., (студент, гр. ОП-41).....	193
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕЗОТХОДНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ НА БМЗ Позняк Р.Н. (студент гр. ЗТМ 51).....	195
СТЕМ-ПОДХОД В ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ: ИННОВАЦИИ И РОБОТОТЕХНИКА КАК НЕОБХОДИМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ Полатова Л., (студент, гр. Ф-501).....	197
ПРИМЕНЕНИЕ НАПОРНОЙ ВОЛОКИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ПРОВОЛОКИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ СВИВКИ МЕТАЛЛОКОРДА Помаз Д.А. (студент, гр. ГА-21).....	199
ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГИДРОУЗЛА ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО СТАНКА Пронин П.Д. (студент, гр. ГА-51).....	201
УСТАНОВКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ НАРУЖНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ Рогов С.В. (аспирант).....	204
ИННОВАЦИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ, ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА И ИИ В СОВРЕМЕННОМ ИНЖЕНЕРНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ Ромашенко С.А, (студент, гр. АП-11).....	206
МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСА ВНЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ЗОНЫ РАБОТЫ Рудавский Т.В. (студент, гр. ГА-31).....	208
СИСТЕМАТИЗАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ БУРОВЫХ НАСОСОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ СКВАЖИНЫ Савельев Д. О., (студент, гр. НР-51) .....	210
УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ Садовников Е.С, (студент, гр. ОП-41) .....	212
МЕТОДЫ БОРЬБЫ С КАРБОНАТНЫМИ СОЛЕОТЛОЖЕНИЯМИ НА СКВАЖИННОМ ОБОРУДОВАНИИ Северин Д.Д. (студент гр.НР-31).....	214

ПРОГРАММИРУЕМЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РОБОТАХ Серафимович А.В, (студент, гр. РТ-41) .....	216
РОБОТЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТРУБ Смирнов Н.А. , (студент, гр. РТ-41) .....	218
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКОЙ БЛЯШКИ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СТЕНКИ АРТЕРИИ ПРИ РАСКРЫТИИ СТЕНТА Старовойтов А.П., (студент, гр. ТТ-11).....	220
РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТЕЛЛАЖА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ПРУТКОВ Старовойтов И.П., (студент, гр. ТТ-11).....	223
МЕТОДИКА РАСЧЁТА ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС С ПРОГНОЗИРУЕМЫМ СРОКОМ СЛУЖБЫ Стасенко Т. Д. (магистрант, гр. ММ-11).....	225
ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УЛАВЛИВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ СО <sub>2</sub> В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ Сыбатова К.С. (студентка).....	227
СОКРАЩЕНИЕ ОБЪЕМА ПОПУТНО ДОБЫВАЕМОЙ ВОДЫ И ЗАКАЧКА ЕЕ В ПЛАСТ Сыч В.О., (студент, гр. НР-51) .....	229
РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПОЧВЫ ОТ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДСОРБЕНТОВ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ Сюз Пэн (магистрант ) .....	231
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ Таран А.В. (студент, гр. ТЭ-41) .....	234
ПОВЫШЕНИЕ ИНТЕРЕСА СТУДЕНТОВ В ЛЕКЦИЯХ ПО ФИЗИКЕ (ОПТИКА) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ Тачмухаммедова О. Б., (преподаватель).....	236
ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ Тиханкова И.Д. (студент, гр. ГА-11).....	238
ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ БУРЕНИЯ БОКОВЫХ СТВолов Ткачев С.С. (студент, гр. НР-31) .....	241
ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТА Ткачёва В.Д. (студент, гр. НР-31) .....	243
ВЫСОКОТОЧНОЕ ЛИТЬЕ ЧУГУННЫХ ЗАГОТОВОК: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА Федосенко А.Ю (студент, гр. ТМ-41) .....	245
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕРТИКАЛЬНО-ТОКАРНОГО СТАНКА HW 500 P Фоменок М.Н. (аспирант) .....	247
АНАЛИЗ ПРОГРЕССИВНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ШЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ Фролов В.Д. (студент, гр. ТМ-41).....	249

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ САМОНАСТРОЙКИ ИСТОЧНИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА КОЛЕБАНИЯ С СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТОЙ Хоменок Я.А. (студент, гр. ГА-51).....	251
ПРИМЕНЕНИЕ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ЭЛЕКТРОНИКЕ Хуммаева О.Х., преподаватель.....	254
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРУТКАХ ИЗ СТАЛИ GCR15 Цуй Чжэн (магистрант) .....	256
НОВЫЕ ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ДИФФУЗИОННО- БОРИРОВАННОЙ СТАЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ Чернецкий С.И. (аспирант).....	258
МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРИВОДА ПЛЮЩИЛЬНЫХ ВАЛЬЦЕВ КОСИЛКИ- ПЛЮЩИЛКИ РОТАЦИОННОЙ ТРЁХСЕКЦИОННОЙ НАВЕСНОЙ КПП-9 Чирков А.В. (инженер), Секач А.Д., (инженер) .....	261
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВОК ТИПА УЭЦН С ПЧ Чернушевич А.Г. (студент, гр. НР-51).....	263
ЛИТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОБОТОВ Чушов М.А. (студент гр. РТ-41) .....	265
ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТИ, ПЕРЕКАЧИВАЕМОЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ НАСОСОМ, НА ПОЛОЖЕНИЕ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ Шатон Д.А., (студент, гр. ГА-31) .....	267
СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО КАБИНЕТА ИОННО- ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ Шах А.В., Шапович Е.Г. Макаревич А.С. ....	269
БУРЕНИЕ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСЦИЛЛЯТОРА Шемлей А.Р. (студент гр. НР-31) .....	271
ГИДРОРАЗРЫВ ПЛАСТА В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ Шестопапов В.Ю., (студент, гр. НР-21).....	274
АНАЛИЗ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРИЧИНЫ ВИБРАЦИИ ТРУБОПРОВОДА НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ УСТАНОВКИ ГИДРОКРЕКИНГА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА Юй Янъян (аспирант) .....	276
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОДБОРА КОМПОНОВОК НАСОСНЫХ ШТАНГ Ясюкевич Н.И. (магистрант, гр. ЗНГИ-11).....	279

## **ВСКРЫТИЕ ИНТЕРВАЛОВ РАЗРЕЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ**

**Авласенко И.С. (магистрант гр. ЗНГИ-21)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** В подсолевом и межсолевом нефтегазоносных комплексах ряда районов Припятского прогиба встречены пласты с аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД). В данной работе рассматривается один из наиболее эффективных методов проводки глубоких скважин в зонах распространения АВПД, основанный на технологии бурения с управляемым давлением (БРД). Обсуждается вопрос научного обоснования выбора технологии строительства и конструкции скважины в условиях узкого или неизвестного окна бурения для конкретных геолого-технических условий одного из участков рассматриваемого региона.

**Цель работы** – комплексная оценка преимуществ технологии бурения с регулируемым давлением на примере скважины 6 Гарцевская.

**Результаты анализа.** При поисково-разведочном бурении в подсолевом и межсолевом нефтегазоносных комплексах целого ряда зон и локальных объектов Припятского прогиба встречены аномально высокие пластовые давления [1]. Так, при доразведке подсолевых залежей восточного блока Гарцевского нефтяного месторождения в межсолевых отложениях (туровские слои елецкого горизонта) были вскрыты породы-коллекторы с АВПД с весьма высокими значениями коэффициента аномальности. Условия бурения на скважинах с АВПД характеризуются узким допустимым диапазоном статической и циркуляционной плотности бурового раствора («окном бурения»). По этой причине вскрытие нефтегазоносного резервуара с АВПД привело к значительному непроизводительному времени строительства скважины. Были понесены дополнительные затраты при борьбе с НГВП и поглощениями.

В мировой практике одной из наиболее эффективных технологий в схожих условиях узкого окна бурения является бурение с регулируемым давлением. Данная технология является дорогостоящей и ее применение экономически оправдано не на каждой скважине.

Применение технологии БРД снижает затраты на химические реагенты и буровой раствор, поглощаемые при превышении давления гидроразрыва. Проявления газонефтяной смеси из пласта оперативно обнаруживаются, а их объем значительно уменьшается за счет создания противодействия [2].

Технология БРД, применяемая в системе «скважина-пласт» не ухудшает фильтрационные свойства пласта и снижает вероятность осложнений и аварий до минимума. Данная технология позволяет достичь значительного

снижения воздействия промывочной жидкости на продуктивный пласт (снижение скин-эффекта в призабойной зоне скважины), дает возможность бурения трещиноватых коллекторов без необходимости кольматирования продуктивных зон, что способствует увеличению коэффициента извлечения нефти и сроков продуктивности скважин [2].

Комплексная оценка технологических преимуществ системы БРД рассматривается на примере гидравлического моделирования во время основных операций при бурении межсоловых отложений в скважине 6 Гарцевская по проектной и предлагаемой конструкции.

Основными элементами системы БРД являются роторный устьевой герметизатор (РУГ), блок дросселирования, расходомер Кориолиса. Система БРД позволяет остановить и устранить умеренное проявление пластового флюида без глушения скважины. Позволяет оперативно обнаружить даже минимальные проявления и поглощение [3].

Уравновешивание давления вскрытого пласта регулируется сочетанием таких факторов как давление на устье, эквивалентной циркуляционной плотности и плотности бурового раствора.

Для поддержания репрессии на пласт столбом жидкости плотностью 1,73 г/см<sup>3</sup> необходимо создать дополнительное противодействие на устье 9,5 МПа. Система БРД позволяет поддерживать градиент ЭЦП всех основных операций в пределах узкого окна бурения 1,88-2,0 МПа/100 м.

**Заключение.** Проведено гидравлическое моделирование бурения на примере скважины 6 Гарцевская в условиях АВПД с проектной конструкцией по стандартной технологии и с предлагаемой конструкцией с технологией БРД.

При бурении с проектной конструкцией скважины 6 Гарцевская в условиях АВПД по стандартной технологии ожидается как НГВП, так и поглощение бурового раствора.

Установлено, что с применением технологии БРД на примере скважины 6 Гарцевская требуется «окно бурения» в 14 раз меньше, чем при стандартной технологии, что является важным техническим преимуществом.

Технология БРД при вскрытии межсоловых отложений одной секцией диаметром 165,1 мм скважины 6 Гарцевская в условиях АВПД позволяет обеспечить ЭЦП во время всех операций в пределах «окна бурения».

**Благодарность.** Выражаю признательность профессору Порошину Валерию Дмитриевичу за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

1. Авласенко, И. С. Инженерная оценка целесообразности применения технологии бурения с регулируемым давлением на Гарцевском нефтяном месторождении Припятского прогиба / И. С. Авласенко, В. В. Пологеевко, Д. В. Порошин // Нефтегазовый инжиниринг. – 2025. – № 1. – С. 77–84.

2. Войтехин О.Л. Апробация технологии PLUTON в условиях I–III пачек петриковских продуктивных отложений скважины 466g Речицкой / О. Л. Войтехин [и др.] // Нефтегазовый инжиниринг. – 2024. – № 1 (1). – С. 8–16.
3. Шишканова Л. В. К вопросу определения аномально высоких пластовых давлений, коэффициента аномальности методом эквивалентных глубин //Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2025. – №. 2 (170). – С. 54-68.

## **ОБЛИТЕРАЦИЯ В МАЛЫХ ЗАЗОРАХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

**Алейник Н.М. (студент гр. ТМ-41)**

*Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** В современном гидравлическом оборудовании часто встречаются аппараты с прецизионными поверхностями, требующими наличия минимальных зазоров и максимальной чистоты жидкости. Основной проблемой эксплуатации подобных устройств является облитерация. Этот эффект носит негативный характер из-за снижения чувствительности распределителей, электрогидравлических усилителей и другой золотниковой техники.

**Целью** настоящей работы является исследование облитерации в дроссельных щелях и выявление методов минимизации её последствий.

**Анализ полученных результатов.** При значительном повышении давления в гидросистеме начинают проявляться аномальные свойства движения жидкости, выраженные в резком уменьшении утечек через радиальный зазор (только при статических условиях плунжерной пары). Данное явление при течении жидкости в малых зазорах плунжерных пар объясняется появлением облитерации малых зазоров.

А работе приведена одна из гипотез возникновения облитерации в узких щелях и капиллярах – поляризация слоев жидкости. На границах разнополярных слоев возникают запорные слои, подобные запорным слоям в диодах и транзисторах. Число слоев (равно толщине пограничного слоя) ограничивается равенством сил сцепления последнего слоя с предыдущим в пограничном слое и сил вязкости этого слоя основным потоком жидкости в зазоре. Многослойная жидкость в пограничном слое подобна большому количеству транзисторов в «запертом состоянии», включенных последовательно. Сопротивление этого слоя прохождению электрического тока при движении жидкости возрастает в десятки, сотни, даже тысячи раз по сравнению с сопротивлением слоя жидкости в покое той же толщины и площади. Этот эффект может найти применение при изучении и объяснении

облитерации жидкости в зазорах и позволит избежать ошибок при измерении толщины пленки диэлектрической жидкости емкостным и другими способами.

С другой стороны, известно, что молекулярные явления, связанные с образованием границы адсорбционных слоев, играют исключительно важную роль в различных процессах смазки, холодной обработки металлов и воздействия на прочность твердых тел. Однако, не только эти фундаментальные проблемы тесно связаны с необходимостью учета молекулярных эффектов.

Наблюдения показывают, при протекании жидкостей, их смесей и растворов, через капиллярные щели и каналы происходит уменьшение объемной скорости истечения, часто приводящее к полной облитерации капиллярной системы.

Для вполне чистых жидкостей, не способных к адсорбции на твердых стенках, эти явления могут получить чисто физическое объяснение как результат влияния поля твердой фазы. Можно допустить, что при постепенном уменьшении сечения капиллярной щели достигаются такие ее размеры, при которых под действием поля твердой фазы увеличивается вязкость жидкости (аномальная вязкость тонких слоев жидкости) и классический закон истечения (Пуазейля) нарушается.

При наличии в жидкости растворенного вещества, способного к адсорбции, явление облитерации легко объясняется образованием адсорбционных слоев.

Во время работы гидропривода в плунжерной паре происходит неизбежное зарастивание радиального зазора. В работе приведены зависимости для определения основных параметров возникновения облитерации, показано графически влияние толщины адсорбционного слоя на объем утечек в плунжерной паре.

**Заключение.** Установлено, что при достижении давления, примерно соответствующего аномальному изменению утечек в статических условиях, мощность, потребляемая на сообщающее осциллирующее движение плунжера резко возрастает. Данный факт свидетельствует о необходимости дополнительного подвода энергии на разрушение образующихся облитерационных структур.

В целях профилактики явления облитерации предложено вносить некоторый запас по зазору в конструкциях гидроаппаратов, но такое решение имеет негативное влияние на общий КПД гидропривода в результате увеличения утечек через зазоры.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Г.С.Кульгейко, старшему преподавателю, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

### **Список литературы**

1. Башта, Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем/ Т.М. Башта. – Москва: Машиностроение, 1989.
2. Михневич А. В., Михневич Н. Н. Исследование динамики жидкости в поршневых парах объемных гидромашин/ А. В Михневич., Михневич Н. Н. //Вестник Гомельского государственного технического университета им. ПО Сухого. – 2009. – №. 2 (37). – С. 064-068.
3. Кульгейко, Г. С. О функциональном нормировании точности геометрических параметров прецизионных пар гидропривода / Г. С. Кульгейко, М. П. Кульгейко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIV международной научно-практической конференции, посвященной Году качества : в 2-х частях, Гомель, 20–21 ноября 2025 года / Белорусский государственный университет транспорта. – Гомель, 2025. – Часть 2. – С. 119–121.

УДК 621

## **ПОДДЕРЖАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ДРОБИЛЬНОЙ КАМЕРЫ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНАШИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ**

**Анисимов Д.М. (студент, г. СГД ГМиО)**

*Филиал Мурманского арктического университета,  
г. Апатиты, Россия*

**Актуальность:** Решение этой задачи необходимо для обеспечения стабильности и безопасности технологического процесса, поскольку критический износ элементов камеры может привести к вибрациям, поломкам и выходу из строя всего оборудования. Разработка и совершенствование имеющихся методов обработки выходящих из строя деталей может продлить срок службы уже имеющихся оборудования, что позволит выиграть время для изготовления уже новых деталей и избежать долгого простоя оборудования.

**Цель работы** – анализ методов поддержания геометрии дробильной камеры и восстановление изнашиваемых деталей, и выбор наиболее подходящих для конкретного случая.

### **Анализ изученных данных:**

Правка и выравнивание — это механическое «выпрямление» деформированных элементов дробильной камеры без замены деталей. С помощью гидравлических домкратов и прессов стенкам камеры возвращается первоначальная геометрия. Процесс контролируется измерителями. В результате восстанавливаются рабочие зазоры, минимизируются вибрации, что позволит подготовиться к обслуживанию в то время, как оборудование будет работать.

Механическая обработка - после наплавки или правки часто необходимо вернуть детали точные размеры. Затем идёт восстановление геометрии путем снятия слоя металла с рабочих поверхностей. С помощью станков (токарных, фрезерных) удаляются лишние участки, убираются выработки и неровности. В результате возвращаются правильные формы и размеры, восстанавливаются посадочные места для подшипников и других элементов. Метод позволяет использовать старые детали повторно, но требует профессионального оборудования и квалификации исполнителей.

Термообработка - Метод основан на контролируемом нагреве и охлаждении металлических деталей для восстановления их геометрии. При локальном нагреве деформированных участков создаются внутренние напряжения, которые "вытягивают" металл в исходное положение. Последующее медленное охлаждение фиксирует полученную форму. Этот способ эффективен для устранения перекосов и коробления крупногабаритных деталей без механического воздействия.

Наплавка и восстановление поверхности - Это процесс нанесения нового слоя металла на изношенные поверхности деталей с помощью сварки. На поврежденные участки (например, на дробящие плиты или броню) послойно наваривается специальный износостойкий материал — твердые сплавы или композитные наплавочные проволоки. В результате деталь хоть и не с такими свойствами как изначально, но продлевает свой срок службы. Метод экономически выгоден, так как позволяет многократно восстанавливать дорогостоящие элементы без замены.

Пластическое деформирование - это восстановление формы и размеров изношенных деталей без сварки или наплавки, за счет механического воздействия на металл. Раздавливанием, осадкой, вытяжкой или правкой материал перемещается из менее нагруженных зон в зоны износа, заполняя выработки и восстанавливая первоначальный контур. Метод сохраняет структуру металла, не требует присадочных материалов и подходит для ремника валов, втулок, зубчатых передач и других элементов, где важно сохранить монолитность детали.

### **Заключение.**

Проведенное исследование методов поддержания геометрии дробильной камеры и восстановления изнашиваемых деталей показало их высокую эффективность для промышленной эксплуатации. Каждый из рассмотренных способов — правка и выравнивание, механическая обработка, термообработка, наплавка и пластическое деформирование — имеет четкую область применения и может быть оптимально подобран в зависимости от характера и степени повреждения оборудования.

Наиболее перспективным направлением дальнейших исследований представляется разработка комбинированных технологий, сочетающих несколько методов восстановления, а также создание

автоматизированных систем диагностики и мониторинга состояния дробильных камер в реальном времени.

**Благодарность.** *Выражаю признательность научному руководителю Невзоровой А.Б. (д.т.н., профессору) за консультацию и помощь при анализе результатов и подготовке данной работы.*

#### **Литература**

1. Неразрушающий контроль. Справочник в 7 томах под редакцией чл.-корр. Ран в.в. Клюева, т.7 – Москва, 2005. – 828 с.

2. Никифоров, В. М. Технология металлов и других конструкционных материалов / В. М. Никифоров. — Санкт-Петербург : Политехника, 2015. — 384 с.

3. Петришин Г.В., Быстренков В.М., Одарченко В.И.. Метод обеспечения износостойкости лопаток лопастных смесителей // Литьё и металлургия. – 2019. – № 2. – С. 32-35.

УДК 372.853

### **ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА УРОКАХ ФИЗИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ PHYWE**

**Аннаева А.Г., (старший преподаватель)**

*Государственный энергетический институт Туркменистана,  
г.Мары, Туркменистан.*

**Актуальность темы.** Современное образование в области физики требует не только усвоения теоретических знаний, но и формирования практических навыков проведения экспериментов и анализа физических процессов. Традиционные лабораторные занятия часто ограничены в количестве оборудования, точности измерений и наглядности, что снижает мотивацию студентов и затрудняет понимание сложных явлений [1].

Использование учебного оборудования Phywe открывает новые возможности для организации интерактивных и безопасных экспериментов на занятиях по физике. Цифровые датчики, модульные установки и системы сбора данных позволяют студентам наблюдать результаты в реальном времени, проводить измерения с высокой точностью и анализировать данные с помощью современных программных средств. Это способствует более глубокому усвоению теоретического материала, развитию исследовательской компетентности и подготовке студентов к профессиональной деятельности в научно-технической сфере [2].

Таким образом, актуальность внедрения оборудования Phywe обусловлена необходимостью повышения качества физического образования, интеграции современных технологий в учебный процесс и формирования у

студентов практических навыков, востребованных в исследовательской и инженерной практике.

**Цель данной работы** является изучение возможностей и преимуществ использования учебного оборудования Phywe для проведения физических экспериментов, повышение наглядности и точности измерений на занятиях, а также формирование практических навыков студентов в исследовательской и экспериментальной деятельности.

**Анализ полученных результатов.** В ходе работы были проведены экспериментальные занятия с использованием оборудования Phywe, включающие измерение физических величин, исследование законов механики, электричества, оптики и термодинамики [3]. Полученные результаты показали, что применение цифровых датчиков и модульных лабораторных установок значительно повышает точность измерений и наглядность экспериментов по сравнению с традиционными методами.

Использование Phywe позволило [1]:

Сократить время подготовки экспериментов благодаря модульной конструкции и готовым лабораторным комплектам.

Повысить вовлечённость студентов через интерактивное взаимодействие с экспериментальной системой и визуализацию данных в реальном времени. Обеспечить более точный сбор и обработку данных, что способствует формированию аналитических навыков и умению делать обоснованные выводы на основе экспериментов [4].

Проверять теоретические закономерности на практике, сравнивая полученные результаты с расчётными значениями и графическим представлением зависимостей.

Результаты показали, что оборудование Phywe является эффективным инструментом для обучения студентов физике: оно позволяет проводить как классические, так и современные эксперименты, повышает качество усвоения материала, формирует исследовательские навыки и способствует развитию практической компетентности.

**Заключение.** Проведённое исследование показало, что использование оборудования Phywe на занятиях по физике существенно повышает качество учебного процесса. Цифровые датчики, модульные лабораторные установки и системы сбора данных обеспечивают высокую точность измерений, наглядность экспериментов и интерактивное вовлечение студентов в учебный процесс.

Использование Phywe позволяет проверять теоретические закономерности на практике, ускоряет процесс проведения экспериментов и сокращает время подготовки занятий. Это способствует формированию у студентов практических навыков, исследовательских компетенций и способности к самостоятельному анализу экспериментальных данных.

Внедрение оборудования Phywe в образовательный процесс делает занятия более современными, интерактивными и ориентированными на

развитие практических навыков, что повышает мотивацию студентов и способствует лучшему усвоению теоретического материала. Таким образом, оборудование Phywe является эффективным инструментом подготовки студентов к профессиональной деятельности в научно-технической и исследовательской сфере.

#### **Список литературы**

1. Phywe Systems GmbH & Co. KG. Physics Experiments with Phywe Equipment: User Manuals and Guides. Göttingen: Phywe, 2021. – 320 p.

2. Королёв И. Н. Использование цифровых лабораторных комплексов для формирования экспериментальных навыков у студентов // Вестник науки и образования. – 2022. – №7. – С. 60–66.

3. Hofmann M., Müller R. Modern Laboratory Experiments in Physics Education. Springer, 2020. – 250 p.

4. Невзорова, А. Б. Выбор веб-сервиса для создания цифрового образовательного мероприятия/ А. Б. Невзорова, Н. С. Горощко// Цифровая трансформация. – 2020. – № 4 (13). – С. 34–43. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2020-4-34-43>.

УДК 662.7

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕЧНОГО БЫТОВОГО ТОПЛИВА И ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ДИСТИЛЛЯТОВ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕГОНКИ**

**Ареховская М.А. (студент, гр. ТЭ-22)**

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Необходимо изучать влияние концентрации дизельного дистиллята на свойства печного бытового топлива (далее – ПБТ), так как правильный выбор концентраций помогает избежать проблем с запуском, образованием нагара, засорением топливной системы и другими техническими аспектами [1]. Влияние концентрации дизельного дистиллята на свойства топлива (такие как вязкость, плотность, испаряемость и др.) помогает обеспечить стабильное качество и соответствие стандартам. Таким образом, изучение зависимости свойств топлива от концентрации помогает создавать более экономичные и надежные виды топлива .

**Цель работы-**исследовать влияние концентрации дизельного дистиллята вторичной перегонки на свойства печного бытового топлива.

Путем интенсивного подмешивания дизельного дистиллята в ПБТ были получены эмульсии, состоящие из ПБТ и 10 до 50 % дизельного дистиллята вторичной перегонки [2]. Определены такие показатели, как температура вспышки, температура воспламенения, плотность и вязкость. Исследования

показывают, что добавление дизельных дистиллятов вторичной перегонки в ПБТ улучшает некоторые характеристики.

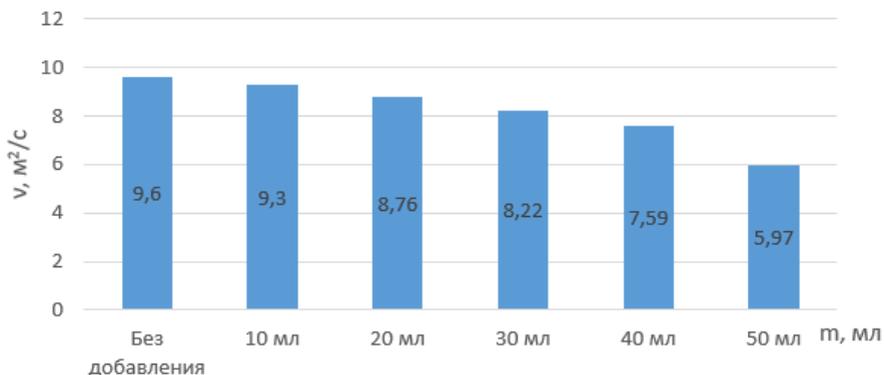


Рисунок 1 – Изменение вязкости от концентрации дизельного дистиллята

Было установлено, что температура вспышки и воспламенения при увеличении концентрации дистиллята уменьшается, но при это остается выше, чем у мазута и дизельного топлива. При использовании топлива с более низкой температурой вспышки оно будет легче испаряться, так как имеет более легкие и мелкие молекулы. А значит нужно будет затратить меньше энергии для начала горения. Однако отрицательным фактором является повышение пожароопасности топлива, поэтому необходимо соблюдать меры предосторожности.

При увеличении концентрации дизельного дистиллята до 50 мл вязкость снизилась в 1,5 раза. В отличии от топлива с более высоким значением, которое дольше испаряется и не может полностью сгореть, использование топлива с меньшим значением вязкости позволяет получить мелкие и однородные по составу капли, что улучшает процессы испарения и смесеобразования.

Печное бытовое топливо и топлива на основе дизельных дистиллятов вторичной перегонки имеют ряд ключевых различий в составе, характеристиках и области применения. Оба продукта используются в качестве энергоносителей, но их свойства и технологии производства различаются.

Исследования показывают, что добавление дизельных дистиллятов вторичной перегонки в ПБТ улучшает некоторые характеристики. Вязкость и плотность: снижаются, что положительно влияет на смесеобразование и испарение топлива, уменьшает нагарообразование и задымление. Температура вспышки и воспламенения: снижаются с увеличением концентрации дизельных дистиллятов.

**Заключение.**

Применение полученного энергетического топлива на основе дизельного дистиллята позволяет улучшить показатели плотности и вязкости. При использовании такого топлива значительно снизятся выбросы в окружающую среду. К тому же снижение показателей способствует уменьшению нагарообразования, что оказывает положительное влияние на эксплуатацию оборудования.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Макеевой Екатерине Николаевне, кандидату технических наук, доценту, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

**Список литературы:**

1. Макеева, Е. Н. Свойства эмульсий печного бытового топлива / Е. Н. Макеева, А. А. Ковальчук // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого : научно-практический журнал. – 2024. – № 3. – С. 53–58.

2. Ковальчук А. А. Улучшение характеристик печного бытового топлива добавления дизельных дистиллятов вторичной перегонки / А.А. Ковальчук, Е.Н. Макеева // Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения – 2024 «Энергетика и цифровая трансформация»: электронный сборник статей по материалам конференции: [в 4 томах] / под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2024. – Т. 2. – С. 213–216.

3. Ключинский В. П., Овсянник А. В. Термодинамический и технико-экономический анализ тригенерационных установок на органическом цикле Ренкина // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. – 2022. – №. 1 (88). – С. 80-89.

УДК

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ  
ГИДРОСИСТЕМЫ ЦЕНТРА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО  
ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО СО СТОЛОМ-СПУТНИКОМ**

**Астапенко И. А. (студент, гр. ГА-51)**

*Гомельский государственный технический университет  
им. П.О. Сухого, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Актуальность темы обусловлена тем, что повышение эксплуатационной надежности гидросистемы напрямую влияет на стабильность и точность работы центра горизонтальной обработки, снижая простои и затраты на ремонт. Решение данной задачи позволит повысить эффективность производственного процесса и долговечность оборудования. Новизна исследования может заключаться в разработке или применении

усовершенствованных методов диагностики, анализа отказов и оптимизации параметров гидросистемы с учетом спецификации стола-спутника [1].

**Целью работы** является повышение эксплуатационной надежности гидросистемы центра горизонтального обрабатывающего со столом-спутником путем анализа факторов, влияющих на её отказоустойчивость, выявления закономерностей износа и деградации элементов, а также разработки и обоснования технических и организационных мероприятий, направленных на повышение стабильности и долговечности работы системы.

**Анализ полученных результатов.** Объектом исследования является гидросистема центра горизонтального обрабатывающего со столом-спутником, предназначенная для обеспечения работы исполнительных механизмов, перемещения и фиксации заготовок, а также поддержания стабильных рабочих параметров технологического оборудования.

Факторы влияющие на отказоустойчивость в центре горизонтальном обрабатывающем станке: механический износ компонентов что приводит к износу подшипников, направляющего крепления; электронные системы такие как сбой в системе ЧПУ, неисправности датчиков; сбой в гидравлических системах; протечки, снижение давления; влияние окружающей среды а именно, охлаждающие жидкости вызывающие коррозию и засоры, перегрузки, неправильный режим работы [2]/

В процессе эксплуатации гидросистема подвергается влиянию таких факторов, как вибрации (2-4 Гц), температурные колебания (1-5 °С), перепады давления (20 МПа) и воздействие микрочастиц загрязнений (50-100 мкм). Всё это приводит к постепенному износу элементов и снижению её надёжности [3].

С целью повышения эксплуатационной надежности гидросистемы был разработан комплекс мероприятий, направленных на устранение основных причин отказов и стабилизацию рабочих параметров системы.

1. Для поддержания требуемого класса чистоты рабочей жидкости. Анализ эффективности существующих фильтров показал, что их производительность и качество фильтрации не обеспечивают требуемый уровень очистки при длительной эксплуатации.

Предлагается внедрить фильтры тонкой очистки с увеличенной поверхностью фильтрующего элемента и системой визуальной индикации засорения. Это решение позволит увеличить интервал замены фильтров, снизить содержание механических примесей и продлить срок службы насосов и распределителей.

2. Для контроля загрязнённости масла предлагается система мониторинга чистоты рабочей жидкости по анализу показателей мутности и давления до и после фильтра. При достижении критических значений система будет автоматически сигнализировать оператору о необходимости технического обслуживания.

3. Для предотвращения перегрузки и повышения долговечности насосных агрегатов необходимо оптимизировать их режим работы. За счет применения регулируемого привода, который позволяет изменять подачу насоса в зависимости от текущих потребностей системы. Что позволит значительно снизить частоту перегрева масла и уменьшить энергопотребление на 10–12 %.

**Заключение.** В результате проведенного исследования установлено, что повышение эксплуатационной надёжности гидросистемы центра горизонтального обрабатывающего со столом-спутником достигается за счёт комплексного подхода, включающего совершенствование конструкции системы, улучшение фильтрации, внедрение средств диагностики и оптимизацию режимов работы оборудования. Проведённый анализ подтвердил эффективность, снизилось количество отказов, повысилась стабильность рабочих параметров и увеличился межремонтный интервал.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Невзоровой Алле Брониславовне за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы.**

1. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. . Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов -4-е изд., стереотипное, перепечатка со второго издания 1982 г. – М: «Издательский дом Альянс», 2010. — 280 с.

2. Кольга А. Повышение надёжности и упрощение систем управления гидравлическими приводами сельскохозяйственных машин. - Научно-технический вестник: технические системы в АПК, 2021. — 120 с.

3. Шимановский А.О. Гидродинамическая нагруженность котла железнодорожной цистерны при соударении вагонов / А.О.Шимановский, А.В. Пулято. — Материалы. Технологии. Инструменты. — 2005. - № 3 . С. 45-48.

УДК 620.92

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ПОЛЬЗА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

**Атабалов Х.Б.**, (инженер)

*Государственный энергетический институт Туркменистана,  
г.Мары, Туркменистан.*

**Актуальность темы.** Альтернативная энергетика сегодня является одним из ключевых направлений технологического развития, поскольку мировое сообщество стремится снизить зависимость от ископаемых ресурсов,

уменьшить выбросы парниковых газов и обеспечить энергетическую безопасность. В этих условиях возрастает необходимость в создании высокоэффективного, надёжного и экономически доступного энергетического оборудования. Аддитивные технологии, основанные на послойном формировании изделий, открывают принципиально новые возможности для развития альтернативной энергетики. Они позволяют создавать сложные геометрии, недостижимые при традиционном производстве, существенно сокращать расход материалов, уменьшать массу компонентов и ускорять цикл разработки оборудования [1].

**Цель данной работы** заключается в анализе возможностей и эффективности применения аддитивных технологий в сфере альтернативной энергетики, а также в выявлении их технологических, экономических и экологических преимуществ при создании и модернизации оборудования возобновляемых энергетических систем.

**Анализ полученных результатов.** В ходе проведённого исследования были сопоставлены технологические, экономические и экологические параметры традиционных методов производства компонентов альтернативной энергетики и возможностей, предоставляемых аддитивными технологиями.

Полученные результаты подтверждают, что аддитивные технологии обеспечивают значительное улучшение технологических характеристик изделий. Создание сложных геометрических форм, оптимизированных каналов охлаждения, облегчённых несущих конструкций и интегрированных функциональных элементов приводит к повышению эффективности работы оборудования — от ветрогенераторов и солнечных концентраторов до аккумуляторных систем и топливных элементов. Это выражается в снижении массы на 20–60%, увеличении тепловой и аэродинамической эффективности и росте долговечности компонентов [2,3].

Экономический анализ показал сокращение материалоёмкости производства за счёт минимизации отходов и уменьшения количества технологических операций. Снижение затрат на изготовление отдельных деталей достигает 20–40%, что особенно важно для малосерийного и индивидуализированного оборудования альтернативной энергетики.

Экологические результаты также имеют положительную динамику. Уменьшение отходов, снижение углеродного следа за счёт локального производства, возможность переработки материалов и продление жизненного цикла оборудования делают использование аддитивных технологий важным элементом устойчивого развития в сфере энергетики.

Аддитивное производство позволяет печатать монолитные детали без сварных швов и стыков, которые являются потенциальными точками отказа. Это особенно важно для ветротурбин, тепловых насосов и топливных элементов. С помощью 3D-печати возможно быстро изменять конфигурацию

деталей под конкретные условия эксплуатации: климатические особенности, требуемую мощность или конструктивные ограничения [3].

**Заключение.** В рамках проведённого исследования была рассмотрена роль аддитивных технологий в развитии альтернативной энергетики, а также оценены их технологические, экономические и экологические преимущества. Анализ показал, что 3D-печать становится важным инструментом повышения эффективности, надёжности и доступности оборудования, использующего возобновляемые источники энергии.

Аддитивные технологии обеспечивают возможность создания сложных конструкций, недоступных традиционным методам производства, что позволяет улучшать аэродинамические, механические и теплофизические характеристики оборудования. Использование оптимизированных геометрий, облегчённых структур и интегрированных функциональных элементов способствует повышению производительности солнечных, ветровых, водородных и аккумуляторных систем.

Проведённая работа позволяет сделать вывод, что внедрение аддитивных технологий способствует повышению эффективности функционирования энергетических систем, снижению затрат и уменьшению экологической нагрузки. Это подтверждает актуальность дальнейших исследований и внедрения аддитивных технологий в энергетическую сферу.

#### **Список литературы**

1. Гавриленко А.В. Возобновляемая энергетика: солнечные и ветровые установки. — СПб.: Лань, 2020. – 140 с.
2. Berman B. 3-D printing: The new industrial revolution. Business Horizons, 2012. – 90 p.
3. Михальченко, А. А. Повышение точности 3D-печати методом FDM путем изменения параметров 3D-принтера / А. А. Михальченко, А. Б. Невзорова // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем : сб. науч. тр. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Ун-т им. Аджинкья Д. Я. Патила ; под ред. М. Н. Андриянчиковой. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 140–143.

УДК 347.77

## **МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ТРЕНИЯ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН С ПРОТЯЖЕННЫМ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ОКОНЧАНИЕМ**

**Байковский Д.И. (аспирант)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** В условиях разработки трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ), сосредоточенных в низкопроницаемых и ультранизкопроницаемых

коллекторах Припятского прогиба, бурение скважин с протяженными горизонтальными окончаниями стало неотъемлемым стандартом. Однако, ключевым технологическим вызовом при строительстве таких скважин является повышенное трение бурильной колонны (БК) о стенки скважины, которое приводит к невозможности передачи необходимой осевой нагрузки на долото, ограничивает длину горизонтального участка, увеличивает риск дифференциального прихвата и износа оборудования, что в совокупности ставит под угрозу экономическую целесообразность и техническую реализуемость проекта. В связи с этим, поиск и оптимизация методов снижения силы трения являются критически важной задачей для современной буровой отрасли.

**Цель работы** – провести системный анализ существующих методов снижения силы трения при бурении горизонтальных скважин, оценить их эффективность, экономические и технологические ограничения, и определить наиболее рациональный подход к минимизации данного негативного фактора.

#### **Анализ полученных результатов.**

Все методы борьбы с трением можно классифицировать на три основные группы: механические, технологические и химические.

*Механические методы* предполагают использование специализированного оборудования, интегрируемого в бурильную колонну. Вибрационные технологии (осцилляторы или вибраторы): принцип действия основан на генерации низкочастотных колебаний, которые преобразуют статическое трение в динамическое, что снижает сопротивление движению БК. Центраторы и роликовые опоры: уменьшают площадь контакта бурильной колонны со стенками скважины, снижая трение, за счет уменьшения силы нормальной реакции стенок скважины. Несмотря на простоту и надежность конструкции, их эффективность резко падает в участках с интенсивной кривизной, где контактные нагрузки максимальны. Система верхнего привода (СВП) применяется в бурении нефтяных и газовых скважин для выполнения технологических операций, таких как вращение бурильной колонны, спуск и подъем труб, а также для проведения спуско-подъемных операций с обсадными колоннами.

*Технологические методы* в первую очередь связаны с оптимизацией процесса и выбором одного из способа бурения: роторной управляемой системы (РУС) или винтового забойного двигателя (ВЗД). При бурении с помощью РУС вся колонна непрерывно вращается, что конвертирует силу трения скольжения в момент вращения, значительно снижая осевое сопротивление и силы трения. ВЗД преобразует энергию потока бурового раствора в механическую работу (вращение долота) непосредственно на забое скважины. В отличие от роторного бурения, где вращение долота передается от ротора, расположенного на поверхности, ВЗД позволяет вращать только долото, без вращения всей бурильной колонны [2].

Оптимизация траектории на стадии проектирования — этот метод заключается в тщательном расчете и «сглаживании» планового профиля скважины для минимизации числа резких изгибов и участков с высокой кривизной, где формируются максимальные контактные силы.

*Химические методы* направлены на снижения силы трения при бурении горизонтальных скважин с использованием буровых растворов на нефтяной или синтетической основе, или введением специальных присадок в растворы на водной основе (полигликолей, полимеров, графена и т. д.).

**Заключение.** Таким образом, каждый из рассмотренных методов снижения силы трения обладает комплексом как преимуществ, так и существенных ограничений. Однако использование подхода оптимизации траектории скважины на стадии проектирования планового профиля и инженерном моделировании, позволяет заложить в проект минимально возможные значения контактных сил трения, создав фундамент для эффективного бурения [1]. Поэтому оптимизация траектории позволяет выработать стратегию борьбы с силой трения при строительстве горизонтальных скважин.

**Благодарность.** Выражаю признательность научному руководителю Невзоровой А.Б. (д.т.н., профессор) за консультацию и помощь при анализе результатов и подготовке данной работы.

#### **Список литературы**

1. Невзорова А.Б. Байковский Д.И., Ревяков П.В. Технологические факторы, определяющие протяженность горизонтальной скважины в условиях I–III пачки Речицкого месторождения / Горная механика и машиностроение. - 2024. № 4. – С.5–12.

2. Фролов, В. В. Цифровой анализ работы механизированного фонда скважин / В. В. Фролов, А. Б. Невзорова // Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Часть 2. – С. 167–170.

3. Авласенко, И. С. Инженерная оценка целесообразности применения технологии бурения с регулируемым давлением на Гарцевском нефтяном месторождении Припятского прогиба / И. С. Авласенко, В. В. Пологеевко, Д. В. Порошин // Нефтегазовый инжиниринг. – 2025. – № 1. – С. 77–84.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ГОРНО-ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Балетова Ю.В. (студентка, г. 3-СГД\_ГМиО)**

*Филиал Мурманского арктического университета, г. Апатиты, Россия*

**Актуальность.** Горно-шахтное оборудование функционирует в условиях экстремальных температурных режимов, которые существенно влияют на его техническое состояние и надежность. Узлы трения, такие как подшипники, соединения и колесные пары, находятся под постоянным воздействием различных температурных факторов, что напрямую влияет на износ и долговечность оборудования [1].

**Цель работы** - проанализировать влияние температурных факторов на износостойкость узлов трения горно-шахтного оборудования, выявить основные механизмы ухудшения их эксплуатационных характеристик при различных температурных условиях и предложить методы повышения долговечности и надежности таких узлов в условиях экстремальных температуры.

**Основные температурные факторы.** *Рабочая температура* обусловлена внутренними механическими нагрузками, трением и тепловыми процессами внутри узлов. Для горно-шахтного оборудования характерны высокие рабочие температуры, достигающие 150-300 °С [2]. *Экстремальные температурные воздействия* являются внезапными перепадами температуры, температуры телепередвижения, огнеопасные ситуации и нагрев из-за трения. *Температурные колебания окружающей среды* – внешние климатические условия, такие как морозы или жаркие погодные условия, оказывают влияние на внутреннюю температуру узлов.

### **Влияние температурных факторов на износостойкость.**

1. При высоких температурах: усиливаются окислительные реакции и деградация смазочных материалов, что снижает их смазывающую способность, а также уменьшает срок службы смазочных материалов. Тепловое расширение компонентов приводит к изменению зазоров и повышению трения, что вызывает более быстрый износ. При превышении допустимых температурных границ материалы начинают разрушаться, образуя трещины и отслоения [2].

2. При температурных колебаниях: циклическое расширение и сжатие вызывают усталость материалов и образование микротрещин. Но при правильном подборе материалов и смазочных веществ, устойчивых к колебаниям, износ снижается.

3. При низких температурах: замедляются химические процессы, что способствует сохранению смазки и материалов. Однако при экстремальных

морозах возможен застой смазочных материалов, что приводит к увеличению трения и износа при последующем запуске.

### **Методы повышения износостойкости узлов трения.**

Одним из основных подходов является использование высокотемпературных смазочных материалов и покрытий, устойчивых к окислению и деградации. Такие смазки помогают сохранять свои эксплуатационные свойства даже при повышенных температурах, уменьшая износ и увеличивая срок службы узлов трения. Ещё одним важным методом является модификация материалов компонентов для повышения их тепловой стойкости. Этот метод включает использование специальных сплавов и композитных материалов, обладающих повышенной прочностью, стойкостью к термическим воздействиям и низким коэффициентом трения. Проектирование узлов с учетом термических расширений для предотвращения чрезмерных нагрузок также является важной мерой [2]. Оно предусматривает создание зазоров, компенсационных элементов и упругих вставок, которые позволяют минимизировать механические деформации и напряжения, возникающие при изменениях температуры. Дополнительным методом является контроль температурных режимов и внедрение систем охлаждения. Использование систем принудительного охлаждения, таких как водяные или воздушные радиаторы, теплоотводы и теплообменники, помогает устранять излишнее нагревание узлов и стабилизировать их рабочие параметры.

**Заключение.** Температурные факторы оказывают значительное влияние на износостойкость узлов трения горно-шахтного оборудования [3]. Повышение температуры ускоряет химические и физические процессы разрушения материалов, снижая надежность и долговечность оборудования. Поэтому важными направлениями являются использование стойких к температурам материалов и систем контроля тепловых параметров. Современные разработки и технология повышают эффективность работы и снижают риск отказов, обеспечивая безопасные условия труда в условиях повышенных температурных нагрузок.

**Благодарность.** *Выражаю признательность научному руководителю Невзоровой Алле Брониславовне (д.т.н., профессор) за консультацию и помощь при анализе результатов и подготовке данной работы.*

### **Литература.**

1. Ильин А. А. Материалы и технологии повышения износостойкости горных машин / И.И. Ильин. – Москва, 2020. – 184 с.
2. Невзорова А.Б. Комплексное восстановление деталей подшипниковых узлов / А.Б. Невзорова. — Ремонт, восстановление, модернизация. – 2003. – № 4. – С. 32-35.
3. Shimanovsky A, Putsiata A, Kolomnikova O. Modeling of vehicle dynamics considering load relative movement. - Acta Mechanica Slovaca. 2008. №12(3). p.691.

# РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОСИСТЕМЫ ПРИВОДА ХОДОВОЙ ЧАСТИ ГУСЕНИЧНОЙ КОСИЛКИ

**Баранов А.М. (студент гр. ГА-51)**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П.О. Сухого, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Расчет надежности гидросистемы привода ходовой части гусеничной косилки обусловлен комплексом технических и экономических факторов [1]. Гидропривод является критическим узлом, отказ которого останавливает всю машину, приводя к дорогостоящим простоям и срыву сроков уборочных работ в условиях их строгой агротехнической регламентации.

**Цель работы** - Провести расчет надежности гидросистемы привода, для выявления слабых узлов и агрегатов.

**Результаты работы.** Количественный анализ безотказности гидравлической системы, обеспечивающей функции движения и маневрирования гусеничной косилки. Вероятность безотказной работы системы ( $R_{sys}$ ):

Может быть рассчитана как произведение вероятностей безотказной работы отдельных компонентов ( $R_1, R_2, \dots, R_n$ ).

Методология расчета основана на модели системы как последовательного соединения элементов, где отказ любого компонента приводит к потере работоспособности всей системы в части выполнения функции привода ходовой части.

Для расчета использован экспоненциальный закон распределения наработки до отказа, применяемый для внезапных отказов в период нормальной эксплуатации. Интенсивности отказов компонентов приняты в соответствии с нормативно-справочной литературой для гидравлических систем мобильной техники.

Анализируемая гидравлическая схема включает следующие ключевые подсистемы: насосный агрегат, отвечающий за генерацию давления; управляющую аппаратуру (распределители, клапаны); исполнительные механизмы (гидромоторы левого и правого борта); систему обеспечения работоспособности (фильтры, теплообменники); а также вспомогательные элементы (трубопроводы, соединительную арматуру).

Суммарная интенсивность отказов системы получена аддитивным суммированием интенсивностей отказов всех входящих в нее компонентов с учетом их дублирования и составила  $147^{-10}$ /час. Данное значение определяет все последующие расчетные показатели надежности.

Вероятность безотказной работы системы на начальный период эксплуатации, эквивалентный 100 часам, рассчитана на уровне 0,985. На

межсервисной наработке, равной 500 часам, данный показатель снижается до 0/929. На протяженном интервале в 1000 часов, соответствующем сезонной эксплуатационной нагрузке, вероятность безотказной работы составляет 0.863. Средняя наработка на отказ для системы в целом определена величиной 6803 часа.

Наибольшую вероятность в суммарную интенсивность отказов вносят следующие компоненты: насосный агрегат (34%), два гидромоторных привода (суммарно 41%) и управляющий распределитель (10%). Совместность этих трех позиций составляет 85% от общего риска, что позволяет классифицировать их как критические элементы системы.

На основании проведенного анализа сформулированы рекомендации по повышению эксплуатационной надежности. В части критических компонентов целесообразно применение агрегатов с повышенным назначенным ресурсом. Для насосного агрегата рекомендуется рассмотреть схемные решения с резервированием. Для мониторинга состояния и ранней диагностики деградации критических элементов предлагается оснастить систему средствами встроенного контроля давления и температуры на выходе насоса и на входе гидромоторов. Ужесточение регламента технического обслуживания фильтрующих элементов системы признано обязательной мерой для снижения темпов абразивного износа насоса и гидромоторов.

**Заключение.** Таким образом, проведение расчета надежности гидросистемы привода ходовой части гусеничной косилки является не просто теоретической задачей, а обязательным и критически важным этапом.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Невзоровой А.Б., Андреевцу Ю.А., за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

1. Математические методы в теории надежности: Основные характеристики надежности и их статистический анализ / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. — 3-е изд., испр. — Москва: Либроком, 2020. — 640 с.
2. Надежность и диагностика гидроприводов сельскохозяйственной техники: монография / С. А. Рябцев, П. С. Рябцев. — Ставрополь: АГРУС, 2019. — 188 с.
3. Shimanovsky A, Putsiata A, Kolomnikova O. Modeling of vehicle dynamics considering load relative movement. - Acta Mechanica Slovaca. 2008. №12(3). p.691.
4. Врублевский В. Б. Применение прессованной модифицированной древесины в узлах трения сельскохозяйственной техники/ В. Б. Врублевский, А. Б. Невзорова, В. А. Дашковский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2010. №2. с.44-48.

## **ВЛИЯНИЕ ВИДА ПЕРЕКАЧИВАЕМОЙ ЖИДКОСТИ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ РАБОЧИХ КОЛЕС ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ**

**Барабанщиков В.Г. (студент, гр. ГА-31)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** На предприятиях нефтепереработки и нефтехимии центробежные насосные агрегаты являются одним из основных видов лопастных машин [1]. Рабочие колеса центробежных насосов подвергаются интенсивному износу при перекачке различных сред, что приводит к частым простоям, снижению эффективности и высоким затратам на ремонт и замену. Изучение и анализ влияния химического состава и физических свойств конкретных нефтепродуктов на разрушение рабочих колес, с последующей разработкой практических рекомендаций по выбору материалов и режимов эксплуатации для продления их ресурса является одной из основных задач проектирования центробежных насосов.

**Цель работы** - установить зависимость износа и коррозии рабочих колес центробежных насосов от химико-физических свойств перекачиваемых жидкостей на нефтеперерабатывающем предприятии и разработать на этой основе практические рекомендации по повышению их долговечности.

**Анализ полученных результатов.** Насосы для нефтяной промышленности должны удовлетворять следующим требованиям: быть надежными в работе и долговечными; быть экономичными в эксплуатации; быть удобными в монтаже и демонтаже; обладать минимальным количеством деталей и полной их взаимозаменяемостью; иметь минимальные вес и габариты; допускать изменение характеристик в широком диапазоне вследствие возможного изменения технологического режима, а также необходимости переброски оборудования; работать с возможно меньшей величиной подпора [2].

Бесперебойная работа насосов зависит от четырех факторов: 1) правильной конструкции; 2) точности изготовления; 3) качественного монтажа; 4) правильной эксплуатации. Каждое из этих требований одинаково важно, невыполнение одного из них влечет за собой аварию всего насосного агрегата. Однако, на этапе проектирования необходимо учитывать влияние вязкости и абразивных примесей и выбирать наиболее оптимальный тип рабочего колеса для минимизации негативного влияния вида перекачиваемой жидкости и увеличения сроков эксплуатации насосного оборудования.

По конструкции рабочего колеса центробежные машины делятся на машины с закрытыми, полукрытыми и открытыми рабочими колёсами (рисунок 1) [2]. Выполненный заодно со ступицей ведущий диск является

обязательной деталью колеса. Передний диск может отсутствовать. Колесо с обоими дисками называется закрытым, а без переднего диска – открытым.

Вид перекачиваемой жидкости оказывает комплексное деградирующее воздействие на рабочие колеса. Рост вязкости перекачиваемой среды (мазуты, смолы) приводит к значительному снижению КПД насоса и резкому увеличению потребляемой мощности. Одновременно наличие механических примесей в нефтепродуктах вызывает интенсивный абразивный износ, особенно выходных кромок лопаток [3].

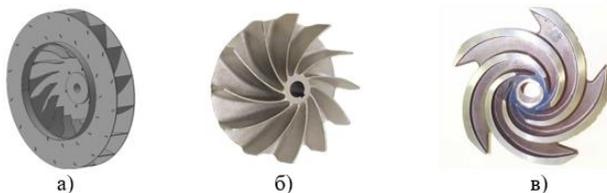


Рис. 1. Типы рабочих колес центробежного насоса:  
а) закрытое; б) полукрытое; в) открытое

Для легких углеводородов (бензин) основную угрозу представляет кавитация, разрушающая материал колеса из-за низкой смазывающей способности и летучести. Для минерализованных вод основным фактором является коррозионно-механический износ, ведущий к питтингу и эрозии.

Применение открытых рабочих колес и направляющих аппаратов центробежного типа снижает склонность к засорению и позволяет эффективнее работать с вязкими и загазованными средами, тем самым повышая ресурс рабочих органов. Для обеспечения повышенной долговечности оборудования необходимо производить точный пересчет рабочих характеристик насоса с использованием актуальных поправочных коэффициентов, выбор специализированных материалов исполнения, а также внедрение современных конструктивных решений, таких как ступени с открытыми рабочими колесами.

**Заключение.** Вид перекачиваемой жидкости является важным фактором, определяющим долговечность рабочих колес центробежных насосов на нефтеперерабатывающих предприятиях. Параметры среды, как вязкость, плотность, абразивность и коррозионная активность, комплексно влияют на износ, вызывая эрозию, кавитационное разрушение и коррозию материалов.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Андреевец Юлии Ахатовне, старшему преподавателю, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

#### **Список литературы:**

1. Фролов, В. В. Цифровой анализ работы механизированного фонда скважин / В. В. Фролов, А. Б. Невзорова // Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Часть 2. – С. 167–170.

2. Андреевец, Ю. А. Лопастные машины и передачи: пособие для студентов специальности 1-36 01 07 "Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин" дневной формы обучения / Ю. А. Андреевец. - Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. - 166 с.

3. Юй, Я. Анализ факторов и меры по устранению неисправностей клапанов поршневого компрессора 4M125 / Я. Юй, А.Б. Невзорова // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого. – 2025. – № 3 (102). – С. 18–27. – DOI 10.62595/1819-5245-2025-3-18-27

УДК 665.6

## **АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ИСКРИВЛЕНИЯ РОТОРНО-УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ПРИМЕНИМОСТИ**

**Борсук Е.А. (магистрант гр. ЗНГИ-21)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Для достижения наиболее эффективного подбора роторно-управляемых систем (РУС), нужно определить ряд факторов, которые могут существенно облегчить выбор роторно-управляемых систем (РУС) для тех или иных геологических особенностей горных пород [1]. После определения данных критериев можно говорить о более точном выборе роторно-управляемых систем, которые в свою очередь повысят точность и качество бурения [2]. Однако, на текущий момент есть определённые нюансы при подборе нужного типа роторно-управляемых систем и рабочей методики, которая в свою очередь позволила бы подобрать эффективную роторно-управляемую систему (РУС).

**Цель работы** – провести анализ механизмов искривления, применяемых в роторно-управляемых системах.

**Результаты анализа.** В ходе анализа механизмов искривления роторно-управляемых систем (РУС) сделаны следующие выводы:

1. В результате отсутствия действия поперечной отклоняющей силы, роторно-управляющие системы, осуществляющие асимметричное разрушение забоя, менее нагружены и деформированы, следовательно повышается срок службы опор и вооружения долот;

2. Допустимо бурение при повышенных осевых нагрузках на долото, что позволяет повысить скорость бурения;

3. Существует возможность искривления скважины с высокой скоростью бурения, так как интенсивность искривления при данном механизме искривления не зависит от скорости фрезерования и механической скорости

бурения, а значит и от параметров режима бурения. Тем не менее механизм искривления, осуществляемый только за счет неравномерного разрушения забоя, имеет такой недостаток, как ограниченная интенсивность искривления ствола, что увеличивает интервал бурения и объем работ с отклоняющей КНБК;

4. Искривление скважины посредством фрезерования стенки ствола скважины заключается в росте интенсивности искривления скважин, что позволяет сократить интервал бурения и объем работ с отклоняющей КНБК;

5. Процесс набора кривизны фрезерованием существенно ограничивается величиной скорости бурения. Например, высокая скорость бурения приведет к ограничению или даже полному устранению процесса искривления ствола скважины;

6. Для компоновки, осуществляющей совместное фрезерование и асимметричное разрушение забоя ствола скважины, проявляется в несколько раз более активно в сравнении с неравномерным разрушением забоя скважины. Другими словами, для любой отклоняющей компоновки 83% от возможного искривления ствола может быть достигнуто вследствие фрезерования стенки скважины и лишь 17% – вследствие неравномерного асимметричного разрушения забоя. Если в процессе бурения отклонитель будет упруго деформирован, то доля искривления ствола скважины в результате неравномерного разрушения забоя уменьшится и при определенном значении станет равной нулю, а доля искривления за счет фрезерования стенки ствола, наоборот, увеличится и достигнет 100 %. При дальнейшем повышении прогиба отклонителя будет иметь место перекосяк долота в обратную, от направления действия отклоняющего усилия, сторону, что приведет к снижению интенсивности набора кривизны.

Для роторно-управляемых систем более важна крепость пород и коэффициент кавернозности, чтобы он смог управлять траекторией. Иначе чрезмерная твердость породы может затруднить искривление, тем самым понижая эффективность использования РУС.

**Заключение.** Анализ технических характеристик, а также анализ механизмов искривления роторно-управляемых систем и их применение позволил определить, что использование роторно-управляемых систем ввиду постоянного вращения бурильной колонны осевая нагрузка на долото доходит на 83%. Следовательно, увеличивается механическая скорость в 1,5-2 раза. Из-за сокращения количества спускоподъемных операций, применение роторных управляемых систем сокращает сроки строительства наклонно- горизонтальных скважин.

На основе полученных данных были определены основные отличия механизмов искривления роторно-управляемых систем, что в дальнейшем позволит облегчить их выбор для работ в различных геологических условиях.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Невзоровой Алле Брониславовне, доктору технических наук, профессору за консультацию при подготовке данной работы.

#### **Список литературы**

1. Осипов, Ю.В., Ахметов, Д.С., Еникеев, Р.В., Бадретдинов, Д.Ф. Применение роторных управляемых систем для бурения. / Ю.В. Осипов, Д.С. Ахметов, Р.В. Еникеев, Д.Ф. Бадретдинов // Проблемы науки. – 2017. – №. 10. – С. 10-1.
2. Акбулатов, Т.О. Роторные управляемые системы: учебное пособие / Т.О. Акбулатов, Р.А. Хасанов, Л.М. Левинсон – Уфа: УГНТУ, 2006.
3. Войтехин, О. Л. Снижение производственных рисков при многостадийном гидравлическом разрыве пласта (МГРП) [Электронный ресурс] / О. Л. Войтехин ; науч. рук. А. Б. Невзорова // МИТРО 2023 – Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника : тезисы докл. науч.-техн. конф. студентов и молодых ученых / Гомель, 6 декабря 2023 г. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 30.
4. Невзорова А.Б. Комплексное восстановление деталей подшипниковых узлов / А.Б. Невзорова. — Ремонт, восстановление, модернизация. – 2003. – № 4. – С. 32-35.

УДК 622.276

### **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ОСЛОЖНЕНИЯ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИНЫ НА ПРИМЕРЕ ТИШКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ**

**Бочаров Н.В. (инженер<sup>1</sup>, магистрант гр. ЗНГИ-11<sup>2</sup>)**

<sup>1</sup> БелНИПИнефть, РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»

<sup>2</sup> Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Республика Беларусь

**Актуальность.** Внедрение наклонно-направленного бурения с протяженным горизонтальным участком и последующим освоением скважин методом многостадийного гидроразрыва пластов по схеме Plug&Perf способствовало существенному увеличению объемов добычи нефти, а также позволило вовлечь в разработку трудноизвлекаемые запасы. Геомеханическое моделирование играет важную роль в обеспечении безопасной проводки и эффективного освоения скважин [1, 2].

**Цель работы** – построение геомеханической модели для анализа устойчивости стенок ствола проектной скважины №74г Тишковского месторождения нефти с целью выбора оптимальной плотности бурового раствора и снижения рисков осложнения при бурении.

**Анализ полученных результатов.** Для получения безопасного окна бурения по скв. №74gr под эксплуатационную колонну-хвостовик Ø114 мм в подсолевых терригенных отложениях выполнено геомеханическое моделирование [3, 4]. Сперва были получены зависимости КЕРН-ГИС на основе актуальных керновых исследований, проведенных в 2025 году. Полученные зависимости использованы для расчета механических свойств. Проанализированы результаты бурения соседних скважин 70g и 71g с целью дальнейшей калибровки модели на буровые события и согласования интервалов с повышенным значением модельного градиента обрушения с фактическим профилем разрушения стенки скважины по результатам кавернометрии: при бурении на растворе РУО с плотностью 1,45 г/см<sup>3</sup> отмечаются периодические затяжки и посадки, прихваты элементов бурильной колонны, осложнения при проведении геофизических исследований скважин, прихваты при спуске обсадной колонны.

Общие затраты на ликвидацию указанных осложнений на скв. №70g и 71g составили 83 ч. Вышеописанное подтверждается расчетами согласно актуализированной геомеханической модели (рисунок 1).

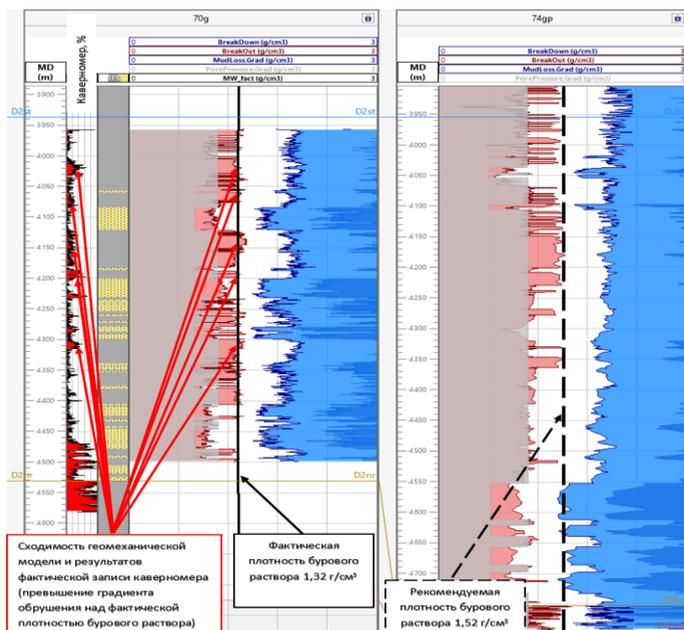


Рисунок 1 – Результаты расчета устойчивости ствола скважины согласно геомеханическому моделированию в интервалах целевого старооскольского горизонта: результат калибровки модели после бурения скв. №70g (слева), результат прогноза на проектную скв. №74gr (справа)

Далее был произведен расчет устойчивости стенок ствола скважины для проектной скв. №74gr, где максимальное значение модельного градиента обрушения составляет  $1,53 \text{ г/см}^3$ . Соответственно, для обеспечения безаварийной проводки скважины, согласно геомеханическому моделированию, рекомендуется производить бурение в подсолевых терригенных отложениях с использованием бурового раствора на углеводородной основе с плотностью не ниже  $1,55 \text{ г/см}^3$ .

**Заключение.** В результате проведенной работы, была определена оптимальная плотность бурового раствора для обеспечения устойчивости стенок ствола скважины в интервалах бурения горизонтального участка в целевых интервалах скв. №74gr Тишковского месторождения нефти.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю д.т.н., доценту Повжику Петру Петровичу за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы:**

1. Поляков, Д. А. Интегрированный подход к планированию бурения, многостадийного гидроразрыва пласта и эксплуатации скважин на основе цифровой геомеханической модели залежи с учетом влияния разработки / Д.А. Поляков, В.А. Павлов, Н.А. Павлюков, С.В. Поленов, Э.Н. Донцов, Д.Г. Черных, Д.Е. Голубков, М.И. Самойлов // Нефтепромысловое дело. – 2019. – № 11(611). – С. 44–50. DOI: 10.30713/0207-2351-2019-11(611)-44-50.

2. Бочаров, Н. В. Особенности цифровизации бурения скважин (на примере нефтяных месторождений Припятского прогиба) / Н. В. Бочаров, В. М. Ткачев, Т. В. Атвиновская // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем : сб. науч. тр. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Ун-т им. Аджинкья Д. Я. Патила ; под ред. М. Н. Андриянчиковой. – Гомель, 2023. – С. 93–96.

3. Повжик, П. П. Комплексные методические подходы к изучению нетрадиционных пород-коллекторов на керновом материале Республике Беларусь / П. П. Повжик, А. А. Ерошенко, Е. П. Калейчик // Нефтяник Полесья. – 2022. – № 2. – С. 108–113.

4. Цифровая интерпретация геомеханической модели керна / Н. В. Бочаров [и др.] // Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : в 2 ч. Ч. 2 / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, ПАО «ОАК» ОКБ Сухого, Таизский университет (Йеменская Республика) ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 206–209.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖАНИЯ НЕОБХОДИМОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НЕФТИ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ**

**Бугримов А. А., (студент, гр. НР-51)**

*Гомельский государственный технический университет им П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Большинство нефтепродуктов снижает вязкость при снижении температуры. Отдельные виды, такие как нефть, мазут, гудрон и битум при снижении определенного порога температуры в принципе принимают твердое состояние. Из-за этого затрудняется возможность их перекачки по трубам. В промышленном секторе для решения данной проблемы приходится использовать подогрев нефтепровода.

**Цель работы** – выявить максимально энергоэффективную технологию поддержания необходимой температуры нефти в процессе транспортировки по нефтепроводу.

**Анализ полученных результатов.** Большая часть месторождений в Беларуси находится в 100-150 км от цеха подготовки нефти. По мере прохождения такого расстояния, особенно в зимнее время, температура нефти снижается на 1-2 °С (для изолированного трубопровода), что осложняется высокой вязкостью сырой нефти и нефтепродуктов. Это явление затрудняет ее перекачивание. При этом необходимо использовать более мощное насосное оборудование, увеличивать давление в нефтепроводе, что приводит к ускоренному его износу, что увеличивает денежные затраты на производство.

Подогрев нефтепровода – это процесс поддержания требуемой температуры нефти для снижения ее вязкости, предотвращения образования парафиновых отложений и обеспечения надежной перекачки. Сети нефтепровода имеют, как правило, разветвлённый характер и топографически сложную структуру. То есть имеется множество участков, как правило, небольшой длины и сложной конфигурации, которые необходимо обогреть. В связи с этим целесообразно использование саморегулирующегося кабеля, который можно резать по месту нужной длины и заводить сразу в соединительные силовые коробки, установленные на трубопроводе. Преимущество саморегулирующегося кабеля по сравнению с паровым подогревом – значительно меньшие потери тепла, что приводит к равномерному нагреву нефти. Самый оптимальный вариант проложения кабеля – через каждые 120° на окружности трубы.

Выбирая нагревательный кабель для нефтепровода, необходимо учитывать не только его мощность и взрывозащищенность, но и все температурные характеристики. Одна из температурных характеристик – максимальная

рабочая температура не должна быть выше температуры самовоспламенения (250 °С) обогреваемого продукта.

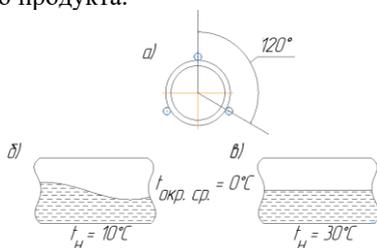


Рисунок 1 – Применение нагревающего кабеля: а – расположение кабеля; б – течение тяжелой нефти без подогрева; в – течение нефти с подогревом

При быстром разогреве трубопровода с нефтепродуктами или для поддержания высокой температуры используются нагревательные кабели с минеральной изоляцией.

Таким образом, при оборудовании нефтепровода системой обогрева необходимо учесть:

- свойства транспортируемого продукта (взрыво- и пожароопасность);
- сезонное изменение температуры окружающей среды;
- топологию нефтепровода (протяженность, разветвленность);
- характеристики трубы и кабеля.

**Заключение.** Применение саморегулирующегося греющего кабеля является современным, технологичным и экономически обоснованным решением. Оно сочетает в себе высокую энергоэффективность, безопасность эксплуатации и гибкость, что делает его предпочтительным выбором по сравнению с традиционными паровыми трассами и устаревшими кабелями постоянной мощности, особенно для объектов, где критичны вопросы надежности и снижения эксплуатационных затрат.

**Благодарность.** Выражаю признательность руководителю профессору Невзоровой А. Б. за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

### Список литературы

1. Проектирование и поставка систем обогрева нефтепровода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://obogrev-kabel.ru/articles/obogrev-nefteprovoda-greushchim-kabelem> – Дата доступа: 06.10.2025.
2. Исследование свойств саморегулирующихся кабелей при низких температурах // Труды международной научно-технической конференции «Энергетика и энергосбережение». – 2021. – с. 145-150.
3. Кувалдин А. Б. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли / А. Б. Кувалдин, Н. Н. Хренков, М. Л. Струпинский. – 2-е изд. – Москва: Инфра-Инженерия, 2023. – 523 с.

## СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ГИДРОПРИВОДА ЭКСКАВАТОРА

Быстров Г.И. (студент, гр. ГА-51)

*Гомельский государственный технический университет им. П.О.Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Управление движением исполнительного механизма гидропривода экскаватора осуществляется оператором с помощью **рычагов или джойстиков**, которые воздействуют на **гидрораспределитель**. Гидрораспределитель направляет поток рабочей жидкости под давлением из гидронасоса в соответствующие **гидроцилиндры или гидромоторы**, которые и приводят в движение рабочий орган (стрелу, рукоять, ковш и т.д.). [1]. Также совершенствование конструкций гидросистем во многом определяет в последующем ресурс их эксплуатации [3,4].

**Цель работы** - проанализировать существующую принципиальную гидравлическую схему управления движением исполнительных механизмов экскаватора путем интеграции современных пропорциональных гидрораспределителей и электронной системы управления (ESC), а также повысить плавность хода рабочего оборудования.

**Анализ полученных результатов.** В настоящее время в управлении гидроприводами экскаваторов используются передовые технологии, направленные на повышение эффективности, точности и плавности работы [2].

Современные экскаваторы используют комбинированные электрогидравлические системы управления, которые заменили чисто механические или гидравлические системы (рис.1).

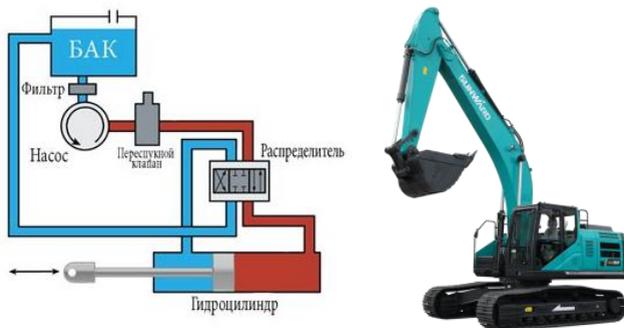


Рисунок 1 - Схема стандартной гидросистемы экскаватора

Схема гидросистем спецтехники и сложного промышленного оборудования применяется однотипная, в основе которых лежит перечень обязательных элементов: гидроцилиндр, гидронасос, гидромотор, бак для жидкости, клапаны, фильтр для очистки масла от примесей, гидрораспределитель.

Важными компонентами являются: пропорциональные гидрораспределители; электронные системы управления; регулируемые насосы; системы обратной связи;

Для повышения плавности хода рабочего оборудования можно использовать современные подходы и методы, такие как:

применение пропорционального управления;

функции демпфирования (амортизации) в гидроцилиндрах, которые плавно снижают скорость движения поршня перед упором, предотвращая жесткие удары;

точное дозирование потока и управление разгоном/торможением, чтобы избежать резких изменений ускорения;

режимы «точной работы», которые снижают максимальную скорость движений и повышают чувствительность джойстиков, что позволяет оператору выполнять особо деликатные задачи с высокой плавностью.

**Заключение.** Таким образом, оптимизация системы управления движением исполнительных механизмов экскаватора путем интеграции современных электрогидравлических технологий обеспечивает повышение точности управления, улучшение энергоэффективности машины и снижение динамических нагрузок.

**Благодарность.** Выражаю признательность научному руководителю Кульгейко Галине Степановне, старшему преподавателю, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы:**

1. Башта, Т. М. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы [Текст] : учебник для вузов / Т. М. Башта. – 4-е изд., стер. – Москва : Альянс, 2010. – 423 с

2. Галдин, Н. С. Гидравлические ножницы для экскаваторов [Текст] : монография / Н. С. Галдин, И. А. Семенова. — Омск: СибАДИ, 2023.-164 с.

3. Путято, А. В. Теория и практика совершенствования конструкций кузовов вагонов с учетом взаимодействия с перевозимыми грузами : [монография] / А. В. Путято. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 295 с.

4. Путято, А. В. Прогнозирование остаточного ресурса вагона хоппер-дозатора после длительной эксплуатации с учетом фактических физико-механических характеристик материала несущей конструкции / А. В. Путято, Е. Н. Коновалов, П. М. Афанаськов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2016. – № 1(34). – С. 26–35.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ С ПОМОЩЬЮ САПР****Вайнер Д.А. (магистрант гр. ММ-11)***Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Непрерывное усложнение конструкций машин, рост требований к их эксплуатационному качеству, обострение конкуренции на рынке машиностроительной продукции вызывают насущную необходимость в резком сокращении длительности производственно-технологического цикла создания машин при повышении качества принимаемых и реализуемых проектных технологических решений. Это возможно лишь при автоматизации технологической подготовки производства (ТПП) и непосредственного производства машин[1]

**Цель работы** – описать алгоритм действий пользователя для автоматизации расчета припусков при проектировании технологических процессов обработки резанием с использованием современных САПР систем, а также анализ преимуществ автоматизированного подхода по сравнению с традиционными методами расчета.

**Результаты анализа.** Припуск — это слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в процессе обработки для достижения заданных чертежом параметров шероховатости, точности размеров и геометрической формы. Традиционный ручной расчет припусков — сложная, трудоемкая и подверженная человеческим ошибкам процедура, которая требует учета множества факторов: метода получения заготовки, размеров детали, материала, последовательности операций, оборудования и т.д.

Автоматизация расчета припусков реализуется в рамках CAD/CAM-систем— системы автоматизированного проектирования и подготовки программ для станков с ЧПУ. Основная идея заключается в создании цифровой модели не только готовой детали, но и ее заготовки на различных стадиях обработки.

В качестве примера такой системы с наиболее удобным расчетом припусков, можно назвать T-Flex Технология, на примере которой будет разобран алгоритм действий пользователя для автоматизации расчета припусков.

Система T-FLEX Технология предназначена для проектирования процессов производства дискретного (пооперационного) типа и выпуска технологической документации. Она рассчитана на технологов, создающих директивные, маршрутные и операционные технологические документы любых отраслей промышленности [2].

Стоит понимать, что получение значений припусков неразрывно связано с получением остальных данных, для чего необходимо выполнение нескольких условий:

1. Создание библиотеки деталей, с параметризованными 3D-моделями и технологическими процессами для этих деталей.

2. Создание библиотеки припусков, в которой так же будут учитываться такие параметры, как материал, глубина резания, необходимая точность и т.д.

3. Покупка лицензированного программного обеспечения и пакетов, необходимых для этого. В нашем случае это T-Flex Нормирование.

Для автоматизированного расчета пользователю необходимо выполнить следующие действия:

1. Создать параметризованную 3D-модель детали.

2. Задание изначальных данных, таких как масса заготовки, норма расхода, коэффициент использования материала, габариты заготовки.

3. Создать технологический процесс или выбрать прототип для автоматического создания технологического процесса - для этого используется технологический процесс детали схожей конфигурации. При формировании технологического процесса, расчетно-логический модуль берет на себя большую часть информационной нагрузки, приходящейся на технолога.

4. Далее необходимо выбрать во вкладке расчетов "расчет припусков", после чего запустить данный расчет, после чего система рассчитает припуски. Если же необходимо рассчитать припуски на отдельную операцию, можно выбрать расчет припусков для отдельных переходов.

Автоматизация расчета припусков с помощью САПР обеспечивает следующие преимущества: повышение точности; сокращение времени затрачиваемого на расчет параметров; оптимизацию расхода материала; интеграцию в цифровое производство [3].

**Заключение.** Таким образом, автоматизированный расчет припусков, как автоматизированного инструмента, позволяет снизить риски ошибок, сократить сроки проектирования и обеспечить соответствие высоким стандартам качества при проектировании технологических процессов обработки резанием.

**Благодарность.** Выражаю признательность научному руководителю Невзоровой Алле Брониславовне, доктору технических наук, профессору, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

1. САПР технологических процессов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.И. Кондаков. - М. : Издательский центр «Академия». 2007. - 272 с.

2. Путято А.В. Методы моделирования и расчетные схемы нагруженности кузовов вагонов при перевозке сыпучих грузов / А.В. Путято, В.В. Белогуб //

Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки. Вып. 1. – Гомель, : БелГУТ, 2007. – С. 45-53.

3. Невзорова, А.Б. Основные принципы информационного моделирования зданий / А.Б. Невзорова, М.С. Афонченко. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 107 с.

УДК 62-82

## **ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТОКАРНОГО СТАНКА**

**Василец Н.А. (студент, гр. ГА-51)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О.Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность:** Гидравлическая система напрямую влияет на точность позиционирования, плавность хода и жесткость приводов станка. Неисправности в гидросистеме (пульсации давления, утечки, завоздушивание) приводят к снижению качества обрабатываемых деталей и росту брака. Поддержание и прогнозирование ее стабильной работы критически важно для современного высокоточного производства [1].

**Цель работы:** Разработка методов и алгоритмов для повышения надежности функционирования гидравлической системы токарного станка с ЧПУ за счет своевременного и точного прогнозирования ее технического состояния.

**Анализ полученных результатов:** Современные станки с ЧПУ являются высокоточным и дорогостоящим оборудованием, критически важным для автоматизированного производства. Отказы гидравлической системы приводят к дорогостоящим простоям, сбоям в производственном графике и снижению общей эффективности

Для определения функционирования гидросистемы станков используют визуальный осмотр, проверку давления, диагностику уровня жидкости, контроль температуры и проверку работы отдельных компонентов, а также использование специализированного оборудования. Визуальный осмотр позволяет оценить уровень гидравлического масла в баке, осмотр компонентов на наличие утечек, повреждений или следов износа (шланги, фитинги, цилиндры, насос), оценить состояние гидравлической жидкости – она должна быть без посторонних примесей и соответствовать рекомендациям производителя станка.

Для измерения давления используют специализированные приборы – гидротестеры и цифровые манометры. Измерение давления обычно проводят на выходе из насоса и перед гидрораспределителем.

Диагностика насоса и гидрораспределителя оценивает производительность насоса по производительности потока жидкости. Проверяет правильность работы гидрораспределителя, которая заключается в плавности и точности переключения потоков масла.

Диагностика фильтров оценивает степень загрязненности фильтрующих элементов. При необходимости нужно произвести замену фильтров, так как их засорение снижает производительность системы и может привести к поломкам.

Основой теории прогнозирования служит прогностика — научная дисциплина, изучающая поведение прогнозируемых систем (в частности, состояние машины) в зависимости от изменения структурных параметров составных частей. [2]

В результате прогнозирования можно получить количественный или качественный прогноз. Прогнозы различают по периоду упреждения: краткосрочные или оперативные, среднесрочные и долгосрочные. Для металлургических машин период упреждения связан с временем проведения ремонта: краткосрочный — время до следующего текущего ремонта; среднесрочный — время до следующего капитального ремонта; долгосрочный — время до исчерпания ресурса.

По используемому подходу к прогнозированию следует выделить:

1) метод экспертных оценок — основан на субъективной оценке экспертов существующего положения и перспектив развития, учитывает знания, опыт, интуицию экспертов — специалистов в данной области знания;

2) метод анализа и прогнозирования рядов данных — связан с исследованием рядов значений показателей, выявлением временных зависимостей показателей, тенденций и использованием их для прогноза;

3) метод причинно-следственных связей — основан на поиске факторов, определяющих поведение объекта прогнозирования, построения и использования для прогнозов соответствующей модели его поведения.

**Заключение.** Современные методы диагностики и прогнозирования технического состояния, основанные на использовании сенсорных систем, анализа данных, позволяют своевременно выявлять износ и потенциальные неисправности. Внедрение технологий способствует снижению затрат на ремонт, сокращению времени простоя оборудования и повышению его эксплуатационной надежности.

**Благодарность.** Выражаю признательность научному руководителю Кульгейко Г.С., старшему преподавателю, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы.**

1. Михайлов, М. И. Моделирование надежности робототехнических систем / М. И. Михайлов // Инновационное станкостроение, технологии и инструмент : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 28–29

нояб. 2024 г. / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. М. И. Михайлова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 7–9.

2. Путьято А.В. Методы моделирования и расчетные схемы нагруженности кузовов вагонов при перевозке сыпучих грузов / А.В. Путьято, В.В. Белогуб // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки. Вып. 1. – Гомель, : БелГУТ, 2007. – С. 45-53.

УДК 621

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В САПР**

**Васильев Ю. Е., (магистрант гр. ММ-11)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Необходимость повышения конкурентоспособности машиностроительной продукции требует постоянного сокращения длительности производственного цикла и снижения эксплуатационных затрат [1], а также точный и оптимальный выбор режимов резания является критически важным для экономии ресурса инструмента и обеспечения заданного качества обработки. Точный и оптимальный выбор режимов резания является критически важным для экономии ресурса инструмента и обеспечения заданного качества обработки [2], что и предлагают САПР/САМ-системы, в которых инструменты для перехода от ручного и эмпирического назначения режимов к научно обоснованному и автоматизированному подходу.

**Цель работы** – Описать методологию и архитектуру автоматизированного выбора режимов резания, основанную на использовании цифрового моделирования технологического процесса и проанализировать роль интеграции данных о нагрузке на инструмент и станок в САМ-систему для достижения максимальной производительности [3].

**Результаты анализа.** Проблемой выбора режимов резания (скоростей, подач, глубины резаний) традиционно выбираются по справочникам, не учитывая локальные изменения условий (изменение глубины, вход в материал, обработка углов). Это приводит к перегрузкам и неэффективности.

Для реализации требуется полная интеграция данных:

1. Моделирование среды: создание точных 3D-моделей инструмента, заготовки и оснастки, а также ввод предельных параметров станка (крутящий момент, мощность) [4].

2. Анализ и симуляция: САМ-модуль проводит виртуальную симуляцию обработки, рассчитывая силу резания и толщину среза на каждом участке траектории [3].

3. Оптимизация траектории и режимов: алгоритмы САМ (например, для высокоскоростной обработки) автоматически изменяют режимы (подачу и скорость): для поддержания постоянной механической нагрузки на инструмент. Для обеспечения безопасного прохождения сложных элементов (углов, карманов).

4. Формирование управляющей программы: на выходе система генерирует управляющую программу с переменными режимами резания, адаптированными под специфику каждого сегмента траектории[5].

К ключевым преимуществам интеллектуальной автоматизации можно отнести следующее:

1. Максимальная эффективность: режимы резания всегда находятся в оптимальной зоне, сокращая машинное время.

2. Продление срока службы инструмента: предотвращение критических перегрузок и резких изменений режима.

3. Гарантия качества: обеспечение стабильности процесса и исключение вибраций, влияющих на шероховатость.

4. Исключение ручных ошибок: снижение зависимости от квалификации технолога при расчете ключевых параметров.

**Заключение.** В данном исследовании были разобраны необходимые действия для получения автоматизированного расчета режимов резания, Автоматизация выбора режимов резания с помощью САПР/САМ-систем обеспечивает значительный экономический эффект за счет оптимизации времени и ресурса, а также использование цифрового моделирования является необходимым условием для создания надежного и высокопроизводительного технологического процесса.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Невзоровой Алле Брониславовне, доктору технических наук, профессору, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

1. Кондаков, А. И. САПР технологических процессов : учебник для вузов. Москва : Академия, 2007. 272 с. (Указан как база по САПР ТП).

2. Грубый, С. В. Расчет режимов резания для операций механической обработки : учебное пособие. Москва : КноРус, 2021. 238 с. (Базовый учебник по расчету режимов резания).

3. Автоматизированное проектирование технологических процессов в машиностроении / под ред. А. Г. Косиловой. Москва : Машиностроение, 2018. 320 с. (Источник о методах автоматизации и интеграции).

4. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. М. Дальский, А. В. Косилова. 6-е изд., перераб. и доп. Москва :

Машиностроение, 2001. Т. 1. 912 с. (Базовый справочник для проверки расчетных методик и ограничений).

5. Локтев, А. Д. [и др.]. Общестроительные нормативы режимов резания : в 2 т. Москва : Машиностроение, 1991. Т. 2. 400 с. (Нормативный источник, на котором базируются алгоритмы САПР).

УДК 621

## ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СТРУЖКИ

**Вишняков Ф.А. (студент гр. ТМ-41)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** В процессе механической обработки металлов значительная часть материала превращается в стружку, которая при неэффективной переработке представляет собой отходы. Усовершенствование технологий переработки стружки позволяет снизить материальные потери, повысить экологическую устойчивость производства и вторично использовать ресурсы . Особенно актуально внедрение современных методов компактирования и брикетирования стружки, что способствует уменьшению объема отходов и затрат на транспортировку [1].

**Цель работы.** Повышение эффективности процесса переработки металлической стружки за счёт совершенствования технологий её сбора, сортировки, очистки и последующего использования в металлургическом цикле [2].

Анализ полученных результатов. Одним из ключевых направлений повышения эффективности переработки стружки является внедрение автоматизированных систем сбора и сортировки. Такие системы позволяют отделять стружку различных материалов (сталь, чугун, алюминий, медь) и предотвращать загрязнение. Эффективное удаление смазочно-охлаждающих жидкостей и посторонних включений обеспечивает повышение качества вторичного сырья [3].

Современные методы переработки включают термическую и механическую очистку, брикетирование и гранулирование. Брикетирование повышает плотность стружки до 4–5 раз, упрощая хранение и транспортировку [2]. В металлургических предприятиях всё чаще применяются автоматизированные линии, объединяющие процессы измельчения, прессования и подачи брикетов в плавильные агрегаты (рис.1).

В перспективе возможно использование роботизированных систем для контроля качества и адаптивного управления процессами переработки. Также

ведутся разработки в области плазменного и индукционного переплава стружки, что обеспечивает снижение энергетических затрат и повышение чистоты металла [3].

**Заключение.** Совершенствование технологий переработки стружки является важным направлением повышения экономической и экологической эффективности машиностроительных предприятий. Внедрение автоматизированных систем и методов брикетирования способствует рациональному использованию ресурсов, снижению отходов и повышению устойчивости производства

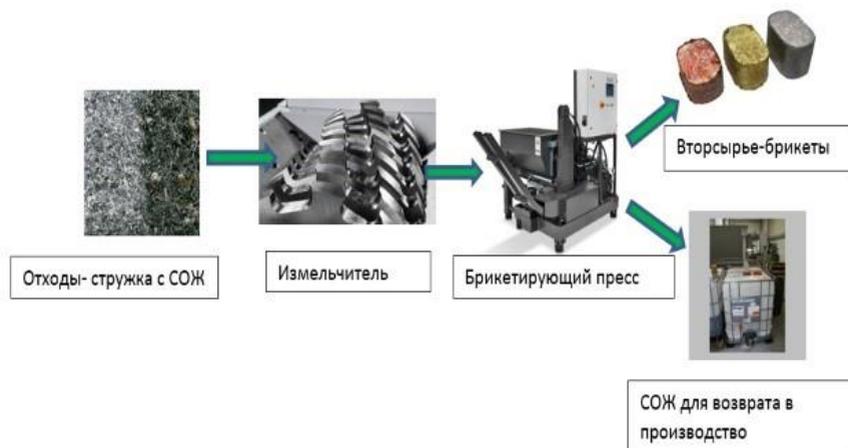


Рисунок 1 – Общая схема переработки металлической стружки

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Красюку С.И. за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

1. Шинкевич А.И. Переработка стружечных отходов в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2020. – 224 с.
2. Смирнов В.В. Технологии вторичной переработки металлов. – СПб.: Профессия, 2019. – 187 с.
3. Иванов И.Н. Экологизация машиностроительного производства. – Минск: БНТУ, 2021. – 250 с.
4. Петришин, Г.В. Износостойкие гетерогенные покрытия из борированных наплавочных материалов на основе отходов стальной дроби, нанесенные магнитно-электрическим методом: дисс. ... канд.техн.наук: 05.02.01 / Г.В. Петришин; ГГТУ им. П.О. Сухого. – Гомель, 2006. – 178 с.
5. Невзоров, М. В. Анализ размеров и формы частиц модифицированных металлических порошков для термического напыления [Электронный ресурс]

/ М. В. Невзоров ; науч. рук. Г. В. Петришин // Студенческий научный движ : материалы научно-технической конференции аспирантов, магистрантов, студентов, Гомель, 25 марта 2025 г. / под общ. ред. д.т.н., проф. А. Б. Невзоровой. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 13–14.

УДК 622.234.573

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ НЕФТИ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСТАДИЙНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА**

**Войтехин О.Л. (аспирант)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** На сегодняшний день технология Plug&Perf МГРП (РР МГРП) является промышленным стандартом в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» как инструмент стимуляции трудноизвлекаемых запасов (ТриЗ) нефти, приуроченных к ультранизкопроницаемым трещиноватым глинистым карбонатным отложениям (I–III пачки D<sub>3ptr</sub>). Однако, в условиях высокой геологической неоднородности целевых объектов, жизненно важной задачей является проведение целенаправленных научно-исследовательских работ по повышению эффективности данного вида геолого-технических мероприятий (ГТМ). Только таким образом можно обеспечить базис для рентабельной и полномасштабной выработки сложных запасов Республики Беларусь.

**Цель работы** – на основании имеющихся статистических данных определить влияние различных технологических параметров РР МГРП на геологическую успешность работ по стимуляции ТриЗ. Наметить основные пути по дальнейшей оптимизации подходов к освоению ТриЗ.

**Анализ полученных результатов.** Фундаментом для анализа влияния технологических параметров операций МГРП на результативность работ по стимуляции ТриЗ стал комплекс промыслово-геофизических исследований (ПГИ) по определению профиля притока пластового флюида в скважину в послеоперационный период (выполнено 8 исследований на шести скважинах).

В ходе анализа данных ПГИ выявлен ряд зависимостей параметров работы стадий/кластеров от технологических параметров операции МГРП. Однако, ключевым осложняющим фактором, установленным в ходе анализа, стала высокая неоднородность работы перфорационных кластеров внутри стадий (рисунок). Это явление приводит с одной стороны к субоптимальному дренированию ТриЗ, когда существенная часть горизонтального ствола не

вносит вклад в совокупный дебит, с другой – высокая дисперсия статистических данных может негативно сказаться на достоверности выявленных закономерностей.

Таким образом фокус научных изысканий сместился с поиска оптимального сочетания технологических параметров МГРП в сторону разработки эффективного метода повышения равномерности обработки всех перфорационных кластеров.

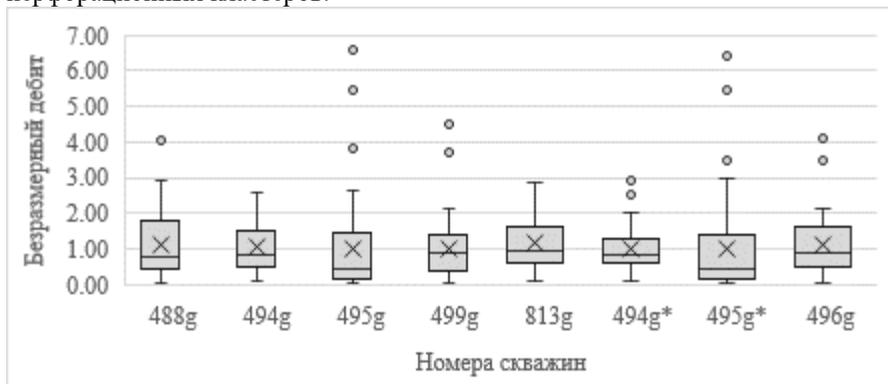


Рисунок – Поскважинное распределение данных удельного участка кластеров в совокупной добыче (метод «box plot» или «ящик с усами»)

В рамках решения поставленной задачи успешно опробован комплекс технологических приемов по оптимизации стратегии вторичного вскрытия (сокращенная перфорация, асимметричная перфорация, а также комбинация данных методов), который позволил существенно повысить равномерность работы кластеров в стадиях: коэффициент вариации (CV) работы кластеров в стадиях снизился со 109,7% (стандартная стратегия перфорации) до 54,5% (применение комбинации сокращенной и неравномерной перфорации).

**Заключение.** Проведенные исследования подтвердили, что для эффективного освоения отечественных ТриЗ, необходим ряд взаимосвязанных поступательных шагов, включающий: поиск путей повышения равномерности стимулирующего воздействия методом РР МГРП, определение ключевых технологических параметров РР МГРП, влияющих на эффективность ГТМ, оптимизация подходов к МГРП на основании выявленных закономерностей. Таким образом, наиболее актуальной задачей на сегодняшний день является отработка и шлифовка стратегии вторичного вскрытия для перехода от положительной динамики к созданию высокоэффективного, воспроизводимого и рентабельного метода выравнивания профиля притока в послеоперационный период. Решение данной задачи позволит выйти на новый уровень эффективности разработки сложнейшей ресурсной базы и обеспечить устойчивую добычу нефти из ТриЗ Республики Беларусь.

## Список литературы

1. Войтехин, О. Л. Технологические подходы к оптимизации темпа разработки трудноизвлекаемых запасов нефтяного месторождения / О. Л. Войтехин, А. Б. Невзорова // Вестник ГГТУ им. П.О.Сухого. – 2023. – №3. – С. 67-79.
2. Салимов О. В. Насыбуллин А.В., Сахабутдинов Р.З. О критериях подбора скважин для гидроразрыва пласта //Георесурсы. – 2017. – Т. 19. – №. 4. – С. 368-373.
3. Ямкин М. А., Сафиуллина Е. У. Оценка соответствия результатов компьютерного моделирования притока жидкости к трещине гидроразрыва пласта реальным данным //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – №. 3. – С. 210-217.

УДК 621.78

## АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНЫХ АБРАЗИВОВ В МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

**Воробей А.А. (студент, гр. ТМ-31)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Магнитно-абразивная обработка (МАО) один из нестандартных методов обработки, в котором сила резания контролируется магнитным полем и магнитный абразив выполняет роль режущего инструмента [1]. Данный метод позволяет получить высокое качество обработанной поверхности при припуске в несколько микрон. Однако, магнитный абразив трудно получить из-за специальной технологии производства.

**Анализ полученных результатов.** В МАО магнитный абразив, выступающий в качестве режущего инструмента, играет ключевую роль в достижении качества обработки. Магнитный абразив может быть различного типа, например, механическая смесь абразива с магнитным порошком, спечённый абразив, абразив, произведенный с применением плазмы, синтетический и несвязанный абразив [2].

Механически смешанный абразив и магнитный порошок представляет собой магнитный порошок с абразивом. Этот метод позволяет получить широкую гамму магнитных абразивов, но абразивный слой может изнашиваться в процессе обработки, влияя тем самым на качество обработанной поверхности [3]. Спечённый абразив наиболее часто применяется исследователями из-за его отличных обрабатывающих качеств. Абразив производится спеканием при высокой температуре и высоком

давлении в среде инертного газа. Полученная смесь дробится механически и просеивается для сортировки смеси по размерам абразивных зерен. Также в процессе дробления получается абразив с неоднородной структурой в результате чего качество обработанной поверхности ограничивается из-за неодинаковой глубины резания. Для преодоления данного ограничения применяется сферический абразив на основе железа с наличием частиц  $Al_2O_3$  на поверхности, нанесенных с помощью распыления. Данный вид абразива показывает хорошие характеристики при обработке детали. Однако, существует проблема отделения  $Al_2O_3$  составляющей от магнитного абразива из-за слабой связи между  $Al_2O_3$  и железной составляющей композитного абразива. Синтезированный абразив изготавливается с помощью соединения на атомарно уровне железа, углерода, некоторых карбидных элементов и других связывающих веществ. Несвязанный абразив представляет собой смесь ферромагнитной составляющей и абразива. Данный абразив физически не связан с ферромагнитным материалом. В магнитном поле абразив может свободно перемещаться.

Эксперимент проводился на стальной трубе из стали SS 304 с исследованием влияния различных параметров, таких как размеры частиц магнитного абразива, объема применяемой смазки, частоты вращения обрабатываемой детали, плотности магнитного поля и времени обработки. Характеристики магнитного абразива, произведенного процессом механического объединения рисунок 1, получены в ходе эксперимента. Механическое объединение – это техника производства однородной смеси, включая в себя измельчение, смешивание и повторное измельчение компонентов смеси в энергонасыщенном измельчительном барабане.

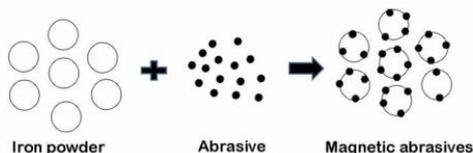


Рисунок 1

Исследование шероховатости обработанной поверхности отражает воздействие абразива на поверхность. Шероховатость поверхности исследовалась в условиях процентного улучшения обработки поверхности.

**Заключение.** В ходе исследования выполнен анализ влияния на качество обработки поверхности магнитных абразивов и режимов обработки таких как: количество применяемой смазки, частоты вращения заготовки, количества применяемого абразива и др.

Показаны результаты применения магнитно-абразивной смеси при обработке внутренней поверхности трубы из стали SS 304. Для достижения наилучшего показателя PISF оптимальным является объем магнитного

абразива равный 10 граммам с 0,5 граммами смазки и частотой вращения детали – 800 об/мин. Наиболее оптимальным, при выше указанных параметрах, временем обработки является 60 минут.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Кульгейко Г.С., старшему преподавателю, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы.**

1. Кульгейко, М.П. Анализ обобщенной модели индуктора для магнитно-абразивной обработки плоских поверхностей/ М.П. Кульгейко, А.П.Лепший, Г.С. Кульгейко// Вестник БрГТУ. Машиностроение. – 2019. – №4 (117). – С.100-103.

2. Ольт Ю., Максаров В.В., Петришин Г.В., Пантелленко Е.Ф., Лискович М.И. Магнитно-абразивная обработка труднообрабатываемых материалов новыми диффузионно-легированными материалами. СТИН. – 2023. – № 1. – С.22-25.

3. Невзоров, М. В. Анализ размеров и формы частиц модифицированных металлических порошков для термического напыления [Электронный ресурс] / М. В. Невзоров ; науч. рук. Г. В. Петришин // Студенческий научный движ : материалы научно-технической конференции аспирантов, магистрантов, студентов, Гомель, 25 марта 2025 г. / под общ. ред. д.т.н., проф. А. Б. Невзоровой. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 13–14.

УДК 621.865.8

## **КОНСТРУКЦИИ ДАТЧИКОВ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ РОБОТОВ**

**Гавриленко Д.Д. (студент, гр. РТ-41)**

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Датчики обратной связи широко используются в разных сферах технической деятельности. Их использование позволяет частично или полностью автоматизировать процессы производства, получать полезные данные в ходе работы оборудования, автоматизировать работу как стационарных, так и мобильных роботов, получать высокую степень точности в сочленениях роботов. Новизна исследования заключается в анализе особенностей таких систем и выработке рекомендаций по повышению их эффективности.

**Цель работы** – исследование конструкции известных датчиков обратной связи роботов, определение принципов функционирования их основных узлов и выявление направлений улучшения точности получаемых данных, снижения помех и увеличения функциональности. Внимание уделяется ключевым элементам конструкции и используемым системам управления.

**Анализ полученных результатов.** Объект исследования – конструкция аналогового потенциометра, используемого в промышленных роботах для определения угла поворота между двумя сочлененными звеньями.

Потенциометры часто используются для измерения угловых положений, т.е. для определения поворота одного тела относительно другого тела. Для обеспечения возможности измерения всех угловых положений, т.е. без образования мертвого угла, необходимо выполнять модификации по сравнению с обычными потенциометрами [2].

Преимуществом потенциометра является то, что нет необходимости отвода тока, а также напряжения с установленного с возможностью поворота конструктивного элемента. Можно электрически контактировать либо лишь сегменты, либо лишь соединительное устройство. За счет этого потенциометр является особенно надежным в работе.

Другим преимуществом является простота и тем самым экономичность его изготовления. Кроме того, потенциометр можно выполнять открытым. Дополнительно к этому преимуществом является возможность выполнения потенциометра плоским. Другим преимуществом является возможность заключения потенциометра в корпус таким образом, что внутри корпуса нет необходимости в установленных с возможностью поворота компонентах. Таким образом, получается легко используемый под водой, устойчивый к помехам потенциометр.

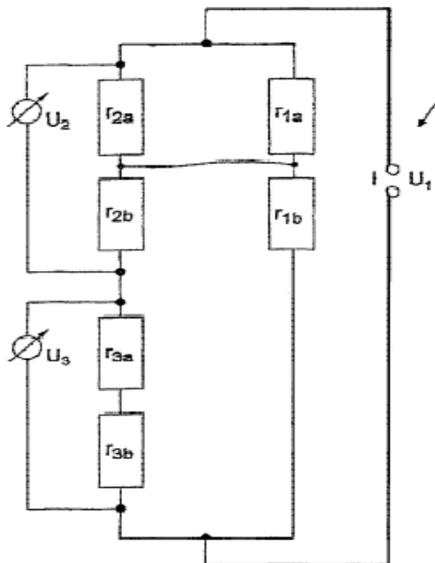


Рисунок 1 – Конструкция потенциометра

**Заключение:** Анализ показал, что использование датчиков обратной связи позволяет существенно повысить точность позиционирования

сочленений робота или иного устройства позиционирования, автоматизировать робототехнические системы и повышает функциональность робототехнических систем. Полученные результаты подтверждают перспективность дальнейшего развития конструкций датчиков обратной связи с повышением их помехозащищенности, влагоустойчивости, защищенности от окружающей среды и сторонних воздействий.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю профессору Михайлову М.И., за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

#### **Список литературы:**

1. RU246429C2. Потенциометр. <https://patents.google.com/patent/RU246429C2/ru>
2. Сорокин Н. Ф., Гаврюшин С. С. Использование силовой обратной связи при перемещении груза парой манипуляторов //Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2023. – №. 1 (754). – С. 3-12.

УДК 621

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ПРОКТОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА**

**Галушкин И. А. (студент, гр. ТТ-41)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Проктология – это отдельное направление медицины, специалисты которого занимаются изучением нижних отделов кишечника, параректальной области и их заболеваний [1]. В настоящее время всего 1% пациентов с симптомами колопроктологических заболеваний обращаются за помощью к врачу-проктологу, поскольку вопрос обсуждения таких недугов считается «неловким, интимным, неудобным», однако это не снимает актуальности решения вопроса, связанного с тем, что проктологический медицинский инструментарий в Беларуси является практически полностью импортным, имея при этом ряд функциональных и эргономических недостатков.

**Цель работы** – обосновать возможность изготовления одноразового аноскопа посредством 3D-печати.

**Анализ полученных результатов.** Лечение распространенных заболеваний толстого кишечника (геморрой, анальная трещина и др.) в зависимости от их тяжести может включать в себя не только изменение образа жизни пациента, но и медикаментозную терапию или хирургическое вмешательство. Инструментарий проктологов достаточно обширен и включает большую номенклатуру изделий и приспособлений: лапароскопы,

колоноскопы, эндоскопы, операционные аноскопы, лазерные аппараты, электрокоагуляторы и другие инструменты [1, 2].

Аноскоп представляет собой медицинское устройство в виде тубуса, которое используется с целью диагностики/лечения различных проктологических заболеваний. Согласно оперативной статистике ООО «Я ваш доктор» (г. Гомель, Республика Беларусь), в год проводится в среднем 420 операций с использованием аноскопа. Это устройство состоит из двух частей – корпуса и ответной части (обтуратора) и может быть одноразовым и многоразовым, с прямым или косым срезом, П-образным вырезом, с вырезом по всей длине, с портом для подключения световода или без него, с ручкой и без нее. Выбор аноскопов по диаметру достаточно широк, причем все производители предлагают большую линейку размеров. Наиболее комфортный диаметр (по данным врача-проктолога) – 24-26 мм (медицинский центр ООО «Я ваш доктор» работает с аноскопами 25 мм). Что касается длины, у большинства производителей все более-менее стандартно: рабочая часть у всех вариантов составляет 65-80 мм. Среди новых конструктивных решений аноскопа можно отметить полезные модели, отличающиеся формой исполнения проксимального отдела тубуса, обтуратора, ручки и световода, а также различными размерными параметрами элементов с обеспечением возможности их взаимного вращения, что позволяет менять угол наклона инструмента и повышает степень свободы манипуляций. На рынке представлена также необычная модель аноскопа под названием «клюв» (*SapiMed*, Италия) – безобтурационная, с длинным вырезом по всей длине кроме концевой части.

В номенклатуру материалов для производства аноскопов входят нержавеющая сталь, алюминий, стекло, полимеры. По опыту проктологов, прозрачные пластиковые изделия удобней металлических, т.к. они более комфортно воспринимаются пациентом, а прозрачность стенок по всей окружности при использовании позволяет увидеть трудно диагностируемую область. При этом дефицит наблюдается только в сегменте одноразового инструмента. Решить эту проблему можно с помощью 3D-печати [3], поскольку возможности аддитивных технологий позволяют в широких пределах варьировать конструкции различных устройств и подбирать применяемые материалы, адаптируя их к конкретной медицинской задаче. Немаловажно, что применение трехмерных технологий в медицине является мировым трендом сегодняшнего дня.

**Заключение.** Благодаря использованию современных технологий при производстве одноразовых полимерных аноскопов, которые помогают в диагностировании и лечении, преодолении последствий широкого спектра распространенных проблем проктологического характера, предоставляется возможность быстро и дешево выпускать малые партии данного медицинского инструмента (что особенно важно для стартапов небольших

предприятий) и достаточно быстро удовлетворить потребности рынка медицинских изделий.

**Благодарность.** Автор выражает признательность и благодарность научному руководителю Кадолич Ж.В., кандидату технических наук, доценту, за оказанную консультацию и помощь в проведении исследования по решению актуальной социально значимой проблемы.

### **Список литературы**

1. Алексеев, С. А. Основы колопроктологии : учеб. пособие / С. А. Алексеев, В. А. Гинюк. – Минск : Вышэйшая школа, 2019. – 160 с.
2. Белобородов, В. А. Заболевания прямой кишки и анального канала в амбулаторной практике: учеб. пособие / В. А. Белобородов, А. П. Фролов. – Иркутск: ИГМУ, 2020. – 85 с.
3. Улучшение специализированного проктологического инструмента с использованием возможностей трехмерных технологий / Ж. В. Кадолич, С. В. Зотов, А. А. Кашперов, Д. С. Чувашов, И. А. Галушкин // Полимерные композиты и трибология : тезисы докладов МНТК. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2025. – С. 95.

УДК 621

## **ПЕРЕРАБОТКА ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ 3D-ПЕЧАТИ**

**Гапонова Д.Н., (студент, гр. ТТ-11)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность:** Задача переработки пластика критически важна, поскольку пластик разлагается сотни лет, накапливаясь в окружающей среде и угрожая экосистеме. В рамках исследования можно предложить изучить совместное воздействие ферментов микроорганизмов на смеси полимеров (полиуретан, полиэтилен, полистирол).

**Цель работы:** исследовать потенциал использования микроорганизмов, включая гриб *Pestalotiopsis microspora*, для разложения пластиковых отходов, число которых может резко увеличиться с учетом популяризации аддитивных технологий в быту и промышленности.

**Анализ полученных результатов.** По данным экологических служб доля пластика в общем объеме твердых коммунальных отходов составляет всего 10-12 %, в то время как на стекло и металл приходится 12-15 %, а на пищевые отходы – все 30-40 %. На первый взгляд, такое процентное соотношение может показать, что пластиковые отходы составляют только малую часть от общего объема и не являются острой проблемой, не представляют большой

угрозы. Однако среднее время разложения пластмассовых изделий, созданных по разным технологиям, колеблется от 6 месяцев до 700 лет.

Сегодняшний день характеризуется быстрым развитием и внедрением в повседневную жизнь изделий из обсуждаемых материалов. В частности, аддитивные технологии – прямой катализатор широкого использования пластика для изготовления изделий. Это могут быть как изделия для дома и быта уникальных формы и дизайна, так и детали для промышленности. Учитывая частоту использования подобных изделий, растущая цифра в процентном соотношении коммунального мусора уже не кажется безобидной.

Аддитивные технологии становятся все более доступными и занимают лидирующее место в процессе создания конечного продукта и стремительно внедряются в инновационное производство. И именно на работу с пластмассовыми материалами смещен фокус проектировщиков и пользователей, так как они обладают достаточно широким спектром свойств и легки в использовании – изделия можно изготовить буквально в домашних условиях [1].

На сегодняшний момент часть промышленности, отвечающая за сортировку, переработку и утилизацию отходов ищет новые экологичные способы ускорения разложения пластика. Одним из таких является разложение пластика при помощи микроорганизмов. Одним из таких является *Pestalotiopsis microspora* [2].

В 2011 году студенты Йельского университета обнаружили в амазонских лесах этот уникальный гриб, способный разлагать полиуретан в условиях полного отсутствия кислорода. Этот небiorазлагаемый пластик, используемый в изоляционных пенах, обуви, автомобилях и других предметах, может сохраняться на свалках сотни лет.

Секрет такой особенности микроорганизма заключается в метаболизме, который производит ферменты, разрушающие химические связи в полиуретане, разлагая его на усваиваемые грибом молекулы. Этот процесс происходит в анаэробных условиях, что делает гриб полезным для разложения пластика в глубоких слоях свалок и подземных средах. Открытие нового подхода к переработке отходов с использованием грибка обещает более экологичные и менее затратные методы. Однако масштабирование проекта сталкивается с проблемами:

- лабораторные условия не соответствуют реальным условиям свалок или заводов. Грибок требует строгого контроля влажности, температуры и pH;
- *Pestalotiopsis microspora* питается только полиуретаном, тогда как пластиковые отходы включают полиэтилен, полистирол и другие виды, требующие разных методов переработки;
- использование экзотических микроорганизмов может нарушить экосистему или стать инвазивным.

**Заключение.** *Pestalotiopsis microspora* является многообещающим микроорганизмом для решения пластикового кризиса. Ежегодно в мире производится более 400 млн тонн пластика, из которых перерабатывается лишь 10%. Остальное сжигается, закапывается или выбрасывается. Хотя сокращение производства и улучшение переработки важны, использование микроорганизмов может стать дополнительным решением.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Лёвкиной Анастасии Дмитриевне, преподавателю-стажеру, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

1. Жуков А. В., Никифоров А. А., Яковишин А. С. Пластмассы для аддитивных технологий (обзор) // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2021. – №. 4 (91). – С. 57-70.
2. Невзорова А. Б., Шершнёв О. В. Накопление отходов производства и их влияние на состояние подземных вод в Республике Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 2 (283). С. 194–200

УДК 621:347.77

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕДОВЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ**

**Германович В.А. (студент, гр. АП-11)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Одним из подходов повышение конкурентоспособности нефтегазовых предприятий является модернизация производства, осуществляемая на основе использования последних достижений науки, техники, технологии и управления [1,3].

**Цель работы** - исследовать применение передовых машиностроительных технологий для создания инновационного оборудования в нефтегазовой отрасли на примере гибридной буровой установки.

#### **Анализ результатов:**

Проведенный анализ технических достижений в нефтедобывающей отрасли демонстрирует высокую эффективность внедрения гибридной буровой установки, оснащенной роботизированным комплексом для автоматической замены буровых долот. Данная технология представляет собой синтез традиционного бурового оборудования и передовых робототехнических решений, включая многоосевые манипуляторы повышенной точности и многоуровневую систему технического зрения. Основными целями разработки являлись обеспечение безопасности

персонала и повышение операционной эффективности при выполнении спуско-подъемных операций [2].

Результаты промышленных испытаний показали значительное улучшение ключевых эксплуатационных показателей. Было зафиксировано сокращение времени замены долота на 40-60% благодаря оптимизации рабочих циклов и высокой скорости работы роботизированных манипуляторов. Обеспечена максимальная безопасность персонала за счет полного перехода на дистанционное управление процессами. Применение системы технического зрения позволило минимизировать риски повреждения резьбовых соединений и существенно увеличить срок службы дорогостоящего бурового инструмента.

Апробация системы проводилась на месторождениях с экстремальными производственными условиями. Технология подтвердила свою надежность и стабильность работы как в арктических условиях, так и на шельфовых платформах. Детальный экономический анализ продемонстрировал быструю окупаемость инвестиций благодаря значительному сокращению продолжительности бурения и минимизации аварийных ситуаций. В настоящее время наблюдается активное внедрение таких систем ведущими нефтегазовыми компаниями в рамках программ цифровой трансформации производственных процессов. Перспективой развития технологии является создание полностью автономных буровых платформ с интегрированными системами искусственного интеллекта для управления всем технологическим циклом бурения.



Рисунок 1 – Буровая установка

**Заключение.** Проведенное исследование доказало эффективность внедрения гибридных буровых установок с роботизированными комплексами. Анализ показал значительное улучшение ключевых показателей: время операций сократилось на 40-60%, повысилась безопасность работ и увеличился срок службы оборудования.

Успешная апробация технологии подтвердила ее надежность и экономическую целесообразность. Достигнутые результаты позволяют рекомендовать данную систему к широкому внедрению в нефтегазовой отрасли.

Перспективы развития связаны с созданием полностью автономных буровых платформ и интеграцией искусственного интеллекта. Внедрение таких комплексов открывает новые возможности для цифровой трансформации отрасли.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Захаренко Галине Николаевне, старшему преподавателю кафедры «Механика».

#### **Список литературы.**

1. Инновационные технологии в нефтепереработке: монография / С.К. Иванов, П.М. Григорьев. - Новополоцк: ПГУ, 2022. - 278 с.
2. Перспективы развития нефтехимического комплекса Республики Беларусь / Р.С. Андреев // Нефтяная и газовая промышленность. - 2023. - № 2(45). - С. 23-31.
3. Войтехин О.Л. Апробация технологии PLUTON в условиях I–III пачек петриковских продуктивных отложений скважины 466g Речицкой / О. Л. Войтехин [и др.] // Нефтегазовый инжиниринг. – 2024. – № 1 (1). – С. 8–16.

УДК 621

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАДИЕНТНЫХ ФИЛЬТРОВ**

**Горовцова В.В. (студентка, гр. ТТ-31)**

*«Гомельский государственный технический университет  
имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь*

**Аннотация.** В работе рассмотрены современные методы получения градиентных фильтров и проанализированы перспективы их применения в процессах очистки многофазных систем, водоподготовки и биомедицинской инженерии. Особое внимание уделено обоснованию выбора материала и формированию градиентной структуры.

**Ключевые слова:** градиентные фильтры, функционально-градиентные материалы, консолидация порошков, бентонитовая глина, водоочистка.

С ростом интенсификации промышленных процессов современные требования к технологиям разделения и очистки воды, воздуха и др. постоянно растут. Применение традиционных фильтрационных методов очистки и фильтрующих материалов демонстрируют ограниченные возможности – низкие показатели селективности и пропускной способности, а также ограниченный срок службы из-за забивания пор. Эти обстоятельства

стимулируют поиск новых, более эффективных и экологически безопасных решений. В связи с этим, разработка перспективных фильтровальных материалов с улучшенными характеристиками является актуальной научно-технической задачей.

Одним из наиболее перспективных подходов является создание и применение градиентных фильтров, обладающих оптимизированной структурой и составом. Градиентные материалы – это класс материалов, в которых реализуется плавное изменение одного или нескольких параметров (состава, структуры, пористости и т.д.) в заданном направлении [1].

В процессах фильтрации, градиентная структура позволяет создавать фильтры с градиентной пористостью, обеспечивающие последовательное удержание частиц различного размера. Фильтр представляет собой металлическую подложку, имеющую большие поры (диаметром 0,25 – 50 мкм) и микропористую (диаметром пор 0,0005 – 0,25 мкм) керамическую мембрану, нанесенную на подложку и составляющую с ней одно целое. Необходимая пористость обеспечивается путем расчетов и подбором фракций. Создание фильтров заключается в управляемом распределении частиц различного размера без или под воздействием давления, что позволяет формировать градиентную структуру пор внутри мембраны. Такой градиентный профиль обеспечивает постепенное уменьшение пор по направлению от поверхности. На первом этапе фильтрования происходит задержание крупных агрегатов молекул в слое с крупными порами, далее частицы среднего размера (коллоидные частицы) задерживаются в слоях с меньшим размером пор, и, наконец, самые мелкие частицы (молекулы и ионы) задерживаются в слоях с минимальной пористостью [2]. Такая многоступенчатая фильтрация обеспечивает высокую пропускную способность и степень очистки, а также снижает вероятность забивания фильтра, что увеличивает его срок службы и снижает эксплуатационные расходы (рисунок).

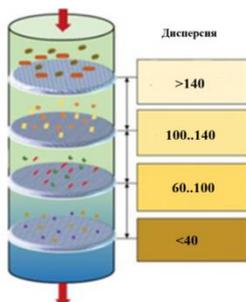


Рисунок – Схема градиентного фильтра

В качестве фильтрующего материала выбрана бентонитовая глина (полезное ископаемое отечественных разработок), предварительно

очищенная и диспергированная с использованием планетарной мельницы и классификатора. Выбор бентонитовой глины обусловлен не только ее доступностью, но и природной способностью к принудительному диспергированию, а выбор оборудования и режимов его работы обеспечением качества размола, что позволяет получить широкую линейку дисперсности и соответственно размерный диапазон фильтров.

**Заключение.** Дальнейшие исследования будут направлены на изучение взаимосвязи между структурой и свойствами градиентных фильтров, а также на разработку новых материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Перспективными направлениями являются разработка многофункциональных градиентных фильтров, сочетающих в себе несколько свойств (например, фильтрацию, катализ и сорбцию), а также создание самоочищающихся градиентных фильтров, обладающих повышенной устойчивостью к забиванию.

### Литература

1. Лаптев А. М., Руденко Н. А. Изготовление градиентных порошковых фильтров с применением порообразователя //Обработка материалов давлением. – 2011. – № 1. – С. 26.
2. Подденежный Е. Н., Бойко А. А. Классификация способов получения ультрадисперсных оксидных порошков (обзор) //Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2003. – №. 1 (10). – С. 021-028.

УДК 621.865.8

## РОБОТИЗАЦИЯ ЗАГРУЗКИ ЗАГОТОВОК НА СТАНКАХ С ЧПУ

**Гуща А.О. (магистрант, гр. ММ11)**

*«Гомельский государственный технический университет  
имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** В современных условиях машиностроительные предприятия сталкиваются с необходимостью повышения эффективности производства [1]. Значительные потери времени возникают при выполнении вспомогательных операций — ручной загрузки и выгрузки заготовок на станках с ЧПУ. Эти процессы приводят к простоям оборудования, ограничивают производственные мощности и увеличивают себестоимость продукции. Автоматизация данных операций является ключевым направлением для сокращения издержек и повышения конкурентоспособности [2].

**Цель работы** - разработка и внедрение роботизированного комплекса для автоматизации загрузки и выгрузки заготовок на токарном станке с ЧПУ,

обеспечивающего сокращение времени вспомогательных операций и повышение производительности оборудования.

**Анализ полученных результатов:** Использовался программный комплекс Visual components, который позволил провести симуляцию работы роботизированного комплекса и автоматически написать код для работы робота с синхронизацией с работой станков. Работа роботизированного комплекса будет достигаться под управлением системы ЧПУ (рисунок).

В примитивном отображении алгоритм и механизм действия робота можно представить в виде: робот взял заготовку со стола или ящика - поднес к станку - подождал закрепления заготовки – отвел руку от станка - подождал обработку - убрал деталь на стол или в коробку.

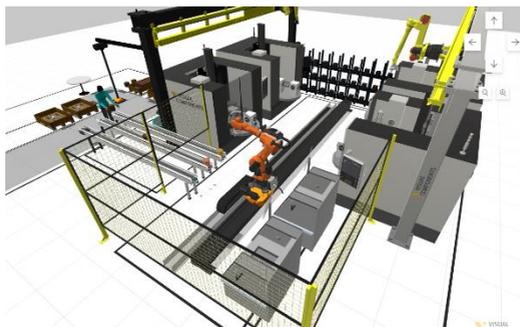


Рисунок — Пример компоновки станка с ЧПУ и виртуальная работа робота по загрузке заготовок в станок/станки с ЧПУ

Имеется возможность дополнительно организовать выбор не только одного типоразмера заготовки и детали, а и большого разнообразия за счет изменения хвата в пределах допуска рабочей массы робота и допуска рабочих параметров выбранного станка [3]. Внедрение роботизированного комплекса позволило достичь следующих результатов:

- время вспомогательных операций сокращено на 85% (с 2 до 0,6 минут на деталь);
- производительность станка увеличилась на 30% за счет исключения простоев по организации на месте обработки;
- обеспечена возможность работы оборудования в режиме 24/7 с минимальным участием оператора;
- повышена точность позиционирования заготовок и исключен человеческий фактор.

Однако при работе таких систем необходимо соблюдать определенные правила безопасности и обслуживания, чтобы не происходили контакты человека и рабочей зоны робототехнического комплекса, и все работы человека происходили при обесточенном комплексе.

## **Заключение**

Разработанный роботизированный комплекс виртуально доказал свою эффективность в решении задачи автоматизации вспомогательных операций. Внедрение системы позволило значительно сократить время цикла обработки, повысить производительность и снизить эксплуатационные расходы. Перспективы работы связаны с интеграцией системы технического зрения и масштабированием решения на другие участки производства, такие как опасные для работы человека.

## **Список литературы**

1. Иванов А.В. Автоматизация машиностроительных производств. – М.: Машиностроение, 2020. – 356 с.
2. Проектирование роботизированных комплексов / под ред. Козлова Д.И. – Екатеринбург: УрФУ, 2022. – 189 с.
3. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – 2023. – Vol. 15. – P. 45-52.

УДК 550.832

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ НА СТРОИТЕЛЬСТВО СКВАЖИНЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КАРОТАЖА НА БУРОВОМ ИНСТРУМЕНТЕ**

**Драпеза А.С. (магистрант)**

*Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** В связи с развитием наклонно-направленного бурения как основного метода сооружения скважин, существует необходимость сокращения времени на производство геофизических исследований скважин (ГИС) [1]. Роторно-управляемые системы (РУС) – более современная и технологическая альтернатива способу наклонно-направленного бурения с помощью винтового забойного двигателя [2]. Преимущества роторно-управляемой системы - непрерывность вращения всей бурильной колонны и изменение траектории без задержки, уменьшение времени бурения скважины, отсутствие подъема долота, сокращение времени на промывку скважины, работа со сложными трехмерными профилями, работа в сложных геологических условиях [3]. В связи с данным тезисом становится актуальным внедрение и применение технологий роторно-управляемых систем на месторождениях нефти в Республике Беларусь.

**Цель работы** – провести сравнительный анализ экономического эффекта при проведении геофизических исследований (ГИС) при строительстве эксплуатационных скважин на территории Припятского прогиба с учетом фактических профилей пробуренных скважин.

**Результаты работы.** Анализ полученных данных позволил провести ранжирование перечня роторно-управляемых систем для различных геолого-технических условий с выделением следующих аспектов:

Применение РУС снижает риски дифференциальных прихватов, ускоряет постановку обсадных колонн, хвостовиков благодаря цилиндрическому, практически без уступов стволу скважины.

Принцип действия РУС позволяет выделить 3 их вида.

РУС с отклонением долота (push the bit);

РУС с изменением направления долота (point the bit);

Гибридные РУС (point+push).

Управление работой РУС заключается в передаче сигнала оператором с поверхности через буровой раствор или посредством электромагнитного излучения до забойной компоновки, затем благодаря электронному блоку и системе преобразования сигнала информация передается на поверхность в блок приемки и усиления сигнала, далее на компьютер и прибор для визуального контроля процесса бурения.

Для бурения с продолжительными горизонтальными участками преимущественно выбираются роторно-управляемые системы для бурения под хвостовик.

При применении сравнительного анализа роторно-управляемых систем для бурения под хвостовик с присвоением суммарного коэффициента, составляющего не более единицы, получен ранжированный перечень роторно-управляемых систем для бурения под хвостовик.

Характеристика	«PowerDrive Archer 475» компании «Schlumberger»	«Revolution 675» компании «Weatherford»	PowerDrive X6 475» компании «Schlumberger»	«Wellguide RSS» компании «Gyrodax»	«DART» компании «Андергейдж»	«Suresteer» компании «APS technology»
Интенсивность искривления	1.4	1.05	1.4	1.75	0.7	1.75
Максимальный крутящий момент	0.75	1.25	1.25	1	1.25	1.25
Максимальная осевая нагрузка	1.5	0.6	1.2	1.2	1.2	1.5
Максимальная скорость вращения	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Результаты	4.15	3.4	4.35	4.45	3.65	5

«PowerDrive Archer 475» компании «Schlumberger» - наиболее универсальная роторно-управляемая система для бурения под хвостовик. Ни одна из вышеуказанных роторно-управляемых систем не применена на отечественных месторождениях в связи с недостаточной изученностью на территории Беларуси.

**Заключение.** Исходя из параметров роторно-управляемых систем, необходимо провести более детальное исследование для применения данных видов РУС на месторождениях нефти Припятского прогиба.

**Благодарность.** Выражаю признательность научному руководителю Невзоровой Алле Брониславовне, доктору технических наук, профессору, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

**Список литературы.**

1. Осипов Ю.В., Ахметов Д.С., Еникеев Р.В., Бадретдинов Д.Ф. Применение роторных управляемых систем для бурения // Проблемы науки. – 2017. – №. 10 (23). – С. 52-54.
2. Войтехин, О. Л. Технологические подходы к оптимизации темпа разработки трудноизвлекаемых запасов нефтяного месторождения / О. Л. Войтехин, А. Б. Невзорова // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого : научно-практический журнал. – 2023. – № 3. — С. 67-79.
3. Байковский Д.И. Проектирование оптимальной траектории бурения в целях увеличения эффективной длины горизонтального участка ствола скважины / Д.И. Байковский // Нефтяник Полесья. – 2024. – №1(45) – С. 109-113.

УДК 621

**ПРЕИМУЩЕСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ  
3D-ПЕЧАТИ В РОБОТОТЕХНИКЕ**

**Дрозд В.В. (студент, гр. 10114123)**

*Белорусский национальный технический университет,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Технологии аддитивного производства, в частности 3D-печать, стремительно развиваются и находят широкое применение в робототехнике. Они позволяют ускорить процесс создания прототипов и существенно снизить затраты на производство индивидуальных деталей. Вместе с тем их распространение сопровождается рядом ограничений, которые важно учитывать для повышения эффективности проектирования робототехнических систем.

**Цель работы --** Целью данной работы является анализ преимуществ и ограничений применения 3D-печати при создании конструктивных элементов робототехнических систем, а также оценка перспектив использования аддитивных технологий на различных этапах разработки и производства.

В ходе анализа установлено, что одним из ключевых преимуществ 3D-печати является высокая скорость изготовления прототипов, позволяющая оперативно вносить изменения в конструкцию без необходимости использования дорогостоящего оборудования. Экономическая

эффективность делает технологию особенно полезной при производстве единичных деталей [1].

Аддитивные методы обеспечивают возможность создания сложных геометрических форм, недоступных традиционным способам обработки. Это позволяет оптимизировать массу конструкций и адаптировать детали под конкретные задачи [2,3]. Также отмечена доступность настольных 3D-принтеров, что способствует распространению технологий среди студентов и инженеров.

Однако выявлены и значимые недостатки. Прежде всего, большинство используемых пластиков уступают металлам по прочности, что ограничивает применение напечатанных деталей в нагруженных узлах. Сложности вызывают также шероховатость поверхности, слоистая структура изделий и необходимость последующей обработки. При изготовлении крупных компонентов время печати существенно увеличивается, а стоимость профессионального оборудования остаётся высокой [4].

**Заключение.** 3D-печать является эффективным инструментом при создании прототипов и лёгких конструкций роботов, обеспечивая снижение затрат, гибкость разработки и расширение возможностей проектирования. Однако ограничения, связанные с прочностными характеристиками, точностью печати и стоимостью оборудования, не позволяют рассматривать её как универсальный производственный метод. Наиболее рациональным представляется комбинированный подход, совмещающий аддитивные и традиционные технологии.

Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Филимоновой Анне Федоровне, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

### **Список литературы**

1. Смирнова А. Первый в мире: история первого 3D-принтера и развития 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://top3dshop.ru/blog/istorija-pervogo-3d-printera.html> – Дата доступа: 10.11.2025.

2. Михальченко, А. А. Повышение точности 3D-печати методом FDM путем изменения параметров 3D-принтера / А. А. Михальченко, А. Б. Невзорова // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем : сб. науч. тр. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Ун-т им. Аджинкья Д. Я. Патила ; под ред. М. Н. Андриянчиковой. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 140–143.

3. Михальченко, А. А. Анализ факторов, влияющих на размерную точность углов изделий при обработке технологиями 3D-печати / А. А. Михальченко, А. Б. Невзорова // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2024. – № 1. – С. 82–86.

4. Михальченко, А. А. Влияние режимов 3D-печати термопластами на прочностные свойства изделий / А. А. Михальченко, А. Б. Невзорова, И. Б. Одарченко // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого : научно-практический журнал. – 2023. – № 1. — С. 31—40.

5. Иванова К. Уникальный 3D-принтер разработал инженер в Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belarus.kp.ru/online/news/5674519/> Дата доступа: 11.11.2025.

УДК 622.234.573

## АНАЛИЗ ПРИЧИН ВЫНОСА РАСКЛИНИВАЮЩИХ АГЕНТОВ

Дубина Д.А. (магистрант гр. ЗНГИ-21)

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Для достижения положительного эффекта в гидравлическом разрыве пласта важно избежать ряд факторов, которые могут привести к негативным эффектам в постоперационный период. Одним из таких факторов является вынос проппанта из трещин [1]. После выноса проппанта, трещина теряет способность поддерживать необходимую проводимость, что приводит к уменьшению продуктивности пласта. Помимо этого, незакрепленные частицы расклинивающего материала, поступая совместно с добываемым флюидом в скважину, могут привести к повреждению насосного оборудования, различным технологическим осложнениям [2]. Однако, на текущий момент есть сложности принятия рабочей методики, которая бы позволила описать процесс взаимодействия частиц расклинивающего агента в пластовых условиях, а состояние в пласте за пределами ствола скважины имеет неопределенности, которые невозможно решить в лабораторных испытаниях.

**Цель работы** – исследовать причины выноса расклинивающего агента в пост операционный период.

**Результаты анализа.** В ходе анализа выполнена проверка влияния следующих технологических параметров многостадийного гидравлического разрыва пласта (МГРП) на удельную интенсивность выноса расклинивающих агентов в ствол скважины в послеоперационный период:

- общее количество кластеров, обработанных при МГРП;
- плотность расположения кластеров;
- удельная масса расклинивающих агентов, закачанная в один перфорационный кластер при проведении МГРП;
- удельный объем закачки кислотного состава на 1 перфорационный кластер при проведении МГРП;

- удельный объем разрядки скважины в послеоперационный период;
- предельная и усредненная максимальная концентрация расклинивающих агентов в смеси гидроразрыва;
- геологический фактор.

В результате выполненного многофакторного анализа сделаны следующие выводы:

1. Прослеживается влияние удельного объема кислотного состава на интенсивность выноса расклинивающих агентов в скважину. Данная закономерность вызвана, предположительно, тем, что при закачке кислоты происходит не только очистка интервалов перфорации и призабойной зоны пласта от механических карбонатных частиц, но и травление заколонного цемента / разуплотнение пород.

2. Прослеживается не четко выраженное влияние конечной концентрации расклинивающих агентов в смеси гидроразрыва на интенсивность его выноса из трещины в скважину (рис.1). Повышение конечной концентрации расклинивающих агентов в смеси гидроразрыва способствует увеличению ширины приустевой зоны трещины.

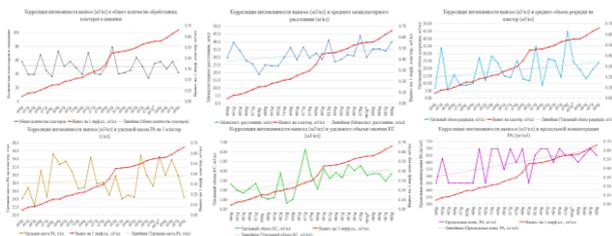


Рисунок 1 – Корреляция удельного выноса расклинивающего агента

3. Прослеживается зависимость интенсивности выноса расклинивающих агентов из трещины в скважину от территориального расположения объектов сравнения. Предположительно, это обусловлено высокой степенью латеральной неоднородности целевой геологической формации и существованием зон с неблагоприятными геомеханическими параметрами горных пород.

4. Прослеживается четкая зависимость динамики выноса расклинивающих агентов в ствол скважин от хронологии выполнения работ.

**Заключение.** Геологический фактор сыграл ключевую роль в создавшейся негативной тенденции, обусловив как сложности, возникавшие в процессе МГРП (затрудненная гидравлическая связь с пластом и, как следствие, повышенные объемы закачиваемого кислотного состава), так и дальнейший повышенный вынос расклинивающих материалов в условиях неблагоприятных геомеханических параметров горных пород, не позволяющих эффективно закреплять расклинивающий агент в теле трещины ГРП.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Невзоровой Алле Брониславовне, доктору технических наук, профессору за консультацию при подготовке данной работы.

#### **Список литературы**

1. Васильев, В.А. Оценка устойчивости заполнителя трещины при гидроразрыве пласта / Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. – 2010. – № 4. – С. 15–20.

2. Попкова Ю. И., Ракутько А. Г., Серебренников А. В. Исследование влияния внешних факторов на технологическую надежность полимерной изоляции электропогружного кабеля //Полимерные материалы. – 2025. – Т. 11. – №. 1. – С. 70-80.

3. Ткачев Д. В.. Оценка возможности повышения качественных характеристик кварцевого песка для ГРП методом нанесения полимерного покрытия / Д.В.Ткачев, А.М. Валенков, А.Л. Богданов, А.Г.Ракутько // Нефтяник Полесья. – 2024. – №. 2. – С. 75–81.

УДК 629.3.07

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ОКОН ПИТАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УЗЛА АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВОГО НАСОСА**

**Дубинский В.А.** (студент, гр. ГА-41)

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Аксиально-поршневые гидромашины являются одним из наиболее распространенных типов объемных гидромашин, которые широко применяются в гидросистемах технологических и мобильных машин. Одним из основных узлов в конструкции аксиально-поршневого насоса является узел распределения жидкости, который влияет на сроки эксплуатации и надежность работы гидромашин. Оптимизация размеров окон питания распределительного узла позволяет уменьшить влияние негативных факторов на работу аксиально-поршневого насоса.

**Цель работы** – определить наиболее оптимальные размеры окон питания в блоке цилиндров аксиально-поршневого насоса типа 313 с точки зрения уменьшения сопротивления движению жидкости при входе в рабочую камеру, а также возникновения кавитационных явлений.

**Анализ полученных результатов.** Движение жидкости через окна в доннышке цилиндров имеет пульсирующий характер. Кроме того, поток жидкости перемещается в отверстия, которое, в свою очередь, движется вместе с блоком по окружности. Следовательно, сопротивление потоку

жидкости значительно превышает сопротивление в других каналах насоса [1].

При всасывании в рабочую камеру и прохождении жидкости через окна питания в блоке цилиндров значительно возрастает скорость движения рабочей среды, следовательно, уменьшается давление и возможно возникновение кавитации и местного разрушения деталей [1, 2]. Размер окон в доньшке цилиндров на практике выбирают так, чтобы скорость рабочей жидкости для самовсасывающих насосов во всасывающих каналах не превышала 2-3 м/с.

Для уменьшения скорости в окне необходимо увеличивать его площадь, что приводит к уменьшению площади контакта блока цилиндров и торцевого распределителя (рисунок 1, а) и к уменьшению усилия, прижимающего блок цилиндров к распределительному диску что приведет к раскрытию стыка и увеличению утечек и уменьшению КПД насоса. Для снижения данного фактора окна питания могут выполняться в виде серпообразных прорезей или круглых отверстий, размеры которых меньше диаметра рабочей камеры из условия ограничения допустимой скорости движения жидкости [3].

В аксиально-поршневом насосе типа 313 с рабочим объемом 160 см<sup>3</sup>/об и частотой вращения 1200 об/мин при проектировании выбраны круглые окна в блоке цилиндров в соответствии с аналогом (рисунок 1, а) и определены геометрические размеры блока цилиндров (рисунок 1, б): диаметр расположения окон питания  $D_{рас} = 48$  мм и диаметр данных отверстий  $d_0 = 15$  мм, что обеспечивает оптимальное движение жидкости.

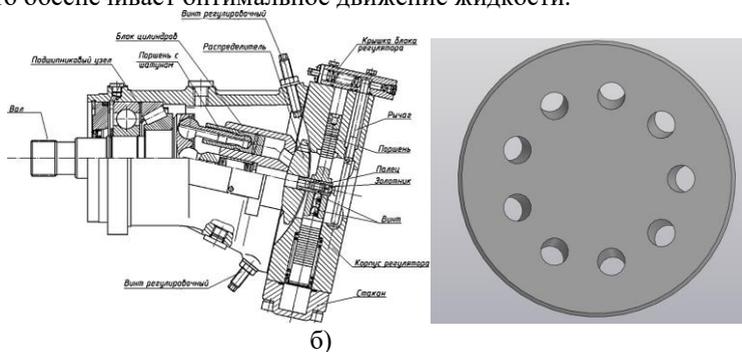


Рисунок 1 - Аксиально-поршневой регулируемый насос типа 313: а) устройство; б) 3D-модель блока цилиндров с питающими окнами

**Заключение.** При проектировании распределительного узла и определения размеров окон питания, необходимо обеспечивать минимальное гидравлическое сопротивление потоку жидкости и сохранение достаточной площади уплотнения для надежного прижатия блока цилиндров, а так же возможность возникновения кавитационных явлений для обеспечения длительной и надежной эксплуатации объемного насоса с сохранением максимального КПД.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Андреевцу Ю. А., старшему преподавателю кафедры «Нефтегазоразработка и гидропневмоавтоматика» за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

**Список литературы.**

1. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. Учебник для ВУЗов. – М.: Машиностроение, 1974. – 606 с.
2. Андреевца, Ю. А. Объемные гидро- и пневмомашины : пособие по одноименному курсу для студентов специальности 1-36 01 07 "Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин" дневной и заочной форм обучения / Ю. А. Андреевца. - Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. - 97 с.;
3. Янкович, Д. М. Моделирование проточной части нагнетательного канала аксиально-поршневого насоса при входе/выходе в рабочую камеру [Электронный ресурс] / Д. М. Янкович ; науч. рук. Ю. А. Андреевца // МИТРО 2023 – Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника : тезисы докл. науч.-техн. конф. студентов и молодых ученых / Гомель, 6 декабря 2023 г. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 118.

## **МОБИЛЬНЫЕ КОЛЕСНЫЕ РОБОТЫ**

**Дубоделова П.В, (студент, гр. РТ-41)**

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Мобильные колесные роботы используются для выполнения задач в труднодоступных и опасных для человека условиях, что делает их разработку важным направлением современной робототехники. Возрастающие требования к автономности и маневренности обуславливают необходимость совершенствования конструкций многоколесных платформ. Новизна исследования заключается в анализе особенностей таких систем и выработке рекомендаций по повышению их эффективности.

**Цель работы** – исследование конструкции мобильных колесных роботов, определение принципов функционирования их основных узлов и выявление направлений улучшения проходимости, устойчивости и функциональности. Внимание уделяется элементам ходовой части, системам управления и бортовым информационным модулям.

**Анализ полученных результатов.** Объект исследования – мобильный шестиколесный робот, оснащенный системой манипуляторов, который представляет собой пример универсальной платформы повышенной

проходимости. Шестиопорная конструкция позволяет существенно повысить устойчивость на неровной поверхности по сравнению с четырехколесными аналогами, а независимое управление каждым мотор-колесом обеспечивает возможность реализации сложных алгоритмов движения, таких как разворот на месте, плавное изменение траектории, компенсация проскальзывания и адаптация к внешним условиям. Наличие рессорной подвески способствует поглощению вибраций и улучшает контакт колес с поверхностью, что положительно влияет на точность движения.

Манипуляционная система, выполненная в виде двух независимых манипуляторов, расширяет функционал робота, позволяя выполнять одновременно две технологические операции: захват и удержание объекта, разбор завалов, манипулирование инструментами или работа с техническими устройствами. Их симметричное расположение относительно центральной оси повышает точность управления и снижает риск опрокидывания при выполнении сложных действий. Особое значение имеет наличие бортовой телевизионной системы с инфракрасной подсветкой, обеспечивающей оператору возможность наблюдения за окружающей средой в условиях недостаточной видимости. Телескопическая мачта с обзорной камерой позволяет оценивать обстановку на удалении, что расширяет возможности робота при выполнении разведывательных задач.

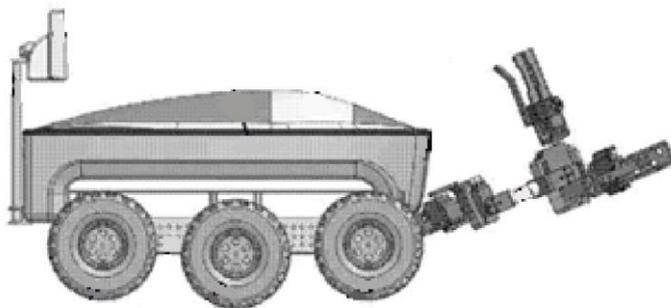


Рисунок 1 – Пример мобильного колесного робота

Дополнительно робот оснащён системой геопозиционирования, включающей электронный компас, акселерометр и приемник сигналов ГЛОНАСС/GPS. Данная комбинация датчиков предоставляет информацию о положении робота в пространстве, углах наклона корпуса, скорости и направлении движения. Это значительно повышает точность навигации и позволяет использовать робота для выполнения заданий в автономном режиме. Анализ функционирования бортовой информационно-управляющей системы показывает, что интеграция различных сенсоров с системой

дистанционного управления повышает эффективность работы оператора и снижает вероятность ошибок при выполнении сложных операций [2].

**Заключение.** Анализ показал, что использование многоколесных мобильных платформ повышает устойчивость и функциональность робототехнических систем. Полученные результаты подтверждают перспективность дальнейшего развития конструкций с независимым приводом колес и расширенными средствами восприятия.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю профессору Михайлову М.И., за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

#### **Список литературы.**

1. RU159405U1- Мобильный шестиколесный робот <https://patents.google.com/patent/RU159405U1/ru>
2. Миронов, И. А. Беспилотники для обнаружения утечек углеводородов при чрезвычайных ситуациях [Электронный ресурс] / И. А. Миронов ; науч. рук. А. Б. Невзорова // МИТРо 2024 – Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника : материалы докл. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 6 дек. 2024 г. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 154–155.

УДК 621.865.8

## **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СЕГМЕНТНОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Дубровский В.В, (студент, гр. АП-31)**

*Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого,  
Республика Беларусь*

**Введение.** Современное развитие робототехники характеризуется поиском новых кинематических схем и методов производства, позволяющих создавать дешёвые, гибкие и эффективные решения. Одним из перспективных направлений является создание сегментных манипуляторов, имитирующих движение таких биологических объектов, как щупальца или хобот. Такие манипуляторы обладают значительной подвижностью и могут работать в стеснённых условиях.

**Цель данной работы** - разработка и прототипирование конструкции сегментного робота-манипулятора с использованием 3D-печати.

Материалы и методы. Для проектирования манипулятора была применена параметрическая 3D-модель в системе автоматизированного проектирования SolidWorks. Конструкция состоит из идентичных сегментов, соединённых шарнирами. Привод манипулятора реализован на основе сервомашинки,

управление которыми осуществляется через микроконтроллер Arduino Uno. Для изготовления деталей сегментов использовалась аддитивная технология FDM (моделирование методом наплавления) на 3D-принтере с применением полилактида (PLA). Прочностной анализ критических элементов проводился методом конечных элементов в среде SolidWorks Simulation.

**Результаты и обсуждение.** В результате работы был разработан функциональный прототип трёхсегментного манипулятора. Каждый сегмент обеспечивает изгиб в двух плоскостях, что позволяет манипулятору иметь шесть степеней свободы. Испытания подтвердили способность манипулятора захватывать и перемещать объекты массой до 100 грамм. Прочностной анализ показал, что максимальные напряжения в элементах конструкции не превышают 70% от предела прочности материала, что свидетельствует о достаточном запасе прочности. Использование 3D-печати позволило быстро и дёшево изготовить сложные геометрические формы корпусных деталей и провести итерационное улучшение конструкции.

**Анализ точности позиционирования.** Для оценки практической применимости манипулятора была проведена серия экспериментов по определению точности позиционирования его рабочего органа. Использовалась система оптического трекинга для записи фактического положения конечного звена при задании ему различных координат в рабочей зоне. Полученные данные сравнивались с расчётными положениями, полученными на основе кинематической модели. Результаты показали, что средняя ошибка позиционирования составляет  $\pm 2.1$  мм, при этом максимальное отклонение не превышало 4.5 мм. Наибольшая точность наблюдалась в центральной области рабочей зоны, в то время как на периферии ошибка увеличивалась из-за кумулятивного эффекта упругих деформаций в шарнирных соединениях. Данный уровень точности является приемлемым для таких задач, как паллетизация грузов, операции захвата и перемещения в условиях неструктурированной среды, где не требуется сверхвысокая прецизионность.

**Заключение.** Проведённые исследования демонстрируют высокую эффективность сочетания современных методов 3D-моделирования и аддитивных технологий для задач быстрого прототипирования в робототехнике. Разработанная конструкция сегментного манипулятора является конкурентоспособной для применения в задачах, требующих обхода препятствий и манипулирования в ограниченном пространстве. Перспективы дальнейших работ видятся в интеграции систем технического зрения и разработке более сложных алгоритмов адаптивного управления.

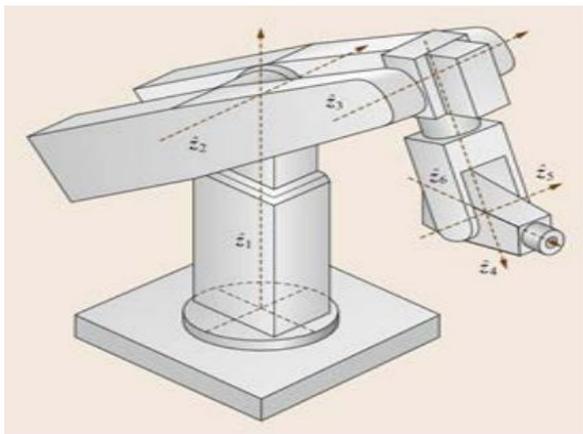


Рисунок – Общий вид прототипа разработанного сегментного робота-манипулятора

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Акуловой Елене Михайловне за консультацию и помощь при проведении данного исследования*

#### **Список литературы**

1. Петров В.С., Смирнов А.А. Основы проектирования гибких робототехнических систем. – М.: Машиностроение, 2021 – 215 с.
2. Алексеев К.В., Федоров И.Д. Применение аддитивных технологий в быстром прототипировании деталей роботов// Современные технологии в машиностроении. – 2022. – №4. – С.45–52.
3. Михальченко, А. А. Повышение точности 3D-печати методом FDM путем изменения параметров 3D-принтера / А. А. Михальченко, А. Б. Невзорова // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем : сб. науч. тр. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Ун-т им. Аджинкья Д. Я. Папила ; под ред. М. Н. Андриянчиковой. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 140–143.

УДК 621.039.542.4

## **ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕЧНОГО БЫТОВОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

**Желобкова Е.Д., Кострицкая В.И. (студенты, гр. ЭН-41)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О.Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Постоянное ухудшение качества окружающей природной среды и, в частности, пагубные последствия выбросов серы, которые образуются при сжигании используемого в качестве резервного или аварийного вида топлива производственными объектами теплоэнергетики мазута, требуют повышенного внимания к данной проблеме. В настоящее время активно прорабатывается вопрос о его замене на более экологичный вид продукта нефтепереработки – печное бытовое топливо.

**Цель работы.** Целью представленной работы является сравнительный анализ промышленных выбросов, которые формируются при использовании мазута и альтернативного ему печного бытового топлива.

**Анализ полученных результатов.** Реализация перехода на печное бытовое топливо для котельных установок, функционирующих в основном и пиковом режимах для ряда котельных Гомельского теплофикационного комплекса является одной из перспективных задач, отраженных в «Схеме теплоснабжения г. Гомеля на 2025 год с перспективой до 2030 года». При этом нужно учитывать, что резервный запас топлива для теплоэнергетического объекта должен обеспечить функционирование предприятия в течение десяти суток, а аварийный режим подразумевает топливный запас не менее, чем на пять суток работы [1].

Основная проблема, связанная с неблагоприятным воздействием мазута на окружающую среду, заключается в том, что при его сжигании выбрасывается значительное количество диоксида серы. Воздействие диоксида серы несет в себе серьезные опасности как для экосистемы, так и для здоровья людей. Концентрация данного вида выброса не соответствует нормативам, которые регламентируются действующими в настоящее время экологическими нормами и правилами ЭкоНиП 17.08.06-001-2022 «Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух (в том числе озоновый слой). Требования экологической безопасности в области охраны атмосферного воздуха»

Проведены расчеты выбросов, которые образуются при сжигании указанных видов топлив в течение максимально возможного времени использования их в качестве резервного и составляет 10 суток. Данные для расчетов взяты для районной котельной «Черниговская» Гомельского теплофикационного комплекса, где активно проводятся работы по переходу с мазута на печное бытовое топливо.

Расчетами установлено, что в случае использования мазута малозольного марки М-100 категории VI производства МНПЗ выброс диоксида серы в атмосферу составит 76,5 тонн за десять суток. Концентрация диоксида серы в сухих дымовых газах при этом будет составлять 3701,76 мг/м<sup>3</sup> при нормируемых согласно ЭкоНиП-2022 значениях для котельных установок теплопроизводительностью от 25 до 50 МВт - от 850-2500 мг/м<sup>3</sup> (в зависимости от года введения установок в эксплуатацию) [2].

В случае перехода на печное бытовое топливо вида В того же производителя выброс диоксида серы за 10 суток составит 1,1 т. Концентрация данного вида будет составлять 51,78 мг/м<sup>3</sup>. Таким образом, получаем, что количество выброса диоксида серы уменьшится больше, чем в 70 раз, а его концентрация в сухих дымовых газах снизится в 72,5 раза и позволит сделать выбросы диоксида серы соответствующими требованиям ЭкоНиП-2022.

Еще один показатель, который будет значительно снижен введением печного бытового топлива – выбросы сажи, которая влияет на здоровье людей, растительного и животного мира, может усугубить ряд респираторных и сердечнососудистых болезней, а также оказывает значительное влияние на изменение климата. Количество сажи, образующейся за 10 дней использования мазута, составит 347 кг, а для печного бытового топлива - 181,4 кг.

Следовательно, при замене резервного либо аварийного топлива мазут на печное бытовое топливо будут значительно снижены концентрации двух наиболее опасных видов выбросов – диоксида серы и сажи, что позволит снизить неблагоприятное воздействие диоксида серы и сажи на здоровье человека и окружающую природную среду в целом.

**Заключение.** Печное бытовое топливо является экологичной альтернативой используемому в настоящее время мазуту, и реализация проекта по переходу на него энергетических объектов Республики Беларусь будет способствовать улучшению состоянию экологии нашей страны.

**Благодарность.** *Выражаем признательность и благодарность научному руководителю Гусаровой Ольге Юрьевне за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

#### **Список литературы.**

1. Схема теплоснабжения г. Гомеля на 2025 год с перспективой до 2030 года: в 3 т. / сост.: А.Н.Рыков, О.А.Бушкевич. – М.: Проектное научно-исследовательское республиканское предприятие “БелНИПИЭнергоПром”, 2018. – Т. 1, ч. 1. – 230 с.

2. Морозова, О. Ю. Эффективность мероприятий по переводу источников теплоснабжения РУП "Гомельэнерго" с резервного топлива мазут на печное бытовое топливо: дис. на соиск. академ. степ. магистра техн. наук / О. Ю. Морозова; Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. - Гомель, 2021. - 57 с.

## ДИАГНОСТИКА КАВИТАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОБОРУДОВАНИЯ

**Жуков Д.А. (студент, гр. ГА-51)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О.Сухого,*

*Республика Беларусь*

**Актуальность:** Кавитация является одним из наиболее распространенных и разрушительных явлений, встречающихся в гидравлических системах, особенно в насосном оборудовании. Этот процесс не только снижает эффективность работы насосов, но и значительно сокращает срок их службы, приводя к дорогостоящему ремонту и простоям оборудования.

**Цель работы:** Анализ методов диагностики кавитационных явлений в гидравлических системах с насосом.

**Анализ полученных результатов:** Кавитация представляет собой сложный гидродинамический процесс образования и последующего схлопывания пузырьков пара в жидкости. Механизм образования кавитационных пузырьков - когда давление жидкости локально падает ниже критического значения (давления насыщенных паров при данной температуре), часть жидкости мгновенно переходит в парообразное состояние с образованием пузырьков.

Причинами возникновения кавитации в гидравлических системах с насосом могут быть связаны с недостаточным давлением на входе, высокими температурами жидкости, неправильная геометрия трубопровода и подсос воздуха – нарушение герметичности трубопровода.

Последствиями кавитации непосредственно связаны с методами их её обнаружения, это могут быть шум, вибрация, снижение производительности, эрозионное разрушение и снижение срока службы.

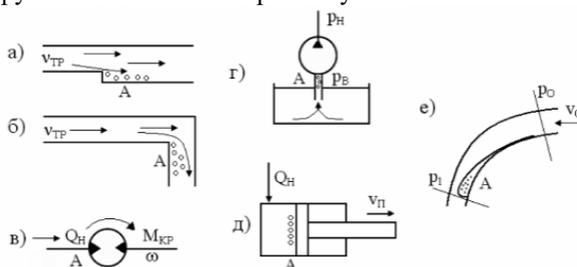


Рисунок 1 – Наиболее характерные зоны возникновения кавитации в гидроприводе: а) выступ в гидролинии; б) прямое колено; в) гидромотор при попутной нагрузке; г) всасывающая камера насоса; д) гидроцилиндр при попутной нагрузке; е) крутой изгиб трубопровода.

Методы обнаружения кавитации, такие как акустические, гидравлические методы и анализ вибрационных характеристик, позволяет своевременно выявить кавитационные процессы и предотвратить серьезные повреждения насосного оборудования. Современная диагностика кавитации основывается на комплексном подходе с использованием различных методов.

К акустическим методам относятся спектральный анализ шума и акустическая эмиссия, они характерны тем, что кавитация сопровождается характерным акустическим спектром, что делает звуковую диагностику одним из наиболее эффективных методов обнаружения: ультразвуковая диагностика — анализ ультразвуковых сигналов в диапазоне 20-100 кГц, генерируемых при схлопывании кавитационных пузырьков. Спектральный анализ шума заключается в определении спектре шума характерных кавитационным явлениям. Акустическая эмиссия представляет собой регистрацию высокочастотных импульсов, возникающих при микроударах от схлопывания пузырьков.

Анализ представляет собой измерение общего уровня вибрации — резкое увеличение при возникновении кавитации вибрационных характеристик насоса, что позволяет не только обнаружить кавитацию, но и оценить степень ее развития. Так же существует анализ огибающей вибрации, используемый для выявления модуляции вибросигнала, характерной для кавитационных процессов.

На основании анализа изменения рабочих параметров насоса при развитии кавитации принимаются гидравлические методы, заключающиеся в мониторинге напорной характеристики — снижение напора на 3% и более является признаком начинающейся кавитации. Так же используются контроль потребляемой мощности — нехарактерные колебания мощности при постоянной подаче и измерение пульсаций давления — увеличение амплитуды колебаний давления в определенных частотных диапазонах.

**Заключение.** Эффективная диагностика на основе акустических, вибрационных и гидравлических методов позволяет своевременно выявлять кавитационные процессы и принимать меры для их устранения. Внедрение комплексных систем мониторинга и использование современных материалов и конструктивных решений обеспечивают надежную защиту от кавитации.

### **Список литературы**

1. Каверзина А. С., Минеев А. В. Проблемы кавитации в гидроприводе самоходных машин и способы ее снижения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №. 6. – С. 171-176.
2. Фролов, В. В. Цифровой анализ работы механизированного фонда скважин / В. В. Фролов, А. Б. Невзорова // Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Часть 2. – С. 167–170

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ УПЛОТНЕНИЯ КОЛЛЕКТОРА ДЛЯ СКВАЖИН РЕЧИЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ

**Жуковский А.М. (аспирант)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Речицкое месторождение нефти находится на заключительной стадии разработки. При разработке месторождения в ходе снижения пластового давления меняется напряженно-деформированное состояние горных пород – это приводит к сжатию пор и уплотнению коллектора. Величина уплотнения напрямую зависит от механических свойств горных пород, которые определяются по результатам керновых лабораторных испытаний. На Речицком месторождении выполнялись лабораторные испытания керна по определению сжимаемости методом эффективного напряжения и методом истощения.

**Целью работы** является определение величины уплотнения коллектора по результатам проведения лабораторных исследований по оценке сжимаемости горных пород Речицкого месторождения нефти.

### **Анализ полученных результатов.**

Для расчета величины уплотнения коллектора используется зависимость [1]:

$$\Delta H = C_m \cdot H_{res} \cdot (P_i - P_{final}), \quad (1)$$

где  $H_{res}$  – эффективная вертикальная высота коллектора, м;

$P_i$  – начальное пластовое давление, МПа;

$P_{final}$  – конечное пластовое давление (после истощения), МПа;

$C_m$  – коэффициент одноосного уплотнения;

$C_m = 1/3[(1+v)/(1-v)](1-\beta)C_b$ ;

$C_b$  – общая сжимаемость, 1/МПа;

$v$  – коэффициент Пуассона;

$\beta$  – соотношение сжимаемости материнской породы (зерен) и общей сжимаемости породы ( $C_g/C_b$ ).

Величина общей сжимаемости, сжимаемости зерна и коэффициент Пуассона определялись в ходе лабораторных экспериментов на сжимаемость образцов керна горной породы [2]. Испытания проводились на установке псевдотрехосного сжатия RTR-1000, воспроизводящей пластовые условия залегания (температура, всестороннее и поровое давление). Исследования на сжимаемость проводились по схеме, включающей методы эффективного напряжения и истощения, с интегрированными стадиями нагружения для определения упругих характеристик (рисунок 1).

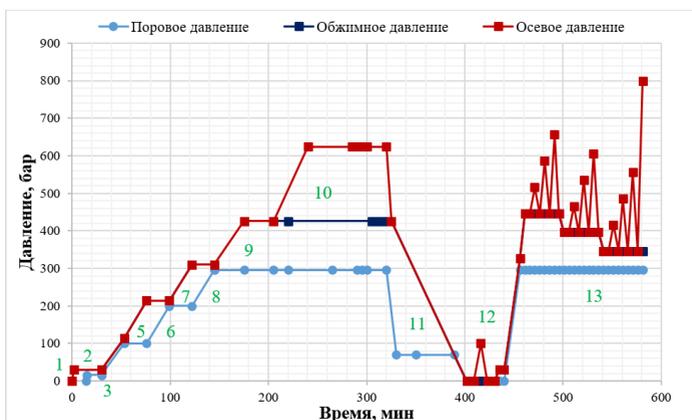


Рисунок 1 – Схема проведения испытаний по определению сжимаемости и упругих характеристик образцов керна горной породы

В результате проведения испытаний, а также используя фактические параметры скважин, по формуле (1) была получена величина уплотнения коллектора для скважин Речицкого месторождения нефти (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристики моделей коллекторов

№ п/п	Объект	Скважина	Горизонт	$H_{res}$ , м	$\nu$	$\Delta H$ , м
1	Речицкое	414	D3lb(brh)	5.5	0.41	0.00148
2	Речицкое	342	D3lb(brh)	3.8	0.33	0.00583
3	Речицкое	601	D3vr	13.5	0.25	0.0025
4	Речицкое	601	D2vtb+pr	3.9	0.21	0.00685
5	Речицкое	601	PR2	6.0	0.21	0.0043

**Заключение.** В результате выполненной работы была получена величина уплотнения коллектора по скважинам Речицкого месторождения нефти. Полученные результаты можно использовать для расчета влияния уплотнения коллектора на напряженно-деформированное состояние скважины с целью оценки вероятности разрушения цементного камня.

**Благодарность.** Выражаю благодарность научному руководителю, д.т.н, доценту Повжику П.П. за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

### Список литературы.

- МакФи К. Лабораторные исследования керна: гид по лучшим практикам. / МакФи К., Дж.Рид, Зубизаретта И. — М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. — 924 с.
- Жуковский, А. М. Определение сжимаемости горных пород по результатам испытаний на предел прочности при трехосном сжатии / А. М. Жуковский, П. П. Повжик // Инженер-нефтяник. – 2025. – № 2. – С. 53-58.

**ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ПОЛЗАЮЩИХ РОБОТОВ****Закревский А. А. (студент, гр. РТ-41)***Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Разработка мобильных роботов для работы в труднодоступных пространствах является перспективным направлением робототехники. Анализ конструктивных особенностей ползающих роботов позволяет выявить оптимальные технические решения для различных условий эксплуатации.

**Цель работы** - проанализировать конструктивные особенности ползающих роботов различных типов и определить их влияние на функциональные возможности устройств.

**Анализ полученных результатов** в работе исследованы три основных типа конструкций ползающих роботов. Змеевидные роботы (робот Университета Карнеги-Меллон, ЗМЕЕЛОК-3) характеризуются модульной конструкцией с шарнирными соединениями, обеспечивающей гибкость и разнообразие походок. Червеобразные роботы (гидрогелевый робот, робот SAW) имеют сплошную гибкую конструкцию с волновым принципом движения. Роботы с адгезивным движением (робот-геккон) оснащены специализированными контактными элементами, создающими силы притяжения к поверхности.

**Конструкция трехзвенного робота** по патенту RU 2 567 944 (Рисунок 1) представляет особый интерес, так как в ней применены активные и пассивные контактные элементы с управляемым трением. Активные элементы содержат электромагнитные приводы и металлические сердечники с фрикционными наконечниками, а пассивные выполнены в виде сферических шарниров, обеспечивающих свободное скольжение по поверхности.

**Перспективы развития.** Наиболее перспективным направлением является создание гибридных конструкций, сочетающих преимущества различных типов роботов. Например, змеевидный робот с адгезивными элементами может эффективно перемещаться как по горизонтальным, так и по вертикальным поверхностям. Развитие материаловедения, в частности гидрогелей и полимеров с памятью формы, открывает новые возможности для создания мягких роботов, способных адаптироваться к сложному рельефу поверхности.

**Практическое применение.** Ползающие роботы находят применение в поисково-спасательных операциях, инспекции промышленных объектов и медицинской диагностике. Например, змеевидные роботы используются для

обследования трубопроводов, а червеобразные - для перемещения в сыпучих грунтах при геологических исследованиях.

Дополнительный интерес представляет кинематическая организация трёхзвенного робота по патенту RU 2 567 944. В отличие от классических модульных конструкций, в данной схеме каждое звено выполняет собственную опорную или перемещающую функцию, что обеспечивает устойчивость при движении в ограниченных пространствах. Управляемое трение используется для создания надёжных точек фиксации, а последовательная активация звеньев позволяет роботу сохранять стабильность и минимизировать проскальзывание на сложном рельефе. Такое решение повышает точность позиционирования и расширяет область применения устройства, включая инспекцию трубопроводов и инженерных полостей.

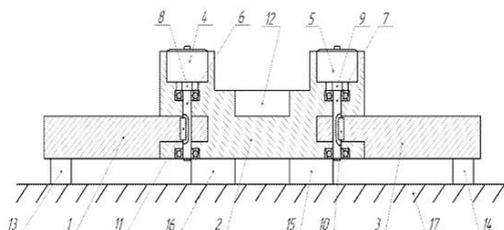


Рисунок 1 - Конструкция трёхзвенного ползающего робота

**Заключение.** Проведённый анализ показывает, что конструктивное исполнение ползающих роботов напрямую определяет их функциональные возможности и сферу применения. Змеевидные конструкции обеспечивают проходимость в узких каналах, червеобразные — оптимальны для сыпучих сред, а адгезивные системы — для вертикальных поверхностей. Перспективным направлением является создание гибридных роботов, объединяющих преимущества нескольких типов конструкций и способных адаптироваться к широкому спектру эксплуатационных условий.

**Благодарность.** *Выражаю благодарность научному руководителю Михайлову М. И., д.т.н., профессору, за консультацию и помощь в проведении данного исследования.*

#### **Список литературы**

1. Патент RU 2 567 944 С2. Ползающий мобильный робот.
2. Переладов И.К. Змееподобные роботы: технологии и перспективы // Молодой ученый. – 2024. – № 28.
3. Локтионова О.Г. Математическое моделирование ползающего трёхзвенного робота // Фундаментальные исследования. – 2015.– № 9.

## ВИРТУАЛЬНЫЕ И ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ПРОЕКТИРОВАНИИ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**Зверуго А.О. (студент, гр. 10809124)**

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Использование технологий виртуальной (VR) и дополненной реальности (AR) в проектах обогащает средства визуализации, улучшает качество выстраивания договоренностей и ускоряет циклы корректировок между всеми вовлеченными сторонами. Требуется изучить способы включения VR/AR в устоявшиеся процедуры разработки и сформулировать практические советы и показатели оценки, принимая во внимание удобство использования, экономическую оправданность и простоту освоения.

**Цель работы** -- выявить ключевые преимущества и недостатки применения VR и AR в процессе проектирования, классифицировать подходы к их внедрению и предложить критерии эффективности, а также создать общую схему интеграции VR/AR в этапы выполнения проектных задач.

Анализ полученных результатов, описание предмета исследования: рассматриваются процессы архитектурного и инженерного проектирования на стадиях формирования идеи, детального планирования и согласования с заинтересованными лицами (клиент, разработчики, исполнители). Рассматриваются современные VR/AR-системы, устройства для взаимодействия и программное обеспечение для создания сцен и объединения с BIM-моделями.

Итоги работы и основные достижения, изучено большое количество публикаций и реализованных проектов, определены наиболее востребованные области использования: создание трехмерных моделей, оценка удобства пространства, взаимодействие инженерных коммуникаций, тренировка персонала и демонстрации для клиентов.

Создана система разделения возможностей VR/AR в зависимости от этапа реализации: начальное представление идеи (VR особенно эффективен), техническое взаимодействие (AR позволяет отображать цифровые модели поверх физической среды), ввод объекта в эксплуатацию (AR используется для выявления расхождений) [1, с. 156].

Сформулированы показатели эффективности: достоверность соответствия виртуальной модели действительности, уменьшение затрат времени на достижение договоренностей, уровень удовлетворенности пользователей, цена внедрения технологии и скорость обучения сотрудников.

Разработана общая схема включения технологий: информация из BIM-модели поступает → создание визуальных представлений для VR/AR → проверка различных ситуаций (отзывы заказчиков, поиск пересечений) → внесение изменений обратно в BIM [2, с. 57].

**Заключение.** Проведенное исследование доказывает целесообразность использования VR и AR в проектировании: эти инструменты улучшают восприятие информации, способствуют выявлению дефектов на начальных этапах и увеличивают заинтересованность клиента [3]. Для повсеместного распространения требуются единые правила передачи данных (конвертеры с учетом принципов BIM), критерии оценки результативности и обучающие курсы для сотрудников [3]. Предлагается продолжить работу над практическими инструкциями по созданию материалов для VR/AR и реализовать тестовые проекты в реальных производственных условиях [4].

**Благодарность.** Хочу выразить глубокую признательность и благодарность моему научному руководителю Филимовой А.С., за ценные советы и поддержку, оказанные мне в процессе выполнения данной работы.

### Список литературы

1. Астахин, В.В. История международных отношений и внешней политики России / В.В. Астахин. — Москва: Феникс, 2010. — 384 с.
2. Верещагин, Е.М. Язык и культура / Е.М. Верещагин, В.Г. Костомаров. — Москва: Индрик, 2005. — 1038 с.
3. Невзорова, А. Б. Выбор веб-сервиса для создания цифрового образовательного мероприятия/ А. Б. Невзорова, Н. С. Горошко// Цифровая трансформация. – 2020. – № 4 (13). – С. 34–43. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2020-4-34-43>.
4. Невзорова, А.Б. Основные принципы информационного моделирования зданий/ А.Б. Невзорова, М.С. Афонченко. – Гомель: БелГУТ, 2017. – 107 с.

Удк 621

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ НАПРАВЛЯЮЩИМ СТАНКОВ

**Зеленковский Д.И., (студент, гр. ГА-21)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Актуальность разработки и совершенствования гидростатических направляющих для станков обусловлена возрастающими требованиями к точности, жесткости и долговечности современного

металлорежущего оборудования. Традиционные направляющие скольжения имеют существенные недостатки, такие как значительное трение, износ и неравномерное движение, что ограничивает точность обработки. Гидростатические направляющие, создающие несущий слой масла между трущимися поверхностями, позволяют практически полностью устранить трение и износ.

**Цель работы** - формулировка комплекса технических требований и конструктивных решений для проектирования и производства эффективных гидростатических направляющих станков, их использующих.

#### **Анализ полученных результатов.**

Требования к направляющим

Шабрение направляющих должно быть равномерным по всей поверхности. При проверке на краску поворочной плитой или сопряженной деталью должно обеспечиваться на площади  $25 \times 25$  мм следующее количество несущих пятен: не менее 20 для направляющих шириной до 100 мм и не менее 16 для направляющих шириной свыше 100 мм.

Глубина шабрения должна быть: не более 3—5 мм для легких и средних станков и не более 6—10 мм для тяжелых и уникальных станков.

Прямолинейность и плоскостность на длине перемещаемого узла в любом месте станины должна быть: для легких и средних станков в пределах 0,01 мм, а для тяжелых и уникальных станков — в пределах 0,02 мм.

Материал направляющих, как правило, — чугун; пористость, раковины и рыхлоты не допускаются. Для направляющих подвижного узла возможно применение накладок из сплава ЦАМ 10-5, бронзы и пластмасс.

Защита направляющих должна быть весьма надежной и осуществляться раздвижными телескопическими щитками с уплотнениями, гармоникообразными мехами, а также защитными устройствами с лентами.

Фиксация направляющих подвижного узла должна, как правило, осуществляться плавающими зажимными устройствами, обеспечивающими сохранение стабильного слоя масла, т.е. без исключения давления в гидростатической системе. Примерная конструкция подобного зажимного устройства показана на рис. 1. Сила создается при помощи цилиндра 1. Когда масло под давлением входит в полость 2, поршень 3 со штоком 4 перемещается вверх, и два башмака 5 зажимают находящуюся между ними направляющую станины.

Жесткость направляющих и корпусных деталей должна быть максимально повышена. Особое внимание должно быть обращено на размеры поперечного сечения направляющих и на толщину стенок. Клинья должны быть заменены регулируемыми и жестко закрепляемыми планками.

Форма направляющих в связи с высокими требованиями к точности и жесткости выбирается наиболее простой и технологичной.

Предпочтительными являются прямоугольные направляющие, применяют также цилиндрические и комбинированные (V-образная — плоская и цилиндрическая — плоская).

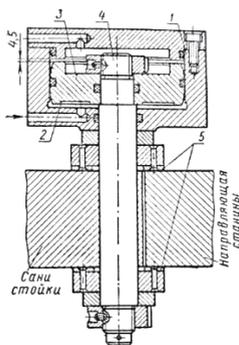


Рисунок – Плавающий зажим на сани стойки фрезерно-расточного станка

**Заключение.** Гидростатические направляющие требуют комплексного подхода: высокой точности изготовления, специальных систем сбора масла и уплотнений для минимизации утечек, а также плавающих зажимов для фиксации без нарушения масляного слоя. Перспективно использование высоковязких масел для повышения эффективности.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Лапко Ольге Алексеевне, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

#### **Список литературы**

1. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Учебник для втузов в 3-х т. / Под ред. В.К. Джонсона, А.С. Проникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 512 с.
2. Путьято А.В. Оценка влияния продольного смещения центра масс груза на устойчивость полувагона против схода с рельсов // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2021. № 1 (42). - С. 31-36.
3. Путьято, А. В. Теория и практика совершенствования конструкций кузовов вагонов с учетом взаимодействия с перевозимыми грузами : [монография] / А. В. Путьято. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 295 с.

## КАВИТАЦИЯ В ГИДРОТУРБИНАХ

**Зорин М. А. (студент, гр. ГА-31)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Кавитация остается одной из основных проблем современной гидроэнергетики, которая влияет на экономические показатели и долговечность оборудования. Это явление вызывает эрозионное разрушение элементов проточной части, снижение КПД и мощности турбин, вибрации и шум, что приводит к частым и дорогостоящим ремонтам. В условиях роста требований к эффективности и ресурсу работы гидроэлектростанций борьба с кавитацией на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации является важной задачей для обеспечения надежной и рентабельной выработки энергии.

**Цель работы.** Изучить явление кавитации в гидротурбинах, проанализировать физические причины ее возникновения, идентифицировать типичные места локализации в зависимости от типа турбины и разработать комплекс мер по ее уменьшению и предотвращению для повышения надежности и долговечности гидроэнергетического оборудования.

**Анализ полученных результатов.** Кавитация представляет собой процесс образования и последующего схлопывания паровых пузырьков в потоке жидкости, который вызывает разрушение рабочих органов гидротурбин и снижение их КПД [1,2].

При эксплуатации гидротурбины часто необходимо регулировать мощность, расход и, следовательно, величины скоростей потока жидкости и давления в проточной части. Увеличение расхода приводит к падению потенциальной энергии при прохождении через рабочее колесо и является естественным процессом, причем падение давления тем больше, чем больше быстроходность гидротурбины и наибольшее уменьшение давления происходит на тыльной поверхности лопасти (рисунок 1, а).

Причины возникновения кавитации связаны с падением давления ниже давления насыщенных паров. Это происходит в областях с повышенной скоростью потока - на вогнутых поверхностях лопастей, кромках рабочего колеса и в зонах изменения направления движения жидкости [3].

В зависимости от условий наблюдаются различные виды кавитации: профильная (рисунок 1, б), связанная с формой лопасти; щелевая в радиальном зазоре на периферии рабочего колеса; полостная на выходе за рабочим колесом из-за возникновения вращающихся полостей, заполненных паром; кавитация, связанная с шероховатостью поверхности при недостаточной механической обработке.

Основные зоны возникновения кавитации включают выходные кромки лопастей турбин Фрэнсиса, тыльные поверхности лопаток, зазоры между



аспекты развития : материалы междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург / Науч.-исслед. центр «МашиноСтроение». – 2022. – № 5. – С. 18–22.

УДК 621.78

## АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

**Каготько А.Р. (студент гр. ЗТМ 51)**

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** На сегодняшний день при создании ГТУ (газотурбинная установка) нового поколения определяющим фактором является обеспечение работоспособности деталей в условиях высоких температур (1200 °С и выше). Использование охлаждаемых лопаток с серийными покрытиями не может обеспечить их достаточного ресурса в таких условиях, а стандартные подходы к повышению жаропрочности таких изделий себя исчерпали. Таким образом, необходимо искать способы защиты основного металла лопатки от превышения их рабочих температур [1, 2]

**Цель работы** – проанализировать перспективность применения покрытий полученных газотермическим нанесением для повышению жаропрочности деталей газотурбинных установок.

**Анализ полученных результатов** говорит о применении керамических покрытий обеспечивающих более высокие рабочие температуры при ограничении теплового воздействия на конструктивные элементы, продлевая срок службы деталей за счёт снижения оксидации и термической усталости. В сочетании с активным воздушным охлаждением, детали ГТУ могут работать при более высоких температурах, чем без применения керамических покрытий.

Керамическое покрытие расплывается через плазматрон при температуре более 10 000 К. Применение теплозащитных многослойных покрытий позволяет решить проблему снижения температуры деталей ГТУ в условиях высоких температур. Это связано с очень низкой теплопроводностью керамики (например  $ZrO_2$ ). Следовательно, это позволит либо увеличить время работы деталей ГТУ при данных температурах, либо поднять температуру газа перед турбиной, что повысит коэффициент её полезного действия. В связи со значительным различием между коэффициентами термического линейного расширения керамики и жаропрочного сплава, что может приводить к скалыванию верхнего слоя, решение данной задачи является, весьма актуальным. Принято считать, что в качестве верхнего слоя ТЗП целесообразно применять керамику на основе циркония,

стабилизированного оксидом иттрия ( $ZrO_2 \cdot Y_2O_3$ ), а в качестве нижнего подслоя рекомендуется использовать жаростойкий материал (рис. 1). Нанесение керамического слоя позволяет обеспечить снижение температуры на поверхности металла детали, а жаростойкий слой обеспечивает защиту поверхности от высокотемпературной коррозии (керамика этого не обеспечивает) и повышает адгезию материалов.[2-3]

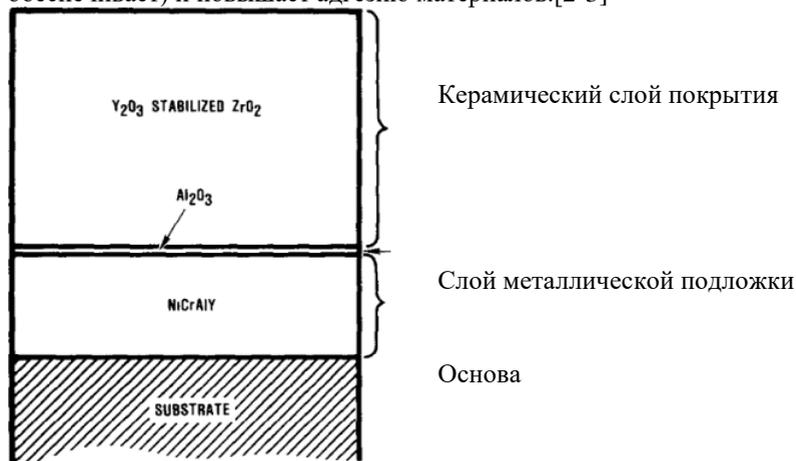


Рисунок – Вариант конструкции теплозащитного покрытия

**Заключение.** Применение защитных покрытий, полученных нанесением газотермическими способами, позволяет увеличить ресурс эксплуатации как отдельно изделий, так и агрегатов различного промышленного оборудования. Покрытия могут быть как, износостойкими, температуростойкими так и коррозионностойкими в различных средах эксплуатации. Что говорит нам о широкой сфере применения покрытий полученных газотермическими способами [3,4].

### Список литературы

1. Ильющенко А.Ф., Ивашко В.С., Оковитый В.А. Теплозащитные покрытия на основе  $ZrO_2$  / Ильющенко А.Ф., Ивашко В.С., Оковитый В.А. - Минск, 1998. – 255 с.
2. Ильющенко А.Ф. Напыление и наплавка защитных покрытий / Ильющенко А.Ф., Шевцов А.И., Громько Г.Ф. - Минск: Альфа-книга, 2023.
3. Хасуи, А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. - М., 1985.
3. Кульгейко, М. П. Роль инверсионности способов магнитно-электрической обработки при создании технологических комплексов генерации поверхностей / М. П. Кульгейко, Г. В. Петришин, Н. М. Симанович // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2020. – № 4(69). – С. 21-30.

4. Петришин, Г. В. Износостойкие гетерогенные покрытия из борированных материалов на основе отходов стальной дроби, нанесенные магнитно-электрическим методом : автореф. диссерт. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук / Г. В. Петришин; Полоцкий государственный университет. - Новополоцк, 2006 - 22 с.

УДК 622.234.573

## **МЕТОДЫ ВТОРИЧНОГО ВСКРЫТИЯ ПЛАСТА НА ОСНОВЕ ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫХ РАБОТ**

**Казак Р.А. (студент гр. НР-31)**

*Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Во всем мире наблюдается ухудшение качества остаточных извлекаемых запасов нефти Республика Беларусь не исключение. Большую часть остаточных извлекаемых запасов можно отнести к категории трудно извлекаемых. Такие запасы сосредоточены, в основном, в гидродинамически экранированных участках залежей с литологическими экранами. Существует значительное количество методов вторичного вскрытия пласта, технологий и технологических схем, направленных на улучшение качества гидродинамической связи между пластом-коллектором и скважиной, доразработку и доизвлечение остаточных извлекаемых запасов нефти.

**Цель работы** - изучение технологий вторичного вскрытия пласта на основе прострелочно-взрывных работ, в частности кумулятивной перфорации.

Одним из ключевых методов вторичного вскрытия пласта является перфорация, которая подразделяется на три основных способа: прострелочно-взрывной, гидродинамический и механический. Прострелочно-взрывные работы (ПВР) занимают значительное место в строительстве и эксплуатации нефтяных и газовых скважин, обеспечивая решение широкого спектра задач – от вскрытия продуктивных пластов до ликвидации аварий.

Прострелочно-взрывные работы включают: пулевую, торпедную и кумулятивную перфорации. Выполнение ПВР возлагается на геофизические предприятия, так как спуск аппаратуры осуществляется на геофизическом кабеле или насосно-компрессорных трубах с использованием стандартного геофизического оборудования. ПВР применяются для:

- 1) вторичного вскрытия пластов;
- 2) повышения притоков флюидов;
- 3) отбора образцов пород и флюидов;
- 4) разобщения пластов;

5) ликвидации аварий.

#### *Кумулятивная перфорация*

Кумулятивная перфорация основана на использовании кумулятивного эффекта, при котором действие продуктов взрыва концентрируется в заданном направлении. Эффективность метода зависит от вида и плотности взрывчатого вещества (ВВ), диаметра заряда, наличия облицовки и фокусного расстояния.

#### *Назначение и устройство кумулятивных перфораторов*

Основное назначение – пробивание отверстий в обсадной колонне, цементном камне и горной породе для вскрытия пласта-коллектора. По способу герметизации перфораторы делятся на:

- 1) корпусные: группа зарядов помещена в общий герметичный корпус;
- 2) бескорпусные: каждый заряд заключен в индивидуальную герметичную оболочку;
- 3) для спуска аппаратуры используется геофизический кабель (в наклонных и вертикальных скважинах) или насосно-компрессорные трубы (в горизонтальных скважинах).

#### *Достоинства кумулятивной перфорации*

- 1) высокая пробивная способность;
- 2) малое время на проведение работ;
- 3) относительно низкая стоимость работ;
- 4) минимальное воздействие на конструкцию скважины.

#### *Недостатки кумулятивной перфорации*

- 1) возможное разрушение цементного камня;
- 2) риск остекления стенки перфорационного канала в терригенных породах;
- 3) ограничения по применению на малых глубинах.

**Заключение.** Вторичное вскрытие пласта на основе прострелочно-взрывных работ, и, в частности, кумулятивной перфорации, остается высокоэффективным и широкоприменяемым методом для улучшения связи пласта со скважиной [4]. Наиболее перспективным направлением является совершенствование материалов оболочек зарядов и способов инициирования для повышения надежности и эффективности перфорации в различных горно-геологических условиях.

**Благодарность.** *Выражаю признательность научному руководителю старшему преподавателю кафедры «НГРиГПА» Шепелевой Ирине Сергеевне за консультацию и помощь при написании данной работы.*

#### **Литература**

1. Порошин, В.Д. Разработка нефтяных и газовых месторождений: учебное пособие / В.Д. Порошин, С. В. Козырева, С. Л. Порошина// – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – 399 с.

2. Демяненко, Н. А. Технологии интенсификации добычи нефти. Перспективы и направления развития : [монография] / Н. А. Демяненко, П. П. Повжик, Д. В. Ткачѳв. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – 270 с.

3. Войтехин О.Л., Лымарь О.В., Мельников Ю.В., Невзорова А.Б. Апробация технологии PLUTON в условиях I–III пачек петриковских продуктивных отложений скважины 466g Речицкой / О. Л. Войтехин [и др.] // Нефтегазовый инжиниринг. – 2024. – № 1 (1). – С. 8–16

УДК 528.837

## БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

**Казаченко А.А., (студент, гр. РТ-41)**

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Актуальность беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), или дронов, сегодня вышла далеко за рамки хобби и военной сферы. Они превратились в кросс-отраслевую технологию, кардинально меняющую подходы к работе, бизнесу и решению глобальных проблем [1]. Их востребованность обусловлена совокупностью ключевых преимуществ: экономичность, эффективность и скорость, безопасность, доступность и гибкость, высокая точность данных.

**Цель работы** – Разработка данной полезной модели была направлена на создание беспилотного летательного аппарата (БПЛА), преимущественно для буксировки мишеней, с принципиально новой аэродинамической компоновкой. Главной задачей являлось устранение ключевых недостатков, присущих существующим аналогам.

**Анализ полученных результатов.** Решения в области аэродинамики и устойчивости. Оптимизированное хвостовое оперение: Горизонтальное оперение. Его площадь увеличена до не менее 25% от площади крыла. Это кардинально улучшило продольную балансировку и аэродинамическое качество аппарата.

Вертикальное оперение: Применена схема с двумя разнесенными килями, установленными на концах балок, закрепленных на центроплане. Это решение устранило эффект аэродинамического затенения килей фюзеляжем и крылом на больших углах атаки, что значительно повысило эффективность рулей направления и путевую устойчивость. Специализированный профиль крыла: Использован симметричный аэродинамический профиль, который сохраняет положение аэродинамического фокуса неизменным при изменении угла атаки. Это является фундаментальным условием для обеспечения продольной устойчивости БПЛА.

Аэродинамическая компоновка фюзеляжа: Сечение фюзеляжа выполнено таким образом, что его передняя часть имеет форму полуокружности, а

задняя сочетает полуокружность с прямоугольником. Это создает эффект «несущего фюзеляжа», увеличивая общую подъемную силу, а также позволяет разместить в центре тяжести аппарата топливный бак большего объема без нарушения балансировки. Врожденная устойчивость: Компоновка обеспечивает расположение центра масс впереди аэродинамического фокуса. Это придает БПЛА свойство

Решения в области управляемости и маневренности. Интегрированная механизация крыла: По всей задней кромке отъемных консолей крыла установлены элероны и флапероны. Флапероны выполняют двойную функцию: работают как элероны для управления креном и как закрылки для увеличения подъемной силы на взлетно-посадочных режимах. Это значительно улучшило маневренность и взлетно-посадочные характеристики.

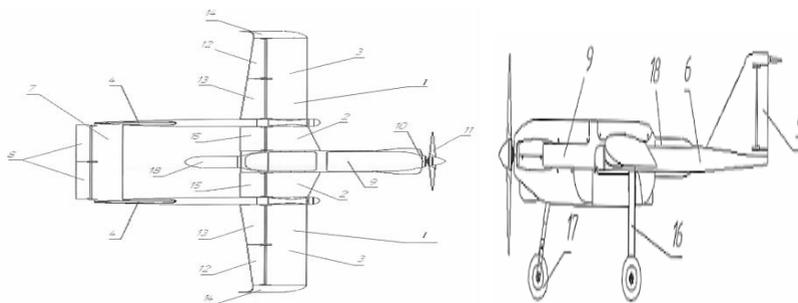


Рисунок 1 – Беспилотный летательный аппарат

**Заключение.** Разработанный беспилотный аппарат успешно сочетает высокие летные характеристики с практичностью использования. Оптимальная аэродинамическая схема обеспечивает устойчивость и управляемость, а складная конструкция крыла и продуманная компоновка делают его удобным для транспортировки и эксплуатации. Аппарат представляет собой эффективное решение для выполнения различных задач, включая буксировку мишеней.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю профессору Михайлову М.И., за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

**Список литературы:**

1. Невзорова, А. Б. Перспективы использования беспилотников для мониторинга инженерных сетей в Беларуси / А. Б. Невзорова, В. В. Невзоров // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 26 марта 2024 г. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. д-ра техн. наук, профессора Е. Ф. Кудиной. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 72–74.

2. Миронов, И. А. Беспилотники для обнаружения утечек углеводородов при чрезвычайных ситуациях [Электронный ресурс] / И. А. Миронов ; науч. рук. А. Б. Невзорова // МИТРО 2024 – Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника : материалы докл. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 6 дек. 2024 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 154–155.

3. ВУ9757U- Беспилотный летательный аппарат // <https://by.patents.su/metka/letatelnyjj>

УДК 62-82

## АНАЛИЗ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ В МОБИЛЬНЫХ МАШИНАХ

**Капшай К.А. (студент, гр. ГА-11)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность:** Автоматизация переключения передач в мобильной технике облегчает процесс управления коробкой передач, улучшает тяговые и топливно-экономические качества мобильной машины стремясь полностью или частично автоматизировать процесс.

**Цель работы:** рассмотреть схемы и конструкции современных гидрофицированных автоматических коробок скоростей, выполнить анализ их характеристик.

**Результат работы:** Основная задача гидравлической системы управления коробкой передач состоит в том, чтобы в обычном режиме движения передачи всегда переключались в надлежащий момент времени. За это отвечают два элемента управления: центробежный регулятор, который всегда жестко соединен с ведущими колесами автомобиля и управляет процессом переключения передач в зависимости от скорости движения; регулирующий золотник для регулировки давления газа или модулирующего давления, воздействует на процесс переключения передач путем изменения нагрузки двигателя, меняя положение дроссельной заслонки и давление во впускном коллекторе.

Центральным органом управления всеми внутренними тормозами и муфтами автоматической коробки передач, а также муфтой блокировки гидротрансформатора крутящего момента, является гидравлический блок.

В зависимости от степени автоматизации рассмотрены преселекторное, командное и автоматическое управление переключением передач. В качестве примера приведены принципиальные схемы с автоматическим управлением

переключением передач, преселекторным управлением дополнительным редуктором-делителем коробки передач ЯМЗ-15, командным управлением гидромеханической коробкой передач БелАЗ, принципиальная и функциональная схемы гидравлической САПП двухступенчатой коробки передач и др.

При преселекторном управлении процесс переключения разделяется на два этапа: на первом водитель осуществляет предварительный выбор передачи без переключения; на втором в соответствующий момент включается выбранная передача с помощью простой операции-нажатия на педаль сцепления до упора или мгновенного опускания педали подачи топлива.

В коробках передач с командным управлением включение передачи осуществляется подачей соответствующего командного сигнала на распределитель путем нажатия кнопки или перемещения рычажка управления.

При автоматическом управлении переключением передач выбор передачи осуществляется без вмешательства водителя. Вместе с тем водитель при желании может включать одну или несколько передач независимо от работы системы автоматического переключения передач (САПП). Автоматически управляемую коробку передач используют совместно с автоматическим сцеплением или гидромуфтой, гидротрансформатором, осуществляющими плавное трогание мобильной машины с места. Такие коробки передач устанавливаются на ряде моделей легковых и грузовых автомобилей, тракторах, строительно-дорожных машинах и на другой мобильной технике.

Наибольшее распространение получили автоматические коробки передач, управляющие потоком мощности от двигателя совместно с гидротрансформатором. Последний, обладая способностью бесступенчато изменять подводимый к нему крутящий момент, позволяет уменьшить число ступеней в коробке передач (до 2...3) и, следовательно, значительно упростить САПП. В работе рассмотрены функциональные схемы САПП.

Для организации процесса переключения передач в современных САПП чаще всего учитываются два входных параметра: скорость движения мобильной машины и положение органа подачи топлива (например, дроссельной заслонки). Эти параметры достаточно полно характеризуют условия движения и режим работы мобильной машины.

**Вывод:** Анализ схмотехнических решений гидравлической автоматизации переключения передач позволил выявить достоинства и недостатки гидрофицированных приводов на примерах их использования в различных по мощностям мобильных машинах и выделить наиболее перспективные.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Кульгейко Г.С., старшему преподавателю, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

**Список литературы.**

1. Круташов, А. В. Конструкция автомобилей: коробки передач : учебник для вузов / А. В. Круташов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 117 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-12731-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/566737> (дата обращения: 21.11.2025).

2. Савич, Е. Л. Автомобили. Коробки передач современных легковых автомобилей : пособие для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей (по направлениям)» по направлению 1-37 01 06-01 «Техническая эксплуатация автомобилей (автотранспорт общего и личного пользования)» и 1-37 01 07 «Автосервис» / Е. Л. Савич, А. С. Гурский. — Минск : БНТУ, 2020. — 45 с.

3. Neuzorava, A. B., Skirkovsky, S. V. Face Masks as a Factor in Eventuality of Changes in Driving Safety. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 4 (95), pp. 274–281. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-13>.

УДК 621

## **КОНСТРУКЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ ПО УЛУЧШЕНИЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ И РОЛИКОВ ТРАНСПОРТЕРОВ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РУДЫ**

**Карцев Д. И. (студент, гр. 3-СГД\_ГМиО)**

*Филиал Мурманского арктического университета, г. Апатиты, Россия*

**Актуальность.** В условиях интенсивных механических и абразивных нагрузок наиболее уязвимыми элементами являются конвейерная лента и роликоопоры. Их износ приводит к частым простоям, повышению эксплуатационных расходов и снижению общей эффективности производства. [1].

**Цель работы** – проанализировать конструкционные подходы к повышению износостойкости конвейерной ленты и роликов транспортеров и оценить их эффективность для увеличения срока службы и надежности конвейерных систем.

**Основные виды износа конвейерных систем.** Абразивный износ является доминирующим и возникает вследствие воздействия частиц руды на рабочую и нерабочую поверхности ленты, а также на ролики. Ударный износ происходит в зонах загрузки при падении крупных кусков руды. Протирочный и надрывной износ ленты связан с её трением о неподвижные элементы конструкции и застреванием материала между лентой и роликами. Для роликов характерен также подшипниковый износ и коррозия.

**Конструкционные подходы к повышению износостойкости конвейерной ленты.**

Современные конвейерные ленты имеют сложную композитную структуру. Каркас из синтетических тканей (полиэстер, полиамид) или стальных тросов обеспечивает продольную прочность и стойкость к ударам. Для повышения стойкости к поперечным порезам применяются дополнительные поперечные армирующие элементы. Выбор типа и количества прокладок позволяет оптимизировать ленту под конкретные условия нагрузки [2].

Решающую роль играет конструкция резиновых обкладок. Верхняя обкладка, контактирующая с материалом, изготавливается из высокопрочных резиновых смесей с включением армирующих добавок, таких как керамические частицы или сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ). Для зоны загрузки применяются дополнительные амортизирующие слои или резиновые брусья. Низ ленты покрывается износостойкой, но эластичной резиной для обеспечения хорошего сцепления с приводным барабаном и снижения износа от контакта с роликами.

Для предотвращения просыпания материала и износа бортов применяются герметичные конструкции с предварительно формованными бортами или вулканизированными перегородками. Эффективная система очистки (скребки, щетки, плужковые очистители), установленная на барабанах, предотвращает налипание материала и протирочный износ.

#### **Конструкционные подходы к повышению износостойкости роликов.**

Вместо стандартных стальных роликов широкое распространение получили ролики с корпусом из полимерных композитов. Такие ролики обладают меньшим весом, стойкостью к коррозии и адгезии материала, а также способностью к самозащите – при заклинивании они не разрушают ленту. Для особо тяжелых условий применяются ролики с литым чугуном или стальным корпусом с увеличенной толщиной стенки.

Основной причиной выхода роликов из строя является отказ подшипников. Конструкционным решением является использование роликов с неразборным, предварительно натянутым подшипниковым узлом. Многоступенчатые лабиринтные уплотнения в сочетании с консистентной смазкой, заполняющей полость ролика, надежно защищают подшипник от попадания абразивной пыли и влаги, что значительно увеличивает их ресурс [1].

Для центрирования ленты и снижения её износа по краям применяются желобчатые роликоопоры с оптимальным углом желобности. В зоне загрузки используются амортизирующие ролики из резиновых колец или пружинные ролики, которые поглощают энергию удара и защищают ленту от проколов и порезов.

**Заключение.** Применение современных конструкционных решений для конвейерных лент и роликов позволяет существенно повысить износостойкость и надежность транспортирующего оборудования. Ключевыми направлениями являются: использование композитных

армированных материалов для лент, внедрение полимерных и специализированных стальных роликов, а также совершенствование конструкции подшипниковых узлов и систем герметизации.

**Благодарность.** *Выражаю признательность научному руководителю Невзоровой Алле Брониславовне (д.т.н., профессор) за консультацию и помощь при анализе результатов и подготовке данной работы.*

#### **Литература.**

1. Киселев, Б.Р. Ленточный конвейер. Расчет и проектирование основных узлов: учеб. пособие/ Б.Р. Киселев, М.Ю. Колобов; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2019 – 179 с.

2. Справочник технолога-машиностроителя. // В 2 т. / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Кашиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. – 5 изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. – Т.1 – 912 с.

3. Невзорова А.Б. Комплексное восстановление деталей подшипниковых узлов / А.Б.Невзорова. – Ремонт, восстановление, модернизация. – 2003. – № 4. – С. 32–35.

4. Подшипники скольжения для работы в абразивно-агрессивных средах : [монография] / А.Б. Невзорова [и др.]. – Гомель : LAMBERT Academic Publishing, 2018. – 336 с.

УДК 621.7.044

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГИБКИ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА**

**Кирьянов Р.О., (магистрант гр. ММ-11)**

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Аннотация:** В статье исследуются ключевые факторы, влияющие на качество и точность процесса гибки листового металла. Проанализировано влияние механических свойств материала, технологических параметров и конструктивных особенностей оснастки на формирование дефектов и точность геометрических параметров деталей.

**Ключевые слова:** гибка листового металла, пружинение, пластическая деформация, технологическая оснастка, качество обработки.

**Актуальность.** Гибка листового металла является одной из ключевых операций в машиностроении, авиа- и судостроении, производстве строительных конструкций и бытовой техники. Ее широкое применение обусловлено возможностью получения деталей сложной пространственной формы с высокой производительностью и минимальными отходами материала [1]. Однако технологический процесс гибки сопряжен с рядом физико-механических явлений, таких как пружинение, упрочнение

материала, утонение стенки в зоне изгиба и риск образования трещин, которые могут привести к браку готовых изделий и выходу из строя оборудования [2]. Несмотря на существующие методики расчета усилий гибки и разработки технологической оснастки, прогнозирование точности геометрических параметров и остаточных напряжений в условиях серийного производства остается сложной задачей, требующей учета множества переменных факторов, что особенно актуально для машиностроительных предприятий Республики Беларусь.

**Цель работы** – исследовать ключевые факторы, влияющие на качество и точность процесса гибки листового металла.

**Результаты анализа.** В ходе анализа выполнена оценка влияния следующих технологических и материальных параметров на качество гибки (отсутствие дефектов, точность угла изгиба):

- механические свойства материала (предел текучести, временное сопротивление, относительное удлинение);
- толщина листового материала;
- радиус гибки (отношение радиуса гибки к толщине материала,  $R/t$ );
- скорость деформации при гибке;
- ориентация изгиба относительно направления прокатки листа;
- тип и конструкция гибочного инструмента (пуансон, матрица);
- применение смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС).

В результате выполненного многофакторного анализа сделаны следующие выводы:

1. Прослеживается значительное влияние механических свойств материала, в частности относительного удлинения, на минимально допустимый радиус гибки без разрушения. Материалы с высоким значением относительного удлинения (например, низкоуглеродистые стали) допускают интенсивную пластическую деформацию без образования трещин, что подтверждается исследованиями, проведенными на базе РУП «Белорусский металлургический завод».

2. Прослеживается четко выраженная зависимость явления пружинения (возврата детали на некоторый угол после снятия нагрузки) от соотношения  $R/t$  и предела текучести материала. Увеличение радиуса гибки и предела текучести приводит к росту угла пружинения, что требует соответствующей компенсации при проектировании инструмента.

3. Прослеживается влияние ориентации гибки относительно направления проката на склонность к образованию трещин. Изгиб, перпендикулярный направлению прокатки, как правило, является более предпочтительным, так как волокна материала в этом случае меньше препятствуют деформации, что особенно важно для материалов, производимых по белорусским стандартам.

4. Прослеживается зависимость качества поверхности гиба и требуемого усилия от применения СОТС. Правильно подобранная смазка снижает трение, уменьшает усилие гибки и предотвращает образование задиров на поверхности детали и инструмента, что повышает стойкость оснастки, производимой на предприятиях холдинга «Белстанкоинструмент».

**Заключение.** Ключевым фактором, определяющим успешность технологического процесса гибки, являются механические свойства обрабатываемого материала, которые обуславливают его поведение под нагрузкой. Свойства материала напрямую влияют на выбор технологических параметров (радиуса гибки, усилия) и конструкцию оснастки для компенсации пружинена [3]. Пренебрежение этими факторами, такими как анизотропия свойств листа или низкая пластичность, приводит к повышенному проценту брака и снижению эффективности производства, что подтверждается опытом внедрения новых технологий на Минском автомобильном заводе.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Невзоровой Алле Брониславовне, доктору технических наук, профессору за консультацию при подготовке данной работы.

#### **Список литературы**

1. Смирнов-Аляев, Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию / Г.А. Смирнов-Аляев. – М.: Машиностроение, 2018. – 264 с.
2. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки / Е.А. Попов. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 456 с.
3. Путято А.В., Коновалов Е.Н., Пастухов М.И., Афанаськов П.М., Бугаева Е.В., Белогуб Н.В. Оценка остаточного ресурса несущей конструкции вагона пассажирского после длительной эксплуатации / Вестник Белорусского государственного университета транспорта. – 2020. – № 2(41). – С.42–45.

УДК 62-229.384

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИДРОСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЗЧИКОМ С АДАПТАЦИЕЙ К НАГРУЗКЕ**

**Клевжиц Д.А. (студент, ГА-51)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Погрузчик с телескопической стрелой АМКОДОР Т400-70 предназначен для выполнения погрузочно-разгрузочных и строительных операций. Эффективность его работы зависит от надежности гидросистемы рабочего оборудования и рулевого управления. Традиционные системы с постоянными параметрами давления и расхода вызывают избыточные потери

энергии и ускоренный износ элементов. В связи с этим актуальна разработка гидросистемы с адаптацией к нагрузке, обеспечивающей экономичность, производительность и долговечность машины.

**Цель работы** – проектирование гидросистемы погрузчика с телескопической стрелой АМКОДОР Т400-70 с адаптацией к нагрузке, что позволяет повысить энергоэффективность, точность и надежность гидросистемы, работающей в динамических режимах.

**Анализ полученных результатов.** В гидросистемах с адаптацией к нагрузке давление регулируется по сигналу от наиболее нагруженного гидродвигателя. Это позволяет автоматически поддерживать оптимальные параметры, снижать энергопотери и увеличивать срок службы рабочей жидкости по сравнению с дроссельными системами [1].

Гидросистема погрузчика (рис. 1) предназначена для приведения в действие исполнительных механизмов рабочего оборудования и рулевого управления. Система обеспечивает подъем и опускание стрелы, выдвижение секции телескопа, управление ковшом, а также плавное и надежное рулевое управление при любых режимах работы машины.

Проектируемая гидросистема включает аксиально-поршневой насос (Н1) переменной производительности с регулятором и распределитель с контуром сигнала нагрузки. Давление от наиболее нагруженного цилиндра через логический клапан «ИЛИ» (КИ) передается на насос, обеспечивая нужный расход и повышая точность управления. Секции распределителя (Р3) с компенсаторами давления, поддерживающими постоянный расход жидкости независимо от нагрузки, что особенно важно при совмещении операций [2]. Приоритетный клапан (КПР) распределяет поток между контурами рулевого управления и рабочего оборудования. Насос-дозатор (НД) подает жидкость в рулевые цилиндры пропорционально усилию, прикладываемому к рулевому колесу. При отсутствии управляющих действий поток перенаправляется из контура рулевого управления в контур рабочего оборудования.

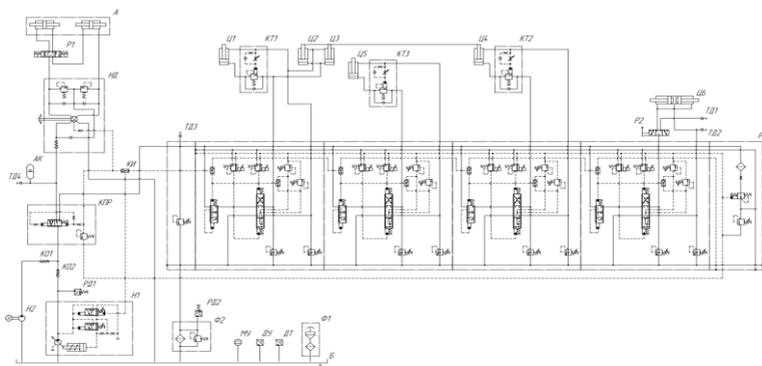


Рисунок 1 – Схема гидравлическая принципиальная

Гидросистема погрузчика с адаптацией к нагрузке обеспечивает выполнение всех рабочих функций, повышает надежность компонентов и гарантирует высокий уровень безопасности и комфорта. Эффективная работа насоса и точное распределение потоков снижают энергозатраты, повышают точность управления, уменьшают риск перегрузок и перегрева масла [3].

**Заключение.** Спроектированная гидросистема рабочего оборудования и рулевого управления с адаптацией к нагрузке для погрузчика АМКОДОР Т400-70 сочетает в себе энергоэффективность, точность и надежность, обеспечивая высокие эксплуатационные характеристики машины при минимальных затратах энергии.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Андрееву Ю.А., старший преподаватель, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

### **Список литературы**

1. Гинзбург, А. А. Анализ потерь мощности гидросистем с клапанной и объемной адаптацией к нагрузке при равномерном распределении расхода / А. А. Гинзбург, Ю. А. Андреев // Современные проблемы машиноведения: Сборник научных трудов. В 2-х частях / Под общей редакцией А.А. Бойко. Том Часть 1. – Гомель: Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, 2023. – С. 58-61.

2. Стасенко, Д. Л. Сравнительный анализ гидросистем с адаптацией к нагрузке мобильных машин / Д. Л. Стасенко, А. А. Гинзбург, Е. В. Хазеев // Зимняя сессия : VI Междунар. науч. конф., Боровец, Болгария, 8–11 дек. 2021 г. / Науч. техн. союз машиностроения «Индустрия 4.0». – Боровец, 2021. – С. 189–192.

3. Янкович, Д. М. Анализ схмотехнических решений автоматического переключения частоты вращения гидромоторов ходовой части комбайна / Д. М. Янкович, Ю. А. Андреев // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 24–25 апр. 2025 г. : в 2 ч. / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Ч. 1. – С. 49–52.

УДК 347.77

## **РАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ПРОМЫСЛОВО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН ПО КОНТРОЛЮ ЗА РАЗРАБОТКОЙ**

**Клепча Н.С. (студент гр.НР-31)**

*Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Эффективная разработка нефтяных месторождений невозможна без комплексного контроля за состоянием скважин и процессами, происходящими в пласте, что требует применения промыслово-геофизических методов [1.2]. Информативность таких исследований позволяет быстро выявить нарушения, оптимизировать работу добывающих и нагнетательных скважин и повысить нефтеотдачу [3].

**Цель работы** – изучение комплексов промыслово-геофизических методов, применяемых при контроле за разработкой нефтяных месторождений, и определение их эффективности для решения основных задач исследований скважин.

В настоящее время промыслово-геофизическими методами решаются такие основные задачи:

- исследование процесса вытеснения нефти в пласте;
- изучение эксплуатационных характеристик пласта;
- изучение технического состояния скважин;
- исследование скважин для выбора оптимального режима работы скважины и ее технологического оборудования.

Основные методы промыслово-геофизических исследований в обсаженных скважинах:

Дебитометрия является одним из основных методов изучения эксплуатационных характеристик пласта. При контроле за разработкой нефтяных месторождений применяются две модификации метода: механическая и термокондуктивная дебитометрия. Обе модификации метода входят в полный комплекс промыслово-геофизических исследований действующих скважин. Измерения механическими дебитомерами производят для выделения интервалов притока или приемистости в действующих скважин, получение профиля притока или приемистости пласта по его отдельным интервалам, распределения общего дебита или расхода по отдельным пластам.

Термометрия является методом в стандартном комплексе исследований скважин при исследовании эксплуатационных характеристик пласта. Она применяется для выявления заколонных перетоков снизу и сверху, выявления внутриколонных перетоков между пластами, определения нефте-газоводопритокров, контроля за перфорацией колонны, выделения работающих пластов, выявления обводненных пластов. В перфорированных пластах термометрия применяется для выделения интервалов притока (приемистости), определения отдающих (поглощающих) пластов и установления интервалов обводнения. В неперфорированных пластах термометрия служит для прослеживания местоположения температурного фронта закачиваемых вод.

Шумометрия в скважинах позволяют решать различные технологические задачи, по которым радиционные геофизические методы (термометрия, расходометрия и т.д.) не всегда дают однозначные ответы. Отмеченные закономерности гидродинамического звукообразования в скважине

позволяют с помощью спектрального разделения шумов различных источников определить режим течения жидкости и местоположение потока, а именно, выявить работающие интервалы пластов, в том числе на неперфорированных участках, заколонные перетоки, микроциркуляцию между пластами, а также контролировать техническое состояние скважины и подземного оборудования.

Метод влагометрии применяют для определения состава флюидов в стволе скважины, выявления интервалов притоков в скважину воды, нефти и газа и их смесей, установления мест негерметичности обсадной колонны.

Сущность метода меченого вещества состоит в том, что в горные породы или в скважинный флюид вводятся вещества, обладающие различными аномальными физическими свойствами относительно окружающей среды, наличие которых надежно выделяется промыслово-геофизическими методами.

Сравнительный анализ показывает, что эти методы позволяют получать данные о состоянии пласта и техническом состоянии скважины. Изучены принципы работы каждого метода и их назначения. Проведённые методы показывают, что их совместное использование обеспечивает высокую точность определения интервалов притока, состояния обсадной колонны и динамики работы пласта [3]. Применение методов в едином цикле исследований обеспечивает более полное и объективное понимание текущего состояния разработки, повышая качество геолого-технических решений [4].

**Заключение.** Изучены основные промыслово-геофизические методы, применяемые для контроля за разработкой нефтяных месторождений. Проанализированы их особенности и области применения. Анализ показал, что использование совокупности методов позволяет значительно повысить точность оценки состояния пласта и скважины, своевременно выявлять перетоки, зоны обводнения, нарушения работы оборудования и другие отклонения, влияющие на эффективность добычи.

**Благодарность.** *Выражаю признательность научному руководителю старшему преподавателю кафедры «НГРиГПА» Шепелевой Ирине Сергеевне за консультацию и помощь при написании данной работы.*

### **Список литературы**

1. Повжик П.П. Создание системного подхода – путь повышения эффективности разработки трудноизвлекаемых запасов нефти месторождений Припятского прогиба / П.П.Повжик. – Недропользование XXIвек. – 2019 – №4. – С. 134-143.
2. Жуковский, А. М. Опыт использования геомеханического моделирования на скважинах Тишковского месторождения нефти / А. М. Жуковский, Р. Е. Гутман, В. Д. Порошин // Нефтегазовый инжиниринг : научно-технический журнал. – 2024. – № 1. – С. 17–26.
3. Сошенко, А. В. Особенности построения петрофизической модели на основе связей «кern–ГИС» в условиях тонкослоистого разреза на примере

петриковско-елецкого горизонтов Северо-Домановичского месторождения / А. В. Сошенко, О. Н. Гулай, С. Н. Лобач // Нефтегазовый инжиниринг. – 2025. – № 1. – С. 25–37.

4. Фролов, В. В. Цифровой анализ работы механизированного фонда скважин / В. В. Фролов, А. Б. Невзорова // Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Часть 2. – С. 167–170.

УДК 665.6

## **ОПТИМИЗАЦИЯ МИНИМАЛЬНОГО ДЕБИТА В НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЕ ДЛЯ ЕЕ КОНСЕРВАЦИИ**

**Клочко У.В., (студент, гр. НР-51)**

*Гомельский государственный технический университет им П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Оптимизация минимального дебита для консервации скважин является актуальной задачей для нефтедобывающей отрасли Беларуси в силу экономического фактора (значительная часть фонда скважин эксплуатируется с дебитами ниже уровня рентабельности), высоких операционных затрат на содержание малодебитных скважин, неэффективного распределения ограниченных материальных и трудовых ресурсов, технико-экологических факторов (поздняя стадия разработки основных месторождений), роста обводненности продукции и падение пластового давления, повышенных рисков аварийности на изношенном фонде скважин, сохранении скважин как стратегического актива для будущей доразработки [1,2].

Оптимизация заключается в комплексном анализе для каждой конкретной скважины или группы. В комплексный анализ входит экономический расчет (определение точки, где операционные расходы уравниваются с доходом от добычи), технический анализ (оценка состояния оборудования ствола скважины, возможности применения методов интенсификации добычи), геолого-физическое моделирование (анализ состояния пласта, оценка остаточных запасов) [3].

**Цель работы** – выявить методики оптимизации минимального дебита нефтяных скважин для технико-экономически обоснованного принятия решений об их консервации на месторождениях Беларуси.

**Анализ полученных результатов** предполагает снижение операционных расходов на 25-30% по группе оптимизированных скважин.

Перераспределение трудовых ресурсов на перспективные объекты и высвобождение оборудования для использования на высокодебитных скважинах.

Установлен дифференцированный порог рентабельности:

- для скважин с ШГН: 0,9-1,2 т/сутки
- для скважин с УЭЦН: 1,3-1,8 т/сутки
- для скважин с высокой обводненностью (>90%): >2,0 т/сутки
- снижение количества ремонтов на 40% в группе рискованных скважин
- уменьшение потребления электроэнергии на 18-22%

К проблемным зонам относятся высокие первоначальные затраты на консервацию скважин с сложной конструкцией, необходимость регулярного мониторинга консервированного фонда, сезонные колебания экономических показателей. Для этого предлагается разработка программы этапной консервации, внедрение системы дистанционного мониторинга, создание резерва средств на внеплановые работы [4].

Рекомендуется широкое внедрение методики на всех месторождениях Беларуси, ежегодная корректировка экономических параметров, интеграция с системой планирования добычи и разработка отраслевого стандарта.

Результаты анализа демонстрируют высокую эффективность предложенного подхода и целесообразность его применения для повышения рентабельности нефтедобычи в Республике Беларусь.

**Заключение.** Проведенная работа подтвердила высокую эффективность системного подхода к оптимизации минимального дебита скважин для их консервации.

Разработанная методика позволяет:

- Обоснованно принимать управленческие решения о выводе скважин из эксплуатации
- Достигать значительного экономического эффекта за счет сокращения убыточного производства
- Повышать экологическую безопасность за счет своевременной консервации проблемных скважин
- Сохранять стратегический потенциал месторождений для будущей доразработки.

Внедрение методики рекомендовано в систему корпоративного планирования "Белоруснефти" как эффективный инструмент повышения рентабельности добычи в условиях истощающихся месторождений Припятского прогиба.

Дальнейшее развитие работы видится в создании автоматизированной системы мониторинга и принятия решений по управлению фондом скважин.

Таким образом, реализация проекта по оптимизации минимального дебита скважин для консервации вносит значимый вклад в повышение экономической устойчивости и технологической эффективности нефтедобывающей отрасли Республики Беларусь, обеспечивая рациональное

использование стратегического ресурса в условиях истощающихся месторождений.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность руководителю профессору Невзоровой А. Б. за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

### **Список литературы**

1. Повжик П.П. Создание системного подхода – путь повышения эффективности разработки трудноизвлекаемых запасов нефти месторождений Припятского прогиба / П.П. Повжик. – Недропользование XXI век. – 2019 – №4. – С. 134-143.

2. Фролов, В. В. Оптимизация режима работы глубинно-насосного оборудования на основе цифровых моделей / В. В. Фролов, А. В. Серебренников, А. Б. Невзорова // Нефтегазовый инжиниринг. – 2024. – № 1. – С. 33–40.

3. Карташ НК, Демяненко НА, Повжик ПП. Основные проблемы повышения нефтеотдачи на нефтяных месторождениях Беларуси и пути их решения / Н.К. Карташ, Н.А. Демяненко, П.П. Повжик// Время колтюбинга. – 2012. – Май (3). – С.46.

4. Фролов, В. В. Цифровой анализ работы механизированного фонда скважин / В. В. Фролов, А. Б. Невзорова // Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Часть 2. – С. 167–170.

УДК 622.24.05

## **ВИНТОВЫЕ ЗАБОЙНЫЕ ДВИГАТЕЛИ**

**Клыч Е.А, (магистрант, гр. ЗНГИ-11)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Винтовые забойные двигатели широко распространены в нефтегазовой отрасли и применяются для бурения скважин. Эти устройства обеспечивают эффективное и надежное бурение в различных геологических условиях, особенно при разработке месторождений скважин осложненного фонда. Также винтовые забойные двигатели позволяют улучшить качество бурения, обеспечивая более точное и стабильное прохождение скважины через различные пласты горных пород.

**Цель работы** – оценить конструкцию, принцип работы и основные характеристики винтовых забойных двигателей, а также рассмотреть перспективы их применения в нефтегазовой отрасли.

Винтовой забойный двигатель (screw downhole motor) – гидравлический забойный двигатель объемного типа, многозаходные рабочие органы которого выполнены по схеме героторного планетарного механизма, приводимого в действие за счет энергии промывочной жидкости (рисунок 1).



Рисунок 1 – Винтовой забойный двигатель

Основными элементами конструкции являются: двигательная секция, шпиндельная секция, регулятор угла. Винтовой забойный двигатель (ВЗД) применяют для бурения скважин различной глубины, широко применяются для наклонно-направленного и горизонтального бурения.

Диаметр винтовых забойных двигателей обычно составляет 54-230 мм, они применимы в бурении и капитальном ремонте скважин (КРС).

Винтовые забойные двигатели относятся к объёмным гидравлическим роторным машинам в которых рабочий орган образован:

- статор двигателя с плоскостями, примыкающими по концам к камерам высокого и низкого давления [1];
- ротор-винт, – ведущий, через который крутящий момент передаётся исполнительному механизму;
- замыкатели-винты – ведомые, назначение которых уплотнять двигатель, то есть препятствовать перетеканию жидкости из камер высокого давления в камеру низкого давления[1].

РО ВЗД — винтовой героторный механизм с внутренним зацеплением ротора и статора с циклоидальными профилями зубьев. Ротор вращается внутри статора с планетарным движением и эксцентриситетом зацепления.

Силовая секция преобразует энергию потока рабочей жидкости в вращательное движение ротора. Она включает стальной ротор с винтовыми зубьями и статор с эластичной обкладкой из резины, имеющей внутреннюю винтовую поверхность. Для эффективной работы статор и ротор должны соответствовать определённым требованиям:

- числа заходов статора и ротора должны отличаться на единицу [2];
- шаги винтовых поверхностей статора и ротора должны быть пропорциональны числам их заходов;
- винтовые поверхности статора и ротора должны иметь одинаковое направление.

Шпиндельная часть — это элемент двигателя с выходным валом, поддерживаемым подшипниками. Она передаёт крутящий момент, осевую нагрузку на долото, реакцию забоя, гидравлическое давление и радиальные нагрузки от долота и планетарного ротора.

Устройство для регулировки угла корректирует наклон осей двигателя относительно буровой колонны. Устанавливается между силовой и шпиндельной секциями или над ВЗД. Состоит из переводников, сердечника и зубчатой муфты.

**Заключение.** Применение винтовых забойных двигателей позволяет повысить производительность и снизить затраты на бурение. Они находят широкое применение при разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений, а также при капитальном ремонте скважин.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Невзоровой А.Б заведующий кафедрой, профессор за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

### **Список литературы**

1. Басарыгин Ю.М., Булатов А.И., Просёлков Ю.М. Бурение нефтяных и газовых скважин. Учебное пособие для вузов. — Недра-Бизнесцентр, 2002. — 632 с.

2. Балденко Ф.Д. Расчёты бурового оборудования. — Москва : РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012. — 425 с.

3. Демяненко Н. А., Повжик, П.П., Серебренников, А. В., Жогло, В. Г., Пысенков, В. Г., Привалов, В. В., & Будник, Н. И. Новые технологии в разработке нефтяных месторождений Республики Беларусь для увеличения коэффициента извлечения нефти и перспективы их развития //Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. — 2016. — №. 3. — С. 47-54.

4. Повжик, П.П., Демяненко Н. А., Сердюков Д.В., Галай М.И. Применение новой технологии увеличения добычи нефти и КИН – способ продлить жизнь истощенным млым залежам с ограниченными запасами углеводородов и низким пластовым давлением. — Инженер-нфтяник. 2019. — № 4 . — С.22–26.

УДК 621.865.8

## **КОНСТРУКЦИИ СХВАТОВ РОБОТОВ**

**Коваленко Д.Н., (студент, гр. РТ-41)**

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Современные промышленные, логистические и сервисные системы всё активнее применяют роботов для автоматизации задач — от сборки деталей до упаковки и перемещения изделий различной формы, размера и материала. Для обеспечения универсальности, надёжности и точности таких операций необходимо иметь захваты, способные адаптироваться под разные объекты и условия захвата. Кроме того, рост требований к гибкости производства и появления задач,

связанных с хрупкими, нестандартными или сложными по форме предметами, требуют разработки новых типов схватов — адаптивных, мягких или гибридных, а также внедрения интеллектуальных систем управления.

**Цель работы** – проанализировать существующие конструкции схватов роботов, выявить их преимущества и ограничения, оценить актуальные тенденции развития, а также определить перспективные направления для дальнейших исследований и совершенствования захватных устройств.

**Анализ полученных результатов.** Существует множество типов схватов: от традиционных механических и параллельных до более сложных — с зубчатыми передачами, червячными и редукционными механизмами, а также мягкие, адаптивные, бионические и сенсорные решения.

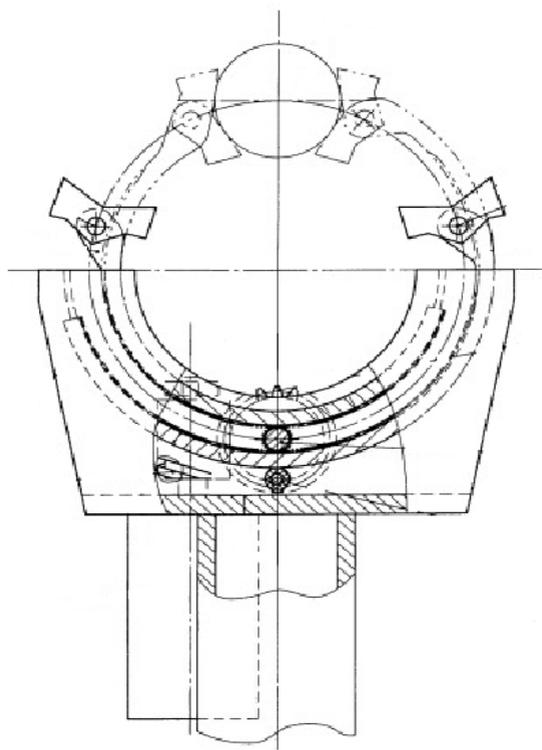


Рисунок 1 – Пример конструкции схвата робота

Захваты с продуманной передачей (зубчатые, червячные механизмы), обеспечивают стабильность захвата, возможность удержания объектов

цилиндрической или плоской формы, а съёмные зажимные элементы позволяют адаптировать хват под разные детали.

Современные разработки всё чаще включают датчики усилия, обратную связь, тактильные покрытия и алгоритмы управления, что позволяет роботу оценивать свойства объекта (форма, жёсткость, хрупкость) и выбирать оптимальную стратегию захвата. Благодаря эластичным материалам и особым механизмам мягкие схваты удачно справляются с захватом нестандартных или хрупких объектов, что делает их перспективными для задач, где требуются деликатность и универсальность.

Некоторые решения предусматривают сменные зажимные части, что упрощает переналадку робота под разные задачи — это выгодно для гибких производственных линий и многофункциональных роботов.

**Заключение.** Анализ показал, что современные конструкции схватов роботов стремятся к сочетанию механической надёжности, адаптивности и интеллектуального управления, что обеспечивает более точный и безопасный захват объектов различной формы и свойств. Дальнейшее развитие данных систем связано с интеграцией мягких материалов, сенсорных технологий и модульных элементов, что позволит значительно расширить функциональные возможности робототехнических комплексов.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю профессору Михайлову М.И., за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

**Список литературы:**

1. RU2347674 - Конструкции схвата робота <https://web.archive.org/web/20230316234808/https://findpatent.ru/patent/234/2347674.html>;

УДК 621.865.8

**РОБОТИЗАЦИЯ СВАРКИ И ВЫРЕЗАНИЯ ОТВЕРСТИЙ  
В РЕЗЕРВУАРЕ МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ  
ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ ТИПА МЖУ-16**

**Козел С. С., Кучинский Е. К., Чурин Г. А.**

**(учащиеся направления «Робототехника» НДТП)**

*Учреждение образования «Национальный детский технопарк»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Технологический процесс сварки и резки является одним из наиболее распространенных вредных процессов в промышленности [1,2]. Робототехнические комплексы сварки и резки позволяют избежать

вредного воздействия на жизнь и здоровье рабочих, а также достичь большей производительности, при улучшенном качестве сварки и резки.

**Целью работы** является повышение эффективности и качества процессов обработки и изготовления компонентов сельскохозяйственной техники, включая резервуары для внесения жидких органических удобрений. В частности, сварка и резка отверстий в таких резервуарах являются операциями, требующими высокой точности, надежности и безопасности.

**Анализ полученных результатов.** Процесс производства резервуаров начинается со сварки полого цилиндра из листа стали, который будет представлять собой секцию резервуара. После чего для усиления жесткости конструкции и гашения волн жидкости в резервуаре устанавливается перегородка, также путем сварки. На следующем этапе производства устанавливаются эллиптические днища резервуара на крайних секциях, а также секции предварительно (без проварки всего шва) соединяются друг с другом.

Кинематическая схема шестиосевого коллаборативного робота-манипулятора представляет собой структуру, состоящую из шести вращательных кинематических пар (осей), которые соединены между собой звеньями. Каждая ось позволяет роботу поворачиваться вокруг своей оси, обеспечивая многообразие движений и гибкость в работе. Такая конструкция позволяет роботу выполнять сложные пространственные перемещения и ориентацию объекта в пространстве, что делает его пригодным для различных задач, включая сборку, обработку и перемещение материалов на производстве.

Перед непосредственным выбором конкретной модели целесообразно провести обзор поставщиков на рынке промышленных и коллаборативных роботов. Это позволит:

- сравнить технические характеристики (грузоподъемность, досягаемость, повторяемость) у ведущих брендов;
- оценить готовность моделей к интеграции сварочного или резательного оборудования;
- выявить локальных представителей и условия сервисной поддержки в Республике Беларусь.

Сопоставив технологические требования сварки и вырезания отверстий в резервуаре с возможностями типовых линеек для совместной работы с оператором, быстрой переналадки и контурной обработки, а также рассмотрев общие принципы построения и функционирования кинематических схем коллаборативных роботов, для проекта был выбран промышленный робот с шестью степенями свободы — Omron TM25S-X.

В рамках разработки автоматизированной системы лазерной сварки и резки резервуаров типа МЖУ-16, изготовленных из нержавеющей стали толщиной 6 мм, была произведена оценка и выбор подходящего оборудования.

Основными критериями оценки сварочной головки служили: стабильность сварочного процесса, совместимость с используемым лазерным источником, надежность подачи защитного газа и возможность интеграции в имеющуюся платформу. Для выбора лазерной головки для резки учитывались следующие показатели: максимальная мощность, тип соединителя, фокусное расстояние, совместимость с используемым лазерным источником.

Лазерный источник Raycus RFL-C3000S обладает преимуществами высокой эффективности электрооптического преобразования, хорошего качества луча, высокой плотности энергии, высокой частоты модуляции, высокой надежности, длительного срока службы и эксплуатации без технического обслуживания.

Для моделирования и проверки траекторий движения роботизированного манипулятора в рамках проекта использовалось программное обеспечение SprutCAM 18, которое представляет собой специализированное CAD/CAM-программное обеспечение для симуляции, оффлайн-программирования и комплексной постобработки управляющих программ промышленных роботов.

**Заключение.** В результате выполнения проекта была произведена оценка эффективности использования робототехнического комплекса сварки и резки на участке сварки и вырезания отверстий в резервуаре машин для внесения жидких органических удобрений типа МЖУ-16 ОАО «Бобруйскагромаш» и предложены новые решения и идеи в сфере промышленной робототехники, с акцентом на ее экономичность и доступность для учреждений образования и промышленных предприятий.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителем Марченко Ивану Сергеевичу и Матрунчик Юлии Николаевне, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

### **Список литературы**

1. Невзоров, М. В. Возможности использования сигнатур процесса лазерной наплавки для мониторинга характеристик функциональных покрытий / М. В. Невзоров ; науч. рук. Г. В. Петришин // II Международный молодёжный научно-культурный форум студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых : сборник материалов, Гомель, 22-24 января 2025 г. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 182.

2. Петришин, Г. В. Исследование микроструктуры поверхности лазерных покрытий из диффузионно-легированных порошков на основе отходов производства / Г. В. Петришин, Е. Ф. Пантелеенко, М. В. Невзоров // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2024. – № 3 (98). – С. 28–37. <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-3-28-37>

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ГИЛЬЗА» ЦИЛИНДРА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО

**Колбик Н.Н. (студент гр. ТМ-31)**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П.О.Сухого, г.Гомель, Республика Беларусь*

Гидроцилиндры наиболее совершенные двигатели возвратно-поступательного действия. «Гильза» входит в состав гидравлического цилиндра и является наиболее ответственной деталью этого изделия, определяющей его работоспособность.

**Цель работы** – разработать технологический процесс механической обработки детали «Гильза» с обоснованием выбора отделочной операции, оснастки и режимов обработки.

Разработан технологический процесс на изготовление детали «гильза гидроцилиндра». Гильза, несмотря на простоту конструкции, является трудоемкой деталью, от качества которой во многом зависит надежность и долговечность всего гидроцилиндра. Поверхность отверстия гильзы обеспечивает герметичность в местах соприкосновения с уплотнениями. Точность внутренней поверхности гильзы должны быть в пределах 8-9 квалитета, отклонение от округлости и цилиндричности 0,01 мм, шероховатость Ra 0,32 – Ra 0,16. Отклонение от прямолинейности по оси гильзы – не более 0,03 мм на длине 500 мм.

Для обработки рабочей поверхности детали на отделочной стадии техпроцесса предложена поверхностно пластическая деформация (далее ППД). Выполнен анализ методов ППД поверхностей. В результате ППД повышаются твердость и прочность поверхностного слоя, формируются благоприятные остаточные напряжения, уменьшается параметр шероховатости Ra, увеличиваются радиусы закругления вершин, относительная опорная длина профиля и т. п.

К методам ППД относится обкатывание и раскатывание поверхностей шариковыми и роликовыми обкатками, прошивание отверстий шариками и дорнами, алмазное выглаживание, дробеструйная обработка и другие методы. Приведены схемы обработки поверхностей роликами.

Рассмотрена взаимосвязь эксплуатационных свойств деталей машин с геометрическими характеристиками качества поверхностей.

Выявлено, что понижение значений шага волнистости  $S_w$  и высотного параметра  $W_z$  для поверхностей, прошедших ППД, по сравнению с показателями волнистости после хонингования, позволяет сделать вывод о предпочтительности использования ППД для повышения контактной жесткости поверхностей пар трения.

Для достижения жестких требований в разработанный технологический процесс была включена отделочная-упрочняющая операция – «раскатная», которая заключается в раскатывании внутренней поверхности гильзы выполняемой многояриковыми или многороликовыми раскатками рис.1. Это производительный метод обработки. В работе проведен анализ конструкций оснастки для финишной обработки. Лучшими эксплуатационными показателями отличаются роликовые самозатягивающиеся раскатки. Назначены припуски под раскатывание в пределах 0,04 – 0,08 мм на диаметр. При установке детали на станке необходимо обеспечить относительное «плавание» инструмента и детали. Режимы раскатывания: скорость 90 – 120 м/мин; подача 0,7 – 1,2 мм/об.

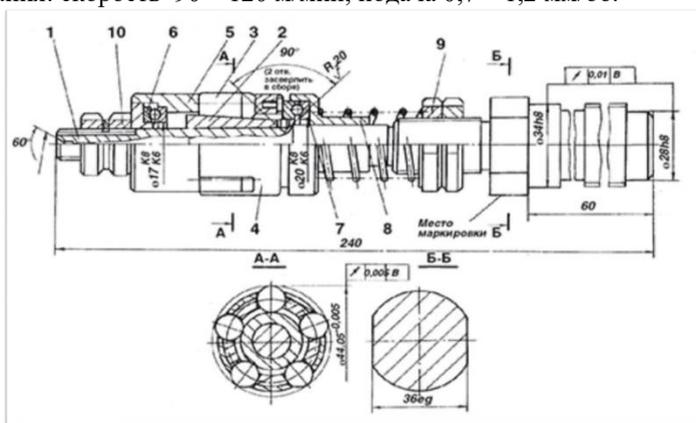


Рисунок 1 – Раскатка роликовая с работой на растяжение

В работе предложена высокопроизводительная операция финишной обработки позволяющая обеспечить жесткие требования к точности и шероховатости отверстия «Гильзы» цилиндра.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Кульгейко Г.С., старшему преподавателю, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

### Список литературы

1. Голубчикова, Е.М. Методика выбора параметров шероховатости поверхностей высокоточных деталей/ Голубчикова Е.М., Дещеня А.Д, Кульгейко Г.С.// Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: Сборник научных статей 6-ой междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 17 апр. 2022. – С. 108 – 113
2. Михайлов М.И., Кириленко В.П. Оборудование инструментального производства: учебное пособие; М-во образования Респ. Беларусь. – ГГТУ им. П.О.Сухого. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2016. – 270 с.

**ПРОИЗВОДСТВО И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ «ГОЛУБОГО» ВОДОРОДА В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ****Колмачёва П.С. (студентка, гр.ТЭ-41)***Гомельский государственный технический университет им.П.О.Сухого,  
Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Актуальность темы обусловлена необходимостью трансформации традиционных нефтеперерабатывающих производств в условиях глобального энергоперехода. Водород является неотъемлемым компонентом ключевых технологических процессов нефтепереработки - гидрокрекинга, каталитического риформинга и гидроочистки, определяющих качество и выход светлых нефтепродуктов. Перспективы развития связаны с ростом спроса, развитием технологий улавливания и использования углекислого газа, а также с применением его для производства других видов топлива [1].

**Целью работы** является анализ современных технологий производства "голубого" водорода и оценка перспектив его применения в процессах нефтепереработки для снижения углеродного следа и повышения экологической эффективности.

Водород является незаменимым компонентом в современных процессах нефтепереработки, определяя как качество выпускаемой продукции, так и эффективность производства. «Голубой» водород — это водород, полученный из природного газа методом парового риформинга с улавливанием и хранением углерода. Перспективы его использования в нефтепереработке связаны с сокращением выбросов CO<sub>2</sub> и декарбонизацией производственных процессов, хотя интеграция требует инвестиций в новые технологии, такие как CCS (технология улавливания и хранения углерода).

Водород давно используется в нефтеперерабатывающей промышленности, главным образом для удаления примесей и повышения выхода высококачественных нефтепродуктов. Процесс удаления примесей из сырой нефти включает в себя расщепление крупных углеводородов на более мелкие, что требует использования водорода. Это достигается с помощью процесса, называемого гидрированием, который используется для преобразования тяжёлых фракций сырой нефти в более лёгкие и ценные продукты, такие как бензин, дизельное топливо и авиакеросин. Использование водорода в процессе нефтепереработки даёт ряд преимуществ, включая повышение эффективности, улучшение качества продукции и снижение выбросов [2].

Одним из основных применений водорода в нефтеперерабатывающей промышленности является гидрокрекинг. Этот процесс предполагает

использование водорода под высоким давлением и температурой для разложения тяжёлой сырой нефти на более лёгкие углеводороды. Гидрокрекинг особенно эффективен для переработки малоценного сырья, такого как тяжёлая сырая нефть и нефтяные остатки, в высококачественные продукты. Используя водород в процессе гидрокрекинга, нефтеперерабатывающие заводы могут сократить энергозатраты, снизить производственные затраты и увеличить выход высококачественных продуктов.

Другим важным применением водорода в нефтеперерабатывающей промышленности является каталитический риформинг. Этот процесс включает использование катализатора и водорода для превращения низкооктановой нефти в высокооктановый бензин. Этот процесс увеличивает выход высокооктанового бензина, снижает содержание серы в топливе и улучшает общее качество бензина. Использование водорода в каталитическом риформинге даёт ряд преимуществ, включая повышение эффективности, снижение выбросов и улучшение качества продукции.

Помимо гидрокрекинга и каталитического риформинга, водород также используется в других процессах нефтепереработки, таких как гидроочистка, десульфурация и гидродесульфурация. Гидроочистка предполагает использование водорода и катализатора для удаления примесей из сырой нефти, а десульфурация и гидродесульфурация используются для удаления серы из таких видов топлива, как дизельное топливо и бензин. Использование водорода в этих процессах способствует снижению содержания серы в топливе, что улучшает его экологические характеристики и снижает выбросы.

Водород также рассматривается как потенциальная альтернатива традиционным процессам нефтепереработки. В частности, водородные топливные элементы изучаются как способ энергоснабжения процессов нефтепереработки и снижения выбросов. Топливные элементы вырабатывают электроэнергию посредством реакции водорода и кислорода, производя в качестве побочных продуктов только воду и тепло. Используя водородные топливные элементы для энергоснабжения процессов нефтепереработки, нефтеперерабатывающие заводы могут сократить выбросы и улучшить свои экологические показатели.

**Заключение.** Проведенное исследование подтверждает, что "голубой" водород представляет собой стратегически важное направление модернизации нефтеперерабатывающей промышленности. Технологии гидрокрекинга, каталитического риформинга и гидроочистки, являющиеся основными потребителями водорода на НПЗ, могут быть успешно адаптированы для использования низкоуглеродного "голубого" водорода.

### **Список литературы**

1. Солоненко Р.В. Подход по внедрению установок генерации «голубого» водорода на нефтегазовых промыслах с целью снижения выбросов

парниковых газов / Ключихина О.С., Прохорова А.А. // Экспозиция Нефть Газ. – 2024. – № 8. – С. 182–187.

2. Скирковский, С. В. Построение иерархической системы индикаторов для комплексной оценки аварийных ситуаций / С. В. Скирковский, А. Б. Невзорова // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2021. – № 3. – С. 21–27.

УДК 347.77

## **ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПРЕДИКТИВНОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ ДОБЫЧИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

**Короткевич Д.В. (студентка, гр. ТЭ-41)**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П.О. Сухого, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Нефтегазовая отрасль сталкивается с необходимостью повышения операционной эффективности, снижения затрат и соблюдения экологических стандартов в условиях роста глобального спроса на энергию и нестабильности рынка. Внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) для предиктивного обслуживания и оптимизации процессов разведки и добычи (РиД) становится критически важным для обеспечения устойчивого и конкурентоспособного развития отрасли.

**Цель работы** - анализ и обоснование применения технологий искусственного интеллекта в предиктивном обслуживании и оптимизации добычи в нефтяной отрасли, с акцентом на методы машинного обучения, нейронные сети и прогностическую аналитику.

**Анализ полученных результатов.** На сегодняшний день к наиболее перспективным направлениям применения искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли можно отнести: предиктивное обслуживание, оптимизацию бурения и интерпретацию геологических данных.

Искусственный интеллект представляет собой комплекс методов по анализу больших данных и выявлению скрытых закономерностей для прогнозирования событий и оптимизации процессов. Основной целью внедрения ИИ является ускорение обработки данных, повышение точности принятия решений и оптимизация использования ресурсов [3]. Способность ИИ анализировать большие и разнообразные наборы данных в режиме реального времени предоставляет значительные преимущества в интерпретации сейсмических данных, моделировании месторождений, оптимизации бурения и предиктивном обслуживании.

Предиктивное обслуживание на основе ИИ заключается в прогнозировании отказов оборудования до их возникновения. Применение

искусственного интеллекта в предиктивном обслуживании на нефтяных месторождениях сопряжено с рядом технических и технологических препятствий. Одним из основных является интеграция существующих систем с новыми технологиями ИИ. Многие нефтяные месторождения используют устаревшее оборудование, которое не всегда совместимо с современными системами мониторинга и анализа данных [1]. Для эффективного функционирования систем предиктивного обслуживания критически важна точность и надежность входных данных. Ошибки в данных, полученных от датчиков или в процессе их передачи, могут привести к неверным прогнозам, что, в свою очередь, может вызвать ненужные ремонты. Оптимизация процессов бурения и добычи происходит за счет применения нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения. Например, модели машинного обучения позволяют быстрее и точнее интерпретировать сейсмические данные, что ведет к улучшению геологических оценок и характеристик месторождения. Применение искусственного интеллекта привело к оптимизации процесса бурения на 18% и повышению точности прогноза запасов на 30% [2]. Нейронные сети, в свою очередь, играют ключевую роль в прогнозировании свойств месторождения, таких как пористость и проницаемость, которые необходимы для оценки ресурсов и стратегий добычи.

Цифровизация производственных процессов позволяет компаниям быстро адаптироваться к изменениям в производственной среде, прогнозировать проблемы и находить новые возможности для улучшения эффективности и качества. Современные системы автоматизации позволяют значительно улучшить контроль над производственными процессами, снижая риски человеческой ошибки и увеличивая точность операций. Использование роботизированных систем и автоматических клапанов снижает вероятность аварий и утечек, что особенно актуально для работы с опасными жидкими веществами, такими как нефть и химические продукты.

**Заключение.** Таким образом, внедрение технологий искусственного интеллекта обеспечивает устойчивое развитие нефтегазового сектора, формирует механизмы адаптации к современным вызовам, способствует достижению операционной эффективности, минимизации затрат и переходу к принципам устойчивого развития.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Рудченко Галине Анатольевне, кандидату экономических наук, доценту, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

#### **Литература.**

1. Дурымонов, Н. В. Искусственный интеллект в предиктивном обслуживании на нефтяных месторождениях: вызовы и перспективы / Н. В. Дурымонов, И. Д. Ибагуллин, К. В. Парфенов // Ашировские чтения. – 2024. – Т. 1. – С. 296–299.

2. Эффективность применения современных технологий в добыче и переработке нефти и газа / Г. К. Армянова, А. Б. Джаббаров, Г. Р. Ходжамыродова, А. М. Ходжаева // Научный журнал «Stetys Paribus». – 2024. – № 1. – С. 9–11.

3. Мустафаев, Т. Н. Искусственный интеллект в процессах разведки и добычи в нефтегазовой отрасли / Т. Н. Мустафаев // Евразийский научный журнал. – 2024. – С.43–46.

4. Невзорова А.Б. Цифровая трансформация производственных процессов нефтедобывающей отрасли / А.Б. Невзорова. – Гомель : ГГТУ им. П.О.Сухого, 2025. – 189 с.

УДК 669.018.95:621.8

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**Корнеев Г.К., (студент, гр. ТМ-41)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Использование гибридных полимеров, например, стеклопластиков на основе полипропилена для деталей машиностроения крайне актуально в контексте глобальной тенденции к облегчению конструкций. Ожидается, что стеклопластик будет играть важную роль в создании более экологически чистой и эффективной экономики, и его применение будет расти в различных секторах экономики.

**Целью работы** – разработка и испытание опытного образца детали машиностроения (например, кронштейна или корпуса) из стеклопластика на основе полипропилена. Работа включает в себя выбор марки материала, проектирование оснастки, изготовление образца и сравнительные испытания его эксплуатационных характеристик.

Основные технологические подходы для изготовления таких деталей использовались следующие:

1. В области материалов и составов исследовалось повышение адгезии на границе "матрица-наполнитель" за счет применения аппретов и модифицирующих добавок для увеличения прочности. На это направлена разработка гибридных композитов, например, с совместным использованием стекловолокна и минеральных наполнителей для оптимизации стоимости и ударной вязкости.

2. В области технологий переработки необходимо провести оптимизацию параметров литья под давлением (температура, давление, скорость впрыска) для снижения ориентации волокон и предотвращения усадочных дефектов.

3. В области проектирования и конструкции актуально применение методов топологической оптимизации для создания конструкций с минимальным весом при сохранении требуемой жесткости. Проводится разработка точных расчетных моделей, учитывающих анизотропию свойств материала и технологические особенности его переработки.

Вышеприведенные исследования позволяют получить результаты, которые выражаются в:

- росте прочности и жесткости деталей на 30-50% при сохранении или снижении массы;

- повышении технологичности производства, включая возможность интеграции нескольких функций в одну деталь и сокращение количества производственных операций;

- создании сложнонагруженных деталей с оптимальным распределением материала благодаря методам топологической оптимизации;

- снижении себестоимости за счет оптимизации циклов переработки и использования более дешевых модифицированных композитов.

**Заключение** Развитие этой технологии, направленное на улучшение адгезии матрицы к наполнителю и оптимизацию методов переработки, откроет новые возможности для замены традиционных материалов в более ответственных узлах

**Благодарность.** Выражаю признательность научному руководителю Акуловой Елене Михайловне за консультацию и помощь при проведении исследования.

#### **Список литературы**

1. Песецкий, С.С., Мышкин Н.К. Полимерные композиты многофункционального назначения: перспективы разработок и применения в Беларуси (обзор) // Полимерные материалы и технологии. Т. 2, 2016, № 4. С. 6–29. doi: 10.32864/polymmattech-2016-2-4-6-29.

2. Кривогуз, Ю. М. Влияние функционализированных полиолефинов на структуру и свойства смесевых материалов на основе алифатических полиамидов / Ю. М. Кривогуз, О. А. Макаренко, С. С. Песецкий // Реактив–2018 : тез. докл. XXXI междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2–4 октября 2018 г. / Ин-т химии новых материалов НАН Беларуси ; редкол.: В. Е. Агабеков [и др.]. – Минск, 2018. – С. 61.

3. Корнеевец, Г. К. Перспективность применения стеклопластиков на основе полипропилена для деталей машиностроения / Г. К. Корнеевец, Д. А. Вайнер, Ф. А. Карчевский ; науч. рук. : Ю. М. Кривогуз, И. В. Царенко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 24–25 апр. 2025 г. : в 2 ч. / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Ч. 1. – С. 111–113.

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ОБЪЕМНОГО КПД В АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ НАСОСАХ

**Кривенков В. В. (студент, гр. ГА-41)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Аксиально-поршневые гидромашины широко применяются в технологических и мобильных машинах и эффективность их эксплуатации в составе гидросистемы напрямую связана с коэффициентом полезного действия самой машины. Низкий КПД означает прямые потери энергии - утечки через зазоры преобразуются в тепло, вызывая перегрев системы и снижение вязкости жидкости, что ещё больше увеличивает утечки.

**Цель работы** – определить методы повышения объемного КПД, которые возможно реализовать на этапе проектирования объемного аксиально-поршневого насоса.

**Анализ полученных результатов:** Эксплуатация аксиально-поршневых гидромашин предполагает использование жидкостей с различными смазывающими свойствами. При этом существует обратная зависимость между вязкостью жидкости и величиной утечек: чем вязкость ниже, тем утечки в парах трения больше [1-3].

Уменьшение объемного КПД насоса обусловлено сжимаемостью рабочей жидкости и её утечками через зазоры. Анализ утечек в аксиально-поршневых машинах предполагает три основных канала потерь: радиальный зазор между плунжерами и расточками блока цилиндров; торцевой зазор в паре распределитель-блок цилиндров; зазоры в гидростатических опорах шайбы (для машин с наклонным диском). Эти зазоры формируют основные пути перетекания рабочей жидкости из зоны высокого давления в зону низкого давления, что непосредственно определяет величину объемного КПД насоса.

При определении утечек предполагается, что наиболее значимые утечки происходят в радиальном зазоре между плунжерами и блоком цилиндров, в зазоре между торцевым распределителем и блоком цилиндров, а для машин с наклонным диском ещё и в зазорах между гидростатическими опорами и наклонной шайбой.

Наиболее значимые потери до 70-80% возникают в торцевом зазоре между блоком цилиндров и распределительным устройством (рисунок 1). Для их снижения применяется комплексный подход. Во-первых, оптимизируется шлицевое соединение вала - увеличение длины шлица снижает угол крена блока цилиндров под нагрузкой, что предотвращает неравномерное увеличение зазора. Во-вторых, используются гидростатические опоры, которые создают поджимающее усилие,

пропорциональное рабочему давлению, тем самым компенсируя износ и поддерживая оптимальную толщину масляной пленки.



Рисунок 1 – Расход утечки в зазоре между торцевым распределителем и блоком цилиндров

Основной фактор – зависимость вязкости жидкости от температуры: при нагреве от 40 до 80 °С вязкость минерального масла может снизиться на 60–80 %, что согласно законам гидродинамики ламинарного течения в щелях приводит к пропорциональному росту утечек через все зазоры.

Для компенсации этих эффектов применяют комплекс мер: поддержание температуры в оптимальном диапазоне 45–55 °С, использование масел с высоким индексом вязкости, применение материалов с согласованными коэффициентами теплового расширения и специальные конструктивные решения с термокомпенсацией. Практика показывает, что поддержание оптимального теплового режима позволяет сохранить объемный КПД на уровне 95–97 %, в то время как перегрев до 70–80 °С может снизить этот показатель до 85–90 %.

**Заключение.** Основной способ увеличения объемного КПД аксиально-поршневых гидромашин на этапе проектирования – это уменьшение зазоров по условиям сохранения жидкостного трения и поддержания оптимальной вязкости жидкости рабочей жидкости.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Андрееву Ю. А., старшему преподавателю кафедры «Нефтегазоразработка и гидропневмоавтоматика» за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

#### Список литературы:

1. Кривенков, В. В. Энергетические потери в объемной гидромашине / В. В. Кривенков, Ю. А. Андреев // Образование и наука в развитии технологий, экономики, общества : Материалы докладов 58-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной 60-летию УО "ВГТУ". В 2-х томах, Витебск, 16–17 апреля 2025 года. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2025. – С. 426–428.

2. Шашков, В. С. Оптимизация величины зазора в паре трения "блок цилиндров-плунжер" / В. С. Шашков, Ю. А. Андреев // Материалы докладов 57-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов : в 2 т. / Витебский государственный технологический университет. – Витебск, 2024. – Т. 2. – С. 403–405.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОГРУЖНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ВЫСОКОДЕБИТНЫХ СКВАЖИН**

**Кривенчук Н.С., (студент, гр. НР-51)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Высокодебитные скважины требуют применения мощных электроцентробежных насосов, что приводит к значительному потреблению электроэнергии. Неэффективная работа насосов, вызванная несоответствием их характеристик параметрам пласта, приводит к потерям энергии, снижению ресурса оборудования и росту затрат. Повышение энергоэффективности возможно за счёт внедрения частотно-регулируемых приводов, интеллектуальных систем управления и мониторинга, что позволяет поддерживать оптимальные режимы работы и сокращать энергопотребление.

В условиях цифровизации нефтегазовой отрасли и реализации концепции «Умного месторождения» особое значение приобретает оптимизация энергопотребления как элемент повышения эффективности производства и снижения воздействия на окружающую среду. Сокращение использования электроэнергии не только уменьшает себестоимость добычи, но и способствует снижению выбросов парниковых газов. Для зрелых месторождений повышение энергоэффективности позволяет продлить срок их экономически целесообразной эксплуатации, а для новых – обеспечить надёжную и экономичную работу оборудования.

Таким образом, повышение эффективности использования электроэнергии погружным оборудованием высокодебитных скважин является актуальной задачей, направленной на снижение энергопотребления, повышение надёжности насосных установок и устойчивое развитие нефтегазовой отрасли.

**Цель работы** – повышение эффективности использования электроэнергии погружным оборудованием высокодебитных скважин за счёт оптимизации режимов его работы и внедрения энергосберегающих технологий.

**Анализ полученных результатов.** В результате проведённого исследования была проведена оценка энергоэффективности работы погружных электроцентробежных насосов (ЭЦН) на высокодебитных скважинах до и после внедрения предложенных мероприятий. Анализ показал, что оптимизация режимов работы насосного оборудования и применение частотно-регулируемых приводов позволили снизить удельное

потребление электроэнергии в среднем на 10–20% при сохранении или увеличении дебита скважин.

Благодаря согласованию рабочих характеристик насоса с фактическими параметрами пласта удалось уменьшить отклонения от оптимальной точки КПД, что повысило общую эффективность системы электроснабжения и снизило механические нагрузки на оборудование. Это, в свою очередь, привело к увеличению межремонтного периода эксплуатации ЭЦН и сокращению простоев, связанных с отказами.

Результаты также показали экономическую эффективность внедрённых решений: снижение энергопотребления обеспечило уменьшение эксплуатационных затрат и окупаемость модернизации оборудования в течение 1-2 лет. Кроме того, за счёт снижения потребления электроэнергии наблюдается положительный экологический эффект - уменьшение углеродного следа добычи.

Таким образом, проведённый анализ подтвердил, что реализация предложенных технических и организационных мер обеспечивает значительное повышение энергоэффективности эксплуатации погружного оборудования, улучшает надёжность работы скважин и способствует устойчивому развитию предприятия.

**Заключение.** Повышение эффективности использования электроэнергии погружным оборудованием высокодебитных скважин обеспечивает снижение энергозатрат, повышение надёжности работы оборудования и экономическую устойчивость нефтедобычи.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Невзоровой Алле Брониславовне, д.т.н., профессор, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

#### **Список литературы**

1. Ахметов, Р. Ш. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин. - М.: Недра, 2020. -456 с.
2. Литвинов, А. А. Повышение эффективности работы погружного оборудования в скважинах с высоким дебитом. // Нефтяное хозяйство. 2022. № 6. С. 45-50.
3. Фролов, В. В. Цифровой анализ работы механизированного фонда скважин / В. В. Фролов, А. Б. Невзорова // Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Часть 2. – С. 167–170.
4. Фролов, В. В. Оптимизация режима работы глубинно-насосного оборудования на основе цифровых моделей / В. В. Фролов, А. В. Серебренников, А. Б. Невзорова // Нефтегазовый инжиниринг. – 2024. – № 1. – С. 33–40.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ДИСТИЛЛЯТОВ

**Криворучко А.В (студент, гр.ТЭ-22)**

*Гомельский государственный университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность:** В целях экономии топливно-энергетических ресурсов и снижении затрат на высокотемпературный разогрев резервного мазута было предложено применять более легкие виды жидких топлив, в том числе печное бытовое топливо на основе дизельных дистиллятов вторичной перегонки.

**Цель работы** – экспериментально исследовать свойства печного бытового топлива на основе дизельных дистиллятов вторичной перегонки в различной концентрации.

В данной работе исследуются основные физико-химические свойства энергетического топлива на основе дизельных дистиллятов в концентрации от 10 до 50 % для выявления улучшения характеристик печного бытового топлива [1].

Температуры вспышки и воспламенения определялись в открытом тигле. Сущность методики заключается в определении температуры, при которой пары нефтепродукта, нагреваемого в установленных настоящим стандартом условиях, образуют с окружающим воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени. Определение вязкости осуществлялось с помощью капиллярного вискозиметра. Принцип действия заключается в вычислении количества жидкого анализируемого вещества, проходящего за промежуток времени по трубкам с заданными сечением и длиной под воздействием меняющегося давления. Плотность полученных растворов определялась с помощью нефтенсиметров [2, 3].

Таблица 1 – Характеристики полученного топлива

Количество добавленного дистиллята, мл	Температура вспышки, °С	Температура воспламенения, °С	Вязкость, м <sup>2</sup> /с	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Без добавления	116,08	133,2	9,6	852
10	106,6	121,4	9,3	844,27
20	104,7	115,3	8,76	834,6
30	102,8	110,9	8,22	525,9
40	95,05	101,6	7,59	821,7
50	87,3	92,3	5,97	817,2

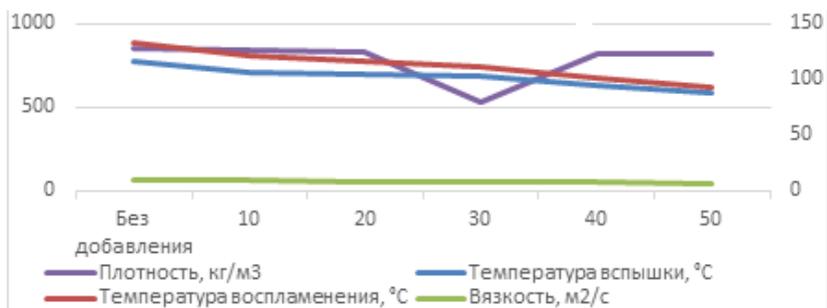


Рисунок 1 – Изменение свойств печного бытового топлива от концентрации дизельного дистиллята вторичной перегонки

**Заключение.** Были получены эмульсии на основе дизельных дистиллятов вторичной перегонки содержащий от 10 до 50% дистиллята. При добавлении 50 мл температура вспышки понизится до 87,3 °C. По результатам измерения вязкости наблюдается снижение характеристики. Для ПБТ она составила 9,6 м²/с, при последующем добавлении дизельного дистиллята значение вязкости снижается и при концентрации 50 мл составляет 5,97 м²/с. Плотность ПБТ составила 852 кг/м³, а при добавлении 10 мл уже равна 844,27 кг/м³ и при увеличении концентрации продолжает снижаться.

#### Список литературы:

1. Макеева, Е. Н. Свойства эмульсий печного бытового топлива / Е. Н. Макеева А.А.Ковальчук // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого: научно-практический журнал. – 2024. – № 3. – С. 53–58.
2. Ковальчук, А. А. Влияние вторичной перегонки на свойства печного бытового топлива и его смеси с этанолом / А. А. Ковальчук, Е. Н. Макеева // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 апр. 2023 г. В 2 ч. Ч. 1 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 255–258.
3. Ковальчук, А. А. Улучшение характеристик печного бытового топлива добавления дизельных дистиллятов вторичной перегонки / А.А. Ковальчук, Е.Н. Макеева // Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения – 2024 «Энергетика и цифровая трансформация»: электронный сборник статей по материалам конференции: [в 4 томах] / под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2024. – Т. 2. – С. 213–216.

## СБОРОЧНЫЕ РОБОТЫ

**Крючков В.А.**, (студент, гр. РТ-41)

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Сборочные роботы позволяют выполнять высокоточные и трудоёмкие операции в условиях, где от человека требуется значительная концентрация и исключительная повторяемость действий. Увеличивающиеся требования к качеству продукции, скорости производства и гибкости технологических процессов обуславливают необходимость совершенствования роботизированных систем сборки. Новизна исследования заключается в анализе конструктивных и функциональных особенностей современных сборочных роботов и формировании рекомендаций по повышению их точности, адаптивности и эффективности в составе автоматизированных производственных комплексов.

**Цель работы** – исследование конструкций современных сборочных роботов, определение принципов взаимодействия их механических, сенсорных и управляющих подсистем, а также выявление направлений повышения точности, скорости и адаптивности сборочных операций. Внимание уделяется манипуляционным механизмам, системам машинного зрения и интеллектуальным алгоритмам управления, обеспечивающим высокую повторяемость и качество сборки.

**Анализ полученных результатов.** Объект исследования – роботизированная манипуляционная система, включающая механическую руку, интеллектуальную систему управления и встроенный носитель информации, обеспечивающий хранение программ и параметров работы. Такая конструкция представляет собой пример универсального роботизированного комплекса, предназначенного для выполнения высокоточных сборочных и манипуляционных операций в автоматизированных производственных процессах. Интеграция сенсорных модулей, приводных звеньев и адаптивных алгоритмов управления позволяет системе достигать высокой точности позиционирования, устойчивости работы и гибкости при взаимодействии с объектами различной формы и чувствительности.

Манипуляционная система представляет собой роботизированную руку последовательной кинематики с несколькими вращательными суставами, оснащёнными сервоприводами и датчиками положения. Такая конструкция обеспечивает широкий диапазон движения и точность позиционирования при выполнении сборочных операций. Использование датчиков усилия и момента позволяет роботу адаптировать взаимодействие с объектами и корректировать траекторию в режиме реального времени.

Инструментальная головка поддерживает смену рабочих модулей, что расширяет функциональность системы. Интеллектуальный блок управления обеспечивает согласованную работу приводов и стабильность операций при переменных нагрузках, повышая точность и надёжность манипулятора.

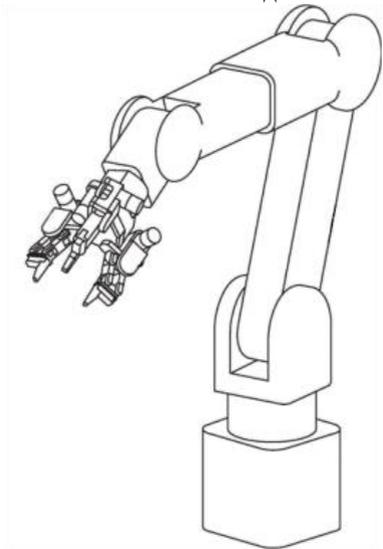


Рисунок 1 – Пример сборочного робота

**Заключение.** Анализ показал, что применение многофункциональных роботизированных манипуляторов существенно повышает точность, надёжность и адаптивность автоматизированных технологических операций. Полученные результаты подтверждают перспективность дальнейшего развития конструкций с сенсорной обратной связью, интеллектуальными алгоритмами управления и модульными рабочими инструментами, что расширяет функциональные возможности робототехнических систем и повышает их эффективность в промышленных условиях.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю профессору Михайлову М.И., за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

**Список литературы:**

1. CN108942917В-Рука робота, роботизированное устройство, способ управления рукой робота и носитель информации  
<https://patents.google.com/patent/CN108942917В/>

## ОЦЕНКА РЕШЕНИЙ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАЦИЙ, ПРЕИМУЩЕСТВ И ФАКТОРОВ МНОГОСТАДИЙНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА

**Крючков В.А. (студент гр.НР-31)**

*Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Многостадийный гидравлический разрыв пласта является одной из наиболее эффективных современных технологий, позволяющих существенно увеличить производительность горизонтальных скважин. Его применение особенно важно при освоении трудноизвлекаемых запасов, где стандартные методы не обеспечивают достаточного притока нефти.

**Цель работы** – изучение технологии проведения многостадийного гидравлического разрыва пласта и оценке её эффективности для увеличения добычи трудноизвлекаемых запасов нефти, включая оценку решений, последовательности операций, преимуществ и факторов.

Многостадийный гидравлический разрыв пласта является одним из самых новых и передовых технологий в нефтяной промышленности, который в большей степени эффективен для горизонтальных скважин. Отличие этой технологии от простого гидравлического разрыва пласта заключается в том, что поочередно проводят несколько гидроразрывов.

При использовании технологии в горизонтальную часть скважины опускается хвостовик с циркуляционными муфтами и системой заколонных пакеров для изоляции интервалов. В момент спуска хвостовик, оборудованный муфтами с открывающимися окнами, герметичен и не допускает сообщения внутрискважинного пространства с заколонным. В ходе операции в поток жидкости ГРП направляются шары калиброванного размера по принципу матрешки, начиная с шара самого малого диаметра, которые, «сядая» в седла, расположенные в муфтах, открывают их, обеспечивая сообщение с пластом для дальнейшего проведения операции. Таким образом, по завершении каждой стадии гидроразрыва сброшенный в скважину шар изолирует предыдущий интервал и открывает порты в хвостовике напротив следующего интервала обработки, что позволяет сформировать запланированное число трещин вдоль горизонтальной части ствола скважины.

Калиброванные шары изготавливаются с высокой точностью, чтобы их диаметр точно соответствовал внутреннему диаметру муфты. Это обеспечивает их свободное движение по хвостовику. Внутренняя поверхность хвостовика и муфт гладкая и обработана таким образом, чтобы минимизировать трение и препятствия на пути шара.

Теоретически число интервалов в горизонтальных скважинах может доходить до пятидесяти, но при разработке месторождений в Беларуси

обычно проводят от трех до пяти операций гидроразрыва, которые позволяют создать систему высокопроводящих трещин, существенно интенсифицируя дебит скважины.

Сроки выполнения работ в зависимости от дизайна ГРП могут составлять от нескольких суток до нескольких часов.

Применение постоянных систем заканчивания при МГРП уменьшает технологические риски, поскольку ограничивается число спускоподъемных операций для посадки и удаления мостовых пробок и повышается эффективность каждого ГРП за счет учета параметров отдельных зон.

При спуске в скважину инструмент находится в режиме прямой циркуляции. Это позволяет промыть скважину. Затем инструмент переводится в режим перфорации: закачивается пескосодержащая жидкость — обсадная колонна перфорируется. После перфорации инструмент переводится в режим вымыва — использованный песок удаляется из ствола.

Все операции по гидроразрыву и операции с ГТ выполняются без подъема инструмента на поверхность. Процесс подготовки скважины к следующему ГРП занимает менее одного часа. Это дает значительную экономию времени по сравнению с другими системами абразивной или обычной перфорации при проведении ГРП и последующей операции по вымыву пропанта.

Сравнительный анализ показывает, многостадийный гидроразрыв пласта значительно увеличивает площадь контакта пласта со скважиной, что приводит к повышению дебита и коэффициента извлечения нефти, обеспечивая экономически рентабельную разработку. Этот метод способствует увеличению нефтеотдачи, позволяя дренировать низкопроницаемые пропластки. Оптимизация затрат на МГРП достигается за счет рационального использования техники и постоянного контроля расходов, что дополнительно снижает себестоимость добычи.

**Заключение.** Технология многостадийного гидравлического разрыва пласта представляет собой один из наиболее прогрессивных и эффективных методов интенсификации добычи в условиях разработки трудноизвлекаемых запасов нефти. МГРП обеспечивает не только рост дебита скважин, но и улучшение экономической эффективности за счёт уменьшения количества спускоподъемных операций и возможности изоляции обводнённых зон.

**Благодарность.** *Выражаю признательность научному руководителю старшему преподавателю кафедры «НГРиГПА» Шепелевой Ирине Сергеевне за консультацию и помощь при написании данной работы.*

### **Литература**

1. Войтехин, О. Л. Технологические подходы к оптимизации темпа разработки трудноизвлекаемых запасов нефтяного месторождения / О. Л. Войтехин, А. Б. Невзорова // Вестник ГГТУ. – 2023. – №3. – С. 67-79.
2. Войтехин, О. Л. Снижение производственных рисков при многостадийном гидравлическом разрыве пласта (МГРП) [Электронный ресурс] / О. Л. Войтехин ; науч. рук. А. Б. Невзорова // МИТРО 2023 –

Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника : тезисы докл. науч.-техн. конф. студентов и молодых ученых / Гомель, 6 декабря 2023 г. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 30.

3. Невзорова А.Б. Комплексное восстановление деталей подшипниковых узлов / А.Б. Невзорова. — Ремонт, восстановление, модернизация. – 2003. – № 4. – С. 32-35.

УДК 621.78

## **ПЛАЗМЕННАЯ НАПЛАВКА КАК КЛЮЧЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

**Ксензова В.Ю., (студент, гр. ОП-41)**

*Гомельский государственный университет им П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность** темы определяется необходимостью внедрения эффективных технологий восстановления и упрочнения деталей машин, способных обеспечить устойчивое функционирование производственных систем, минимизировать простои и повысить конкурентоспособность предприятий.

**Цель работы** данной работы заключается в исследовании и обосновании применения технологии плазменной наплавки для восстановления и упрочнения деталей машин, а также в выявлении её преимуществ.

Сущность плазменной наплавки заключается в том, что дуга (ток переменный) горит между двумя неплавящимися электродами, или же (ток постоянный) — между одним из неплавящихся электродов и присадочным материалом. Высокотемпературная плазменная дуга используется для нанесения износостойких покрытий на рабочие поверхности новых деталей, например, клапанов двигателей. Возможность практического применения струи плазмы определяется ее эффективной тепловой мощностью, скоростью плазменного потока и распределением температуры в струе, которые, в свою очередь, зависят от конструкции сопла горелки, расхода газа и силы тока. Указанные параметры определяют также глубину проплавления, не превышающую 0,1—0,6 мм. Потери теплоты в ходе плазменной наплавки могут достигать 35% [1].

Наиболее оптимальное рабочее напряжение и температура плазменной струи обеспечиваются в среде аргона и других инертных газов. При наплавке методом прямой дуги по отношению к наплавляемой детали применяют сжатую дугу прямого или косвенного действия. В зону наплавки подаются различные присадочные материалы: проволока, две проволоки, порошок одновременно с проволокой, только порошок. Наплавка может производиться по слою крупнозернистого порошка, заранее насыпанного на поверхность; с по-

дачей порошка в сварочную ванну из основного металла; с подачей порошка в плазменную струю, плавлением его в этой струе и переносом на поверхность изделия.

Рассмотрим преимущества плазменной наплавки:

- Обеспечивается гладкая и ровная наплавленная поверхность, требующая минимального припуска на последующую механическую обработку (0,4-0,9 мм).

- Небольшая глубина проплавления (0,3-2,5 мм) и узкая зона термического влияния (3-6 мм) гарантируют, что доля основного металла в покрытии не более 5%.

- Малое тепловое воздействие на деталь позволяет сократить деформации и структурные изменения основного материала.

- Возможно формирование слоя толщиной от 0,2 до 6,5 мм и шириной от 1,2 до 45 мм [2].

Рассмотрим принципиальную схему установки для плазменной наплавки на рисунке 1.1.

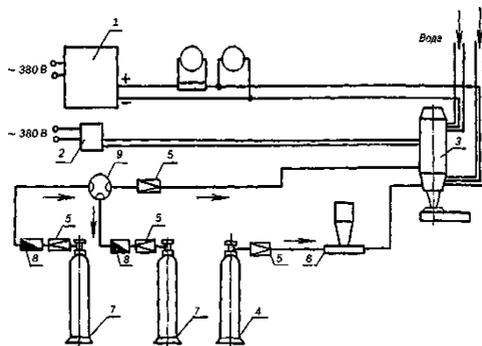


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки для плазменной наплавки:

1 – основной источник тока; 2 – источник тока для возбуждения дуги;

3 – плазменная горелка; 4 – баллон с газом для транспортировки наплавочного порошка; 5 – газовый редуктор; 6 – дозатор;

7 – баллон с плазмообразующим газом; 8 – ротаметр; 9 – смеситель

### Заключение

Таким образом, плазменная наплавка занимает одно из ведущих мест среди современных технологий восстановления и упрочнения деталей машин. Благодаря высокой эффективности, широкому выбору применяемых порошковых материалов и высокой точности процесса данная технология позволяет надежно восстанавливать и повышать износостойкость самых разных деталей. Её применение в машиностроении особенно перспективно, так как оно способствует решению проблемы нехватки запасных частей, снижает затраты на ремонт и увеличивает срок службы оборудования за счёт

придания рабочим поверхностям свойств коррозионной стойкости, жаропрочности и устойчивости к износу.

#### **Список литературы**

1. Пантелеенко, Ф. И. Формирование многофункциональных плазменных покрытий на основе керамических материалов / Ф. И. Пантелеенко, В. А. Оковитый. – Минск : БНТУ, 2019. – 231 с.
2. Буйкус К. В, Упрочнение и восстановление поверхности деталей. Лабораторный практикум: учебное пособие/ К. В. Буйкус [и др]. – Минск : БНТУ, 2010. – 344 с.
3. Невзоров, М. В. Возможности использования сигнатур процесса лазерной наплавки для мониторинга характеристик функциональных покрытий / М. В. Невзоров ; науч. рук. Г. В. Петришин // II Международный молодёжный научно-культурный форум студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых : сборник материалов, Гомель, 22-24 января 2025 г. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 182.

УДК 621.865.8

### **КЛЕЩЕВОЙ ЗАХВАТ КОВОЧНОГО МАНИПУЛЯТОРА**

**Кудрицкий П.А, (студент, гр. РТ-41)**

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность** Современные кузнечно-прессовые производства требуют надёжных манипуляторов, способных фиксировать массивные поковки при высоких температурах и нагрузках, но увеличение массы захватов снижает их маневренность и повышает затраты. Классические клещевые захваты нуждаются в больших усилиях зажима, что ведёт к усложнению и утяжелению конструкции.

**Цель работы** – Целью работы является изучение конструкции клещевого захвата ковочного манипулятора, рассмотрение особенностей его механизма и анализ того, каким образом предложенные в патенте технические решения позволяют снизить габариты и металлоёмкость устройства без потери надёжности его работы. Особое внимание уделяется рассмотрению роли подпружиненных коромысел и зубчатого зацепления, обеспечивающих адаптивность и фиксацию зажимных башмаков при минимально необходимом усилии со стороны силового цилиндра.

**Анализ полученных результатов.** Изучение конструкции показывает, что авторы патента предложили эффективное решение проблемы чрезмерных усилий зажима. Использование подпружиненных коромысел позволяет башмакам самоориентироваться относительно формы заготовки. Это снижает

неравномерность контакта и уменьшает требуемое давление в гидроцилиндре на начальном этапе зажима.

Ключевым элементом является введение зубчатых поверхностей между зажимными башмаками и плечами рычагов. После того как башмаки адаптировались к поверхности заготовки, дальнейшее увеличение давления приводит к входу зубьев в зацепление. В результате нагрузка перераспределяется: удержание обеспечивается не трением, а механическим зацеплением. Благодаря этому исчезает необходимость существенно увеличивать усилие цилиндра, как это требовалось в традиционных конструкциях.

Такой подход обеспечивает более стабильный захват и предотвращает проворот заготовки при последующих операциях. В итоге ручки цилиндра, рычаги и корпус захвата могут быть выполнены меньших размеров, что приводит к снижению массы и металлоёмкости устройства.

Таким образом, проведённый анализ подтверждает, что использование пружинных коромысел и зубчатого профиля является технически оправданным и позволяет повысить эффективность манипулятора без усложнения конструкции.

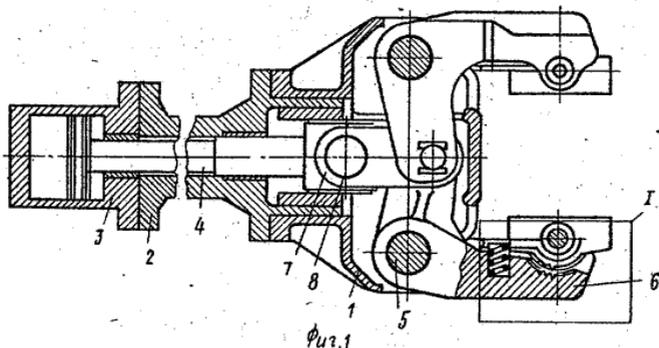


Рисунок 1 – Клепшевой захват ковочного манипулятора

**Заключение.** Клепшевой захват ковочного манипулятора представляет собой эффективное инженерное решение, обеспечивающее надёжное удержание заготовок при снижении габаритов и металлоёмкости конструкции. Подпружиненные коромысла позволяют адаптивно обхватывать поковку, а зубчатое зацепление фиксирует её без необходимости повышенного усилия зажима. Такая конструкция повышает производительность, снижает эксплуатационные затраты и имеет

значительную практическую ценность для металлургических и машиностроительных предприятий.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю профессору Михайлову М.И., за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

**Список литературы:**

1. SU1034826A – Конструкция схвата робота
2. Калушев К. А., Воронова Л. И. Разработка математической модели управления роботом SCARA на базе шаговых двигателей //Робототехника и техническая кибернетика. – 2025. – Т. 13. – №. 2. – С. 104-114.

УДК 621(075)

## **ВЛИЯНИЕ ВИДА БЕСКОНТАКТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ НА КПД ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ**

**Кузменков С.С. (студент, гр. ГА-31)**

*Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Уплотнения центробежных насосов – основной фактор, определяющий объёмный коэффициент полезного действия. Выбор типа уплотнения проточной полости насоса влияет не только на характеристики и эффективность, но и на работоспособность насоса.

**Цель работы** – определение влияния геометрии бесконтактных уплотнений на КПД центробежных насосов.

**Анализ полученных результатов.** Объемные потери (утечки) возникают из-за наличия радиальных и осевых зазоров между рабочим колесом и корпусом центробежного насоса при перетекании жидкости из зоны повышенного давления в полость всасывания, а также из-за утечек среды через уплотнения. Увеличение объемного КПД центробежных насосов достигается применением уплотнений и на создании повышенного гидравлического сопротивления в направлениях возможных перетоков и утечек [1]. В центробежных насосах чаще всего применяют бесконтактные уплотнения из-за их конструктивной простоты, надежности и ремонтпригодности.

В бесконтактных уплотнениях гидравлическое сопротивление создается благодаря применению многократно чередующихся последовательно расположенных щелей и расширительных камер. В настоящее время для уплотнения зазоров используют щелевые, лабиринтные уплотнения и уплотнения с плавающими кольцами (рисунок 1).

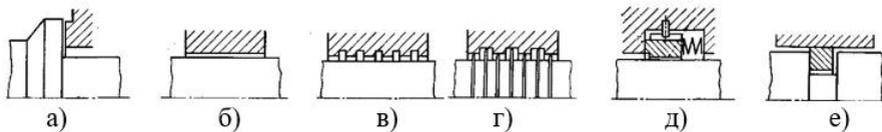


Рисунок 1 – Бесконтактные уплотнения: а) с торцевой щелью; б) с радиальной гладкой щелью; в) с кольцевыми канавками; г) лабиринтного типа; д), е) с плавающими кольцами

В щелевых и лабиринтных уплотнениях радиальный зазор строго определен, т.к. его минимальный размер должен исключать контакт вращающегося и неподвижного колец уплотнения. Величина этого зазора 0,35 - 0,45 мм с учетом влияния на вибрационное состояние ротора. Величина радиального зазора оказывает прямое влияние на утечки, возникающие при постоянном перепаде давления уплотняющей среды. Чем выше значение радиального зазора, тем больше утечки [1].

Наряду с силами гидростатического давления используются гидродинамические эффекты, создаваемые специально профилированными контактными поверхностями: клиновыми участками, ступенями, гребнями, спиральными канавками, сотами, сферическими выемками. Выходящие из профилируемых участков вихревые структуры обеспечивают повышение гидравлического сопротивления канала за счет загрязнения проточной части, что является положительным фактором для повышения эффективности уплотнения радиальных зазоров в центробежных насосах. Недостатком таких конструкций является сложность профилирования поверхностей уплотнительных колец, изготавливаемых из высокотвердых износостойких материалов.

Уплотнение с плавающим кольцом является альтернативой щелевым уплотнениям. Кольцо устанавливается в корпусе с радиальным зазором (около 1 мм) и гарантированным минимальным зазором (до 2-3 мкм) по валу и имеет торцовый контакт с корпусом уплотнения. Торцовые поверхности корпуса и втулки прецизионно притерты. В этом случае утечки через уплотнения возможно свести практически до нуля [2].

Способность плавающего кольца центрироваться относительно вращающегося вала благодаря гидродинамическим силам в кольцевой щели позволяет уменьшать радиальные зазоры и тем самым значительно снижать протечки, не опасаясь быстрого механического износа.

Уплотнения плавающего типа эффективнее щелевых лабиринтных уплотнений. В бесконтактных щелевых уплотнениях центробежных насосов, работающих на маловязких жидкостях снизить утечку можно за счёт уменьшения щелевого зазора и увеличения длины уплотнения [3].

**Заключение.** КПД центробежных насосов определяется большим числом конструктивных, технологических и режимных факторов. В современных насосах объёмный КПД находится в пределах  $\eta_0 = 0,96 - 0,98$ . В настоящее

время продолжается поиск недорогих и технологичных уплотнений, которые позволили бы увеличить ресурс центробежных насосов и обеспечить их эффективную работу.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Андрееву Юлии Ахатовне, старшему преподавателю кафедры «Нефтегазоразработка и гидропневмоавтоматика», за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

### **Список литературы**

1. Оценка технического состояния полимерной изоляции электропогружного кабеля установок электропогружных центробежных насосов в условиях нефтяных месторождений Беларуси / Ю. И. Попкова, П. А. Петрикевич, А. А. Аммон, И. Ф. Лапицкий // Нефтегазовый инжиниринг. – 2025. – № 1. – С. 85–99.

2. Фролов, В. В. Оптимизация режима работы глубинно-насосного оборудования на основе цифровых моделей / В. В. Фролов, А. В. Серебренников, А. Б. Невзорова // Нефтегазовый инжиниринг. – 2024. – № 1. – С. 33–40.

3. Сенько В.А., Путято А.В. Оценка воздействия перевозимых сыпучих грузов на кузова вагонов / А.В. Сенько, А.В. Путято. – Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – 2009. – № 30. – С. 214– 222

УДК 62-82

## **ДИАГНОСТИКА И ПРОФИЛАКТИКА ГИДРОСИСТЕМЫ ТОКАРНОГО СТАНКА С ЧПУ**

**Кульминский Ю.А. (студент, гр. ГА-51)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О.Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Токарные станки с ЧПУ очень важны для высокоточной автоматизированной обработки деталей. Гидросистема токарного станка с ЧПУ является важнейшей частью станка и играют важную роль в обеспечении движения и передачи силы с помощью гидравлического усилия.

**Цель работы** - проанализировать принципы функционирования гидравлической системы токарного станка с ЧПУ, систематизировать виды диагностик, ремонта и профилактики, проанализировать разновидности ремонта и замены компонентов гидросистемы.

**Анализ полученных результатов.** В настоящее время в станкостроительной отрасли все больше применяются токарные станки с ЧПУ с гидравлической системой. Применение токарных станков с ЧПУ

позволяет повысить качество и снизить время обрабатывания деталей, снизить трудоемкость производства и повысить конкурентно способные цену на выпускаемую продукцию.

Гидросистема токарного станка с ЧПУ применяется для зажимов деталей в шпиндельной и противошпиндельной бабке, для работы поворота шпиндельной бабке под определенным углом и для работы револьверной головки.

Регулярная диагностика и профилактика гидравлических систем обеспечивает: увеличение срока службы оборудования на 30-40%, снижение эксплуатационных расходов до 25%, повышение точности позиционирования на 15-20%, сокращение времени простоя оборудования и предотвращение аварийных ситуаций и дорогостоящих ремонтов.

Диагностика гидросистемы токарного станка с ЧПУ является комплексом исследовательских процедур, которые помогают определить состояние компонентов, оперативно найти проблемы, предотвратить серьезные поломки, минимизировать простои токарного станка с ЧПУ.

Ключевыми методами диагностики гидросистемы токарного станка с ЧПУ являются: визуальный осмотр, который предполагает проверку на наличие утечек, повреждений шлангов, соединений к гидроцилиндрам и револьверной головки; анализ уровня и качества гидравлической жидкости, при этом контролируется уровень, цвет, наличие загрязнений и металлических частиц; измерение давления- проверяется соответствие рабочего давления установленным нормам; проверка работы гидроаппаратов: выявление шумов, утечек, вибраций и неправильной работы; для выявления износа и дефектов используется диагностическое оборудование: датчики давления и маслоуказатели.

Профилактика гидросистем токарного станка с ЧПУ предотвращает поломки гидросистем и снижает стоимость на ремонт.

Профилактика гидросистемы токарного станка с ЧПУ — это комплекс мероприятий, направленных на поддержание её исправного состояния, предотвращение поломок и продление срока службы компонентов.

Профилактика гидросистем токарных станков с ЧПУ включает в себя: регулярная замена гидравлической жидкости которая предотвращает износ и коррозию компонентов; очистка и фильтрация-используются фильтра для удаления загрязнений и частиц в жидкости; проверка и замена изношенных аппаратов : гидроцилиндров, клапанов предохранительных, гидрозамков, дросселей, клапанов редуционных, рукавов высокого давления, реле давления, электродвигателей, пневмоаккумуляторов и насосов; контроль за уровнем и состоянием жидкости: своевременное добавление и замена; обслуживание гидроаппаратов: профилактическое обслуживание для предотвращения поломок; обучение персонала: правильное использование и обслуживание гидросистемы.

Ремонт и замена компонентов гидросистемы токарного станка с ЧПУ при своевременном и качественном ремонте компонентов гидравлической системы позволяет восстановить ее работоспособность и продлить срок службы.

Ремонт гидросистемы токарного станка с ЧПУ включает в себя включает в себя: ремонт гидравлических насосов: замена изношенных деталей, восстановление корпуса, балансирования вращающихся частей и испытания после ремонта; ремонт гидравлических клапанов: очистка всех деталей, восстановление рабочих поверхностей, замена уплотнений, регулировка и настройка; ремонт гидроцилиндров: разборка и промывка, исправление дефектов штока и гильзы, замена всех уплотнений, сборка и испытания.

**Заключение.** Своевременное проведение диагностики, профилактики и ремонта гидравлической системы токарного станка с ЧПУ приводит к повышению надежности оборудования, снижению затрат на ремонт, предотвращение аварийных ситуаций, обеспечить безопасность работы и увеличения срока службы.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Кульгейко Галине Степановне, старшему преподавателю, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы:**

1. Чернин, Р. И. Совершенствование технологий ремонта и изготовления соединений с натягом элементов колесных пар железнодорожного подвижного состава / Р. И. Чернин, А. В. Пулято, И. Л. Коцур // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого : научно-практический журнал. – 2024. – № 1. – С. 29–40.
2. Пулято, А. В. Модульный принцип проектирования станков и инструментов / А. В. Пулято, М. И. Михайлов // Инновационное станкостроение, технологии и инструмент : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 30 нояб. 2023 г. / М-во пром-сти Респ. Беларусь [и др.] ; под общ. ред. М. И. Михайлова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 8–12.
3. Пулято А.В. Совершенствование элементов конструкций вагонцистерны с учетом взаимодействия с перевозимым жидким грузом. – Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2010. – №1. – С. 113–122.
4. Андреевец Ю. А., Шмырев Д. О. Снижение затрат на производство и эксплуатацию гидросистемы при повышении качества очистки рабочих жидкостей // Современные проблемы машиноведения: материалы XII Междунар. науч.- техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – С. 50-52.

УДК

## ТЕХНОЛОГИЯ ЗАХВАТА БИОНИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО РОБОТА: СТРУКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Лю Яньхао (студент)

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Данная работа направлена на решение ограничений традиционного жесткого робота с точки зрения гибкости захвата, адаптивности и безопасности взаимодействия. Путем прочесывания основной литературы предложена схема конструкции модульной бионической мягкой руки с жесткостью и мягкостью, объединяющая модульный магнитный скелет, складированную гибкую кожу и четырехстороннюю симметричную систему привода с двумя веревками для достижения стабильного и ловкого захвата в сложной среде.

Введение в механическую структуру:

1. Соединение нескольких каркасов твердого тела: к материалу добавляются легирующие элементы в магнитный наплавленный материал на основе железа, улучшается магнитная проницаемость и электропроводность, адаптируется к процессу магнитоэлектроосаждения, решается проблема неравномерного осаждения покрытия [1]. Конструкция использует модульную конструкцию, которая сращивается независимыми жесткими «скелетными» блоками, магнитное соединение между блоками упрощает процесс сборки и гибко регулирует длину и форму скелета.

2. Мягкая кожа: полностью покрытый обернутый жесткий скелет, его гибкие складки и эластичные характеристики защищают внутреннюю структуру, изолируют внешние помехи, адаптируются к движению скелета, обеспечивают плавное и полное движение щупальцев.

3. Система веревки и привода: вокруг корпуса каркаса используется симметричная общая конструкция веревки, общая веревка в переднем и заднем направлениях, левом и правом направлениях, расположенная перекрестно и состыкованная с модулем привода двигателя. Вращение двигателя позволяет убирать и убирать веревку, сохраняя связь «один конец затягивается, а другой конец синхронно расслабляется», чтобы упорядочить структуру привода.

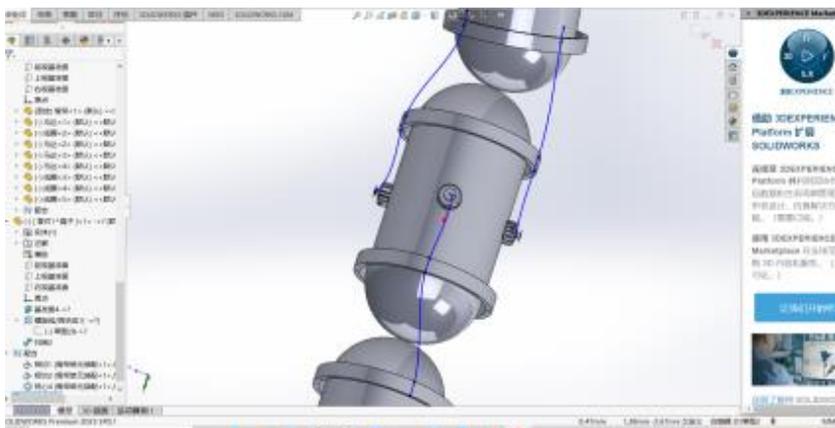


Рисунок – 3Д модель гибкого узла бионического робота

Принцип работы механизма:

1. Механизм магнитного соединения: обеспечивает жесткую поддержку для общей структуры и гарантирует стабильность, одновременно позволяя соединениям поворачиваться немного, обеспечивая основу для изгиба движения.

2. Логика привода веревки: Используя характеристику «симметричного конца общей веревки», двигатель приводит веревку, чтобы сформировать разницу в силе растяжения, чтобы щупальца согнулись в направлении затягивания, имитируя движение «распространения изгиба».

3. Стратегия совместного управления: алгоритм управления регулирует соотношение и скорость вытягивания и вытягивания двух симметричных канатов, чтобы реализовать трехмерное изгиб и крутящее действие щупальца. Конструкция привода «двойная веревка и четыре направления » упорядочивает структуру и повышает гибкость движения, что является основным инновационным моментом.

Эта статья объединяет достижения технологии захвата программного обеспечения и предлагает схему дизайна бионической мягкой руки с теоретической поддержкой. В будущем мы сосредоточимся на точности алгоритмов управления, изучим более оптимальное соответствие жестких и мягких материалов и улучшим их рабочие характеристики в сложных сценариях.

### Список литературы

1. Яцун С. Ф. Конструктивные особенности бионического робота-рыбы //Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2017. – Т. 7. – №. 2. – С. 94-102.

2. Ступин С. А., Огородникова О. М. Проект бионического захватного устройства робота для сбора урожая //Физика. Технологии. Инновации (ФТИ-2021).– Екатеринбург, 2021. – С. 333-342.

## АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ РАСТВОРЕННОГО В НЕФТИ ГАЗА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Майлат Я. А. (инженер 2 кат.<sup>1</sup>, аспирант кафедры «НГР и ГПА»<sup>2</sup>)

<sup>1</sup> БелНИПИнефть, РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»

<sup>2</sup> Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Республика Беларусь

**Актуальность.** Для месторождений летучих нефтей с высоким газосодержанием и давлением насыщения одной из ключевых проблем является снижение коэффициентов продуктивности добывающих скважин. Основными причинами данного процесса являются деформационные процессы, происходящие в породе-коллекторе и снижение относительной фазовой проницаемости при дегазировании нефти в пласте и образовании свободной газовой шапки [1].

**Цель работы:** оценка изменения коэффициента продуктивности скважин с учетом выделения газа в призабойной зоне скважин и воспроизведения динамики работы скважин на одном из месторождений Западной Сибири.

**Анализ полученных результатов.** На рассматриваемом объекте Западной Сибири при эксплуатации залежи в раннем периоде разработки наблюдается сильное снижение дебитов жидкости за 2-3 года работы скважин при нулевой обводненности и неизменной депрессии. При этом, забойное давление в периоде работы скважин сохранялось на крайне низком уровне, что может косвенно говорить о снижении продуктивности работающих скважин в результате выделения попутного газа в призабойную зону пласта. Так как пластовое давление в периоде разработки не опускалось ниже давления насыщения (рисунок 1, а), первая реализация модели была произведена в двухфазной системе. Однако, при фактической эксплуатации месторождения, за последний период работы (2023-2025 гг.) наблюдался рост газового фактора действующих скважин с 218 м<sup>3</sup>/т до 372 м<sup>3</sup>/т (рисунок 1, б). Двухфазная модель пластового флюида не позволяет учесть рост газового фактора скважин при работе залежи на упруго-водонапорном режиме, что объясняет необходимость перехода к трехфазной системе фильтрации.

Согласно экспериментам по определению формы кривых ОФП в системе «нефть-газ», проводимым на месторождениях РФ [2], при достижении значения объемного газосодержания в 10%, эффективная проницаемость нефти снижается от 2 до 4 раз, при значении 40-60% фильтрация жидкости в пласте уже прекращается. Формы кривых и значения критической нефтенасыщенности могут зависеть от композиционного состава пластового флюида, проницаемости пласта и его литологической неоднородности (наличие каверн и трещин в пласте).

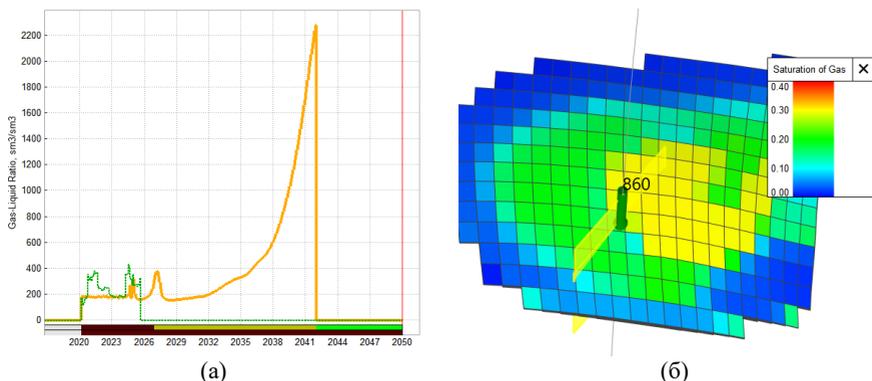


Рисунок 1 – Динамика изменения газового фактора (а) и распределение объемного газосодержания (б) в зоне отработки скважины на конец расчета базового варианта

По причине отсутствия собственных исследований в качестве исходной формы были использованы кривые ОФП месторождений-аналогов одновозрастных отложений. После проведения настройки ОФП для адаптации гидродинамической модели получилось добиться динамики роста газового фактора при прогнозном расчете модели, воспроизведения фактических забойных давлений в работающих скважинах без использования дополнительных модификаций. При переходе к трехфазной системе фильтрации также удалось решить проблему оптимистичного прогноза при неучете газовой фазы, КИН на конец базового варианта сократился с 0,267 до 0,227, что согласуется с результатами расчетов сценариев разработки аналитическими методами.

**Закключение.** По результатам настройки кривых ОФП в результате адаптации модели был сделан вывод, что в рассматриваемом объекте при объемном газосодержании в 10% эффективная проницаемость для нефти снижается в 4.6 раз, 20% - в 14.5 раз, при достижении значения в 30% фильтрация жидкости фактически прекращается.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю, д. г.-м. н., доценту Порошину Валерию Дмитриевичу за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### Список литературы:

1. Сонич, В. П. Влияние снижения пластового давления фильтрационно-емкостные свойства пород / В. П. Сонич, Н. А. Черемисин, Ю. Е. Батуриин // Нефтяное хозяйство. – 1997. – №9. – с. 52-57.
2. Саломатин, Е. Н. Определение относительных фазовых проницаемостей и кривых капиллярного давления методом центрифугирования в термобарических условиях / Е. Н. Саломатин, А. С. Филипп, О. Н. Шульга // Тюмень: сетевое научное издание «Нефтяная провинция», 2023 – № 1(33) – с. 1-15.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕФТЕПРОДУКТОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

**Малашин С.М (студент, гр. ТЭ-22)**

*Гомельский государственный университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность:** Стратегически важно диверсифицировать топливные ресурсы в Республики Беларусь, особенно в контексте энергобезопасности, экологических требований и поиска альтернатив. Исследование позволяет оценить потенциал различных видов топлива для устойчивого развития энергетики.

**Цель работы** – провести сравнительный анализ основных видов жидкого топлива, используемых в энергетике Беларуси, для оценки их эксплуатационных характеристик, экологических параметров и экономической эффективности с целью оптимизации структуры топливного баланса страны.

Проведен анализ шести видов топлива – мазута, печного бытового топлива, дизельного топлива, отработанного масла, керосина и растительных масел.

Таблица 1 – Анализ нефтепродуктов

Вид топлива	Состав (основные компоненты)	Теплота сгорания, МДж/кг	Вязкость (при 20 °С), мм <sup>2</sup> /с	Содержание серы, %	Зольность, %	Температура застывания, °С
Мазут	Высококипящие углеводороды, смолы, асфальтены	39,5-41,5	8-80 (зависит от марки)	0,5-3,5	0,1-0,3	-5 – +25
Печное бытовое топливо	Смесь средних и тяжелых углеводородов	42-43,5	2,5-8	≤0,5	≤0,05	-25 – -5
Дизельное топливо	Средние углеводороды	45	2-4,5	≤0,001	≤0,01	-35 – -20
Отработанное масло (моторное)	Углеводороды, продукты износа, присадки, сажа	38-42	30-100	0,5-1,5	0,5-2	-25 – -15
Керосин	Легкие углеводороды	43-46	1,2-4,5	≤0,1	≤0,005	-50 – -40
Растительное масло (рапсовое)	Сложные эфиры жирных кислот	37	35-70	практически 0	≤0,001	-20 – -10

Энергетическая эффективность, оцениваемая по теплоте сгорания, максимальна у керосина (43–46 МДж/кг) и дизельного топлива (~45 МДж/кг), что обусловлено преобладанием легких и средних углеводородов в их

составе. Печное топливо (42–43,5 МДж/кг) демонстрирует сопоставимые показатели, тогда как мазут (38,5–41,5 МДж/кг) и отработанное масло (38–42 МДж/кг) характеризуются более низкой энергоотдачей из-за наличия тяжелых фракций и примесей. Наименьшей теплотой сгорания обладают растительные масла (~37 МДж/кг), что связано с их кислородсодержащей структурой.

Экологические параметры топлив существенно различаются. Дизельное топливо (содержание серы  $\leq 0,001\%$ ) и растительные масла (практически 0% серы) являются наиболее чистыми с точки зрения выбросов сернистых соединений. Керосин ( $\leq 0,1\%$  серы) и печное топливо (до 0,5% серы) также отвечают строгим экологическим стандартам. В отличие от них, мазут (0,5–3,5% серы) и отработанное масло (0,5–1,5% серы) характеризуются высоким содержанием серы, что требует использования дополнительных систем очистки дымовых газов. Зольность минимальна у керосина ( $\leq 0,005\%$ ) и дизельного топлива ( $\leq 0,01\%$ ), тогда как отработанное масло (0,5–2,0% золы) и мазут (0,1–0,3% золы) склонны к образованию значительных твердых остатков, осложняющих эксплуатацию оборудования.

Эксплуатационные свойства топлив в значительной степени определяются их вязкостью и температурой застывания. Керосин (1,2–4,5 мм<sup>2</sup>/с) и дизельное топливо (2,0–4,5 мм<sup>2</sup>/с) отличаются низкой вязкостью, не требующей подогрева перед использованием, и сохраняют текучесть при экстремально низких температурах (до  $-50^{\circ}\text{C}$  и  $-35^{\circ}\text{C}$  соответственно). Печное топливо (2,5–8,0 мм<sup>2</sup>/с) также обладает благоприятными реологическими свойствами и температурой застывания до  $-25^{\circ}\text{C}$ . В отличие от них, мазут (8–80 мм<sup>2</sup>/с) и отработанное масло (30–100 мм<sup>2</sup>/с) характеризуются высокой вязкостью и имеют ограниченную морозостойкость (до  $-25^{\circ}\text{C}$  и  $-5^{\circ}\text{C}$  соответственно). Растительные масла (35–70 мм<sup>2</sup>/с) хотя и имеют приемлемую температуру застывания (до  $-20^{\circ}\text{C}$ ), но требуют модификации оборудования из-за высокой вязкости.

**Заключение.** Проведенное исследование позволило всесторонне оценить основные эксплуатационные и экологические характеристики шести видов жидкого топлива, используемых в энергетическом комплексе Беларуси. Анализ показал, что каждый вид топлива занимает определенную нишу в энергобалансе страны, определяемую его техническими параметрами и экономической целесообразностью применения.

**Благодарность.** Выражаю признательность научному руководителю Макеевой Е.Н. (к.т.н., доценту) за консультацию и помощь при анализе результатов и подготовке данной работы.

#### **Список литературы:**

1. Макеева, Е. Н. Свойства эмульсий печного бытового топлива / Е. Н. Макеева, А. А. Ковальчук // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого – 2024. – № 3. – С. 53–58.

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДИНАМИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНЫХ МАШИН

Марушкова Д.А. (студент, гр. ЗСГД\_ГМиО)

*Филиал Мурманского арктического университета, г. Апатиты, Россия*

**Актуальность.** Область динамически нагруженных деталей погрузочно-доставочных машин охватывает компоненты оборудования, которые в процессе эксплуатации испытывают переменные, ударные или быстро меняющиеся нагрузки. Это критически важные элементы, от надежности которых напрямую зависят безопасность и эффективность работы машин.

Эксплуатация погрузочно-доставочных машин происходит в исключительно тяжёлых условиях, характеризующихся воздействием интенсивных динамических и ударных нагрузок при перемещении по неровной поверхности и загрузке ковша, а также совокупным влиянием таких разрушающих факторов, как абразивный износ от контакта с горной массой, циклические усталостные напряжения, приводящие к образованию трещин, и коррозия в агрессивной шахтной среде. Погрузочно-доставочные машины являются ключевым звеном в технологической цепи подземной добычи полезных ископаемых, от бесперебойной работы которого напрямую зависит выполнение производственных планов и цикличность всего процесса.

**Цель работы** - изучение методов повышения прочности и износостойкости динамически нагруженных деталей погрузочно-доставочных машин.

### **Анализ полученных результатов**

При нанесении покрытий упрочнение деталей достигается путем осаждения на ее поверхности материалов, которые по своим свойствам отличаются от основного металла, но наиболее полно отвечают условиям эксплуатации (износ, коррозия, химическое воздействие и т.п.).

При изменении состояния поверхностного слоя происходит физико-химическое изнашивание в металле, повышающее его сопротивление разрушению. Модифицирование поверхностного слоя может осуществляться деформационным упрочнением (ППД), поверхностной термообработкой, диффузионным нанесением легирующих элементов [1].

Для изготовления деталей погрузочно-доставочных машин применяют высокопрочные легированные стали с последующей термообработкой для достижения требуемых механических свойств и поверхностной твердости.

Для повышения прочности и износостойкости динамически нагруженных деталей погрузочно-доставочных машин применяют комплексный подход, включающий выбор износостойких материалов, упрочняющую термическую, лазерную и химико-термическую обработку, а также нанесение

износостойких покрытий. Ключевыми методами являются создание защитных слоев на поверхности деталей, таких как твердые сплавы или композиты, и улучшение внутренней структуры материала путем легирования, термической обработки или термомеханической обработки.

Все известные методы упрочнения подразделяются на 6 основных классов.

1. Упрочнение с созданием пленки на поверхности: осаждение химической реакцией, осаждение из паров, электролитическое осаждение и напыление износостойких соединений

2. Упрочнение с изменением химического состава поверхностного слоя металла: диффузионное насыщение, химическое и физико-химическое воздействие.

3. Упрочнение с изменением структуры поверхностного слоя: физико-термическая обработка, электрофизическая обработка, механическая обработка, наплавка легированным элементом, лазерная наплавка.

4. Упрочнение с изменением энергетического запаса поверхностного слоя: обработка в магнитном поле, обработка в электрическом поле.

5. Упрочнение с изменением микрогеометрии поверхности и наклепом: обработка резанием, пластическое деформирование, комбинированные методы.

6. Упрочнение с изменением структуры всего объема металла: термообработка при положительных температурах, криогенная обработка [2].

#### **Заключение.**

Таким образом, для уменьшения влияния степени износа деталей узлов трения погрузочно-доставочных машин, который является стохастическим процессом, необходимо предопределять целесообразность применения одного из методов упрочнения для прогнозирования степени износа и работоспособности узлов трения в зависимости от динамических и ударных нагрузок и их вероятностного характера изменения. Также необходимо учитывать качество поверхностного слоя, который оказывает большое влияние на характеристики внешнего трения и износа, развитие усталостных явлений, коррозию, КПД машин, возникновение шумов и на другие параметры и характеристики машин. Поэтому надежность и долговечность машин и механизмов в значительной степени зависит от качества поверхностного слоя деталей.

**Благодарность.** Выражаю признательность научному руководителю Невзоровой А.Б. (д.т.н., профессор) за консультацию и помощь при анализе результатов и подготовке данной работы.

#### **Литература**

1. Невзоров, М. В. Возможности использования сигнатур процесса лазерной наплавки для мониторинга характеристик функциональных покрытий / М. В. Невзоров ; науч. рук. Г. В. Петришин // II Международный молодежный научно-культурный форум студентов, магистрантов, аспирантов

и молодых ученых : сборник материалов, Гомель, 22-24 января 2025 г. / Гомел. гос. техн. ун-т имени П. О. Сухого [Республика Беларусь], Таизский университет [Республика Йемен], Научная организация исследований и инноваций [Республика Йемен] ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 182.

2. Петришин, Г. В. Исследование микроструктуры поверхности лазерных покрытий из диффузионно-легированных порошков на основе отходов производства / Г. В. Петришин, Е. Ф. Пантелеенко, М. В. Невзоров // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2024. – № 3 (98). – С. 28–37. <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-3-28-37>

3. Невзорова, А.Б. Подшипники скольжения на основе модифицированной древесины: теория, технология и практика / А.Б.Невзорова, В.Б.Врублевский, В.О. Матусевич, В.И.Врублевская. – Гомель: БелГУТ, 2011. – 254 с.

УДК 621

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ

**Минаш К.Ю., (студент, гр. АТ-21)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Неметаллические подшипники – это огромный и очень важный класс подшипников, которые используются в тех случаях, где традиционные металлические (стальные, бронзовые) не справляются [1].

**Цель работы** – исследовать преимущества неметаллических подшипников: коррозионную стойкость, работу без смазки, низкий вес, устойчивость к агрессивным средам, демпфирование вибраций и бесшумность.

**Анализ полученных результатов.** Основные виды неметаллических подшипников, их материалы и области применения:

1. Полимерные подшипники (пластиковые).

Это самый распространенный тип. Они могут работать всухую или с минимальной смазкой. Полимерные подшипники, благодаря своей универсальности и экономичности, занимают доминирующее положение. Их способность работать всухую – ключевое преимущество. Это особенно важно в тех случаях, когда доступ к механизму затруднен или применение смазочных материалов нежелательно. Полимерные подшипники представляют собой эффективное и экономичное решение, когда требуются

низкий коэффициент трения, отсутствие смазки и устойчивость к воздействию окружающей среды.

## 2. Углерод-графитовые подшипники.

Работают всухую или в агрессивных жидкостях. Графит в их составе действует как твердая смазка. Углерод-графитовые подшипники находят широкое применение в условиях, где традиционные смазочные материалы непригодны или нежелательны. Это могут быть высокотемпературные среды, вакуум, пищевая промышленность или химически агрессивные среды. Графит химически инертен и не вступает в реакцию с большинством агрессивных веществ, что делает подшипники устойчивыми к коррозии и разрушению. Углерод-графитовые подшипники используются в насосах для перекачки химических жидкостей, в вентиляторах, работающих при высоких температурах, в погружных насосах и в оборудовании для пищевой промышленности.

## 3. Резиновые подшипники (эластомерные).

Эластомерные подшипники, являются идеальным решением для применений в водной среде, где традиционные подшипники подвержены коррозии и износу. Их способность выдерживать высокие нагрузки, поглощать вибрации и адаптироваться к деформациям делает их незаменимыми в различных гидротехнических сооружениях, судостроении и водном транспорте. Они также способны компенсировать неточности монтажа и деформации конструкции, что упрощает процесс установки и обеспечивает надежную работу оборудования.

## 4. Керамические подшипники (неметаллические).

Одним из главных преимуществ керамических подшипников является их сниженный вес по сравнению с металлическими, что особенно важно в высокоскоростных станках. Меньший вес способствует снижению энергопотребления. Кроме того, керамические подшипники отличаются увеличенным сроком службы. Их высокая твердость и устойчивость к износу обеспечивают более длительную эксплуатацию, особенно в условиях недостаточной смазки или при наличии абразивных частиц. Коррозионная стойкость позволяет использовать их в условиях воздействия влаги, кислот и других агрессивных веществ.

## 5. Деревянные подшипники

Обычно изготавливаются из твердых пород дерева (клен, бук, лигностон) или специально обработанной древесины. Особенностью деревянных подшипников является их способность работать с минимальным трением при надлежащей смазке [2]. Чрезмерное трение может привести к быстрому износу и выходу подшипника из строя, поэтому регулярное обслуживание и

замена смазки крайне важны. Одним из преимуществ деревянных подшипников является их экологичность [3].

**Заключение.** Неметаллические подшипники представляют собой альтернативу металлическим подшипникам. Их свойства, такие как коррозионная стойкость, работа без смазки и низкий вес, делают их незаменимыми. Проектирование с использованием неметаллических подшипников обеспечивают надежную и эффективную работу оборудования в самых разнообразных условиях.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю, Лапко Ольге Алексеевне, старшему преподавателю кафедры «Механика», за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

### **Список литературы**

1. Прач, С. И. Анализ методик расчета и выбора гидродинамических подшипников скольжения / С. И. Прач, О. А. Лапко // Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, ГГТУ имени П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Часть 2. – С. 225–229.

2. Невзорова А.Б. Комплексное восстановление деталей подшипниковых узлов. – Ремонт, восстановление, модернизация, 2003. – № 4. –С. 32–35.

3. Врублевский В.Б., Невзорова А.Б., Довгяло В.А. Подшипники скольжения на основе древесины: проектирование и взаимозаменяемость : учебн. пособие. – Гомель: БелГУТ, 2001. – 55 с.

4. Врублевский В.Б., Невзорова А.Б., Дашковский В.А. Применение прессованной модифицированной древесины в узлах трения сельскохозяйственной техники // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки : научно-теоретический журнал. – Новополоцк : ПГУ, 2010. - № 2. – С. 44-48.

5. Невзорова, А.Б. Подшипники скольжения на основе модифицированной древесины: теория, технология и практика / А.Б.Невзорова, В.Б.Врублевский, В.О. Матусевич, В.И.Врублевская. – Гомель: БелГУТ, 2011. – 254 с.

УДК621

## **ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ПЯТИЛЕПЕСТКОВОГО ГРЕЙФЕРА**

**В. Д. Михальчук (студент, гр. ТМ-31)**

*Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** В настоящее время на рынке грузоподъемных устройств присутствует множество фирм, предлагающих грейферы самых разных конструкций и предназначений. В статье предлагается сделать исследование параметров существующих конструкций грузозахватных приспособлений, служащие для поднятия и выгрузки металлолома, подвешенные на кранах самосвалов, грузоподъемных кранах и специализированных машинах.

**Цель работы** – определение ключевых геометрических параметров лепестков грейфера для обеспечения оптимальной конструкции.

Конструктивно грейферы такого типа могут быть двухчелюстные и многолепестковые (многочелюстные). Если задачей ставится подъем и разгрузка труб или деталей, выполненных из сортового проката, расположенных на погрузочно-разгрузочной площадке параллельно друг другу, в таком случае удобны в использовании будут грейферы двухчелюстные, которые при захвате металла не нарушают параллельность предметов. Если задачей ставится сбор металлолома, в который входят детали различной формы и габаритов, сбор его будет оптимален многолепестковыми грейферами, наибольшее распространение среди которых получили пяти- и шестилепестковые конструкции.

Также грейферы можно классифицировать по приводному механизму: канатные и приводные. В первом варианте механизм привода основан на использовании канатов в конструкции, которые соединяют лебедку и челюсти грейфера. Второй тип привода построен на использовании электро- или гидропривода в самом захватывающем устройстве, что усложняет конструкцию, но является автономной системой с большей производительностью, чем грейферы с канатным приводом.

В зависимости от особенностей груза (крупный, мелкий, сыпучий) выделяют грейферы открытого, полузакрытого и закрытого типа.

В статье приведен обзор конструкций и параметры оптимизации грейфера полузакрытого приводного пятилепесткового.

В техническую задачу проектирования грейфера входит выдерживание габаритных размеров, превышать которые недопустимо. Так согласно рис. 1 габаритный размер грейфера в раскрытом состоянии, указанный как «а», не должен превышать 2200 - 2300 мм в виду того, что транспортировка грейферов может перевозиться в кузове грузового автомобиля, ширина которого составляет 2200 - 2300 мм. Это условие отражается в поиске оптимальной формы лепестков грейфера, обеспечивающей вхождение устройства по габариту в указанные размерные пределы, при этом сохраняющей заданный объем грейфера (популярными вариантами являются грейферы рабочим объемом  $0,2 \text{ м}^3$ ,  $0,6 \text{ м}^3$  и  $0,8 \text{ м}^3$ )

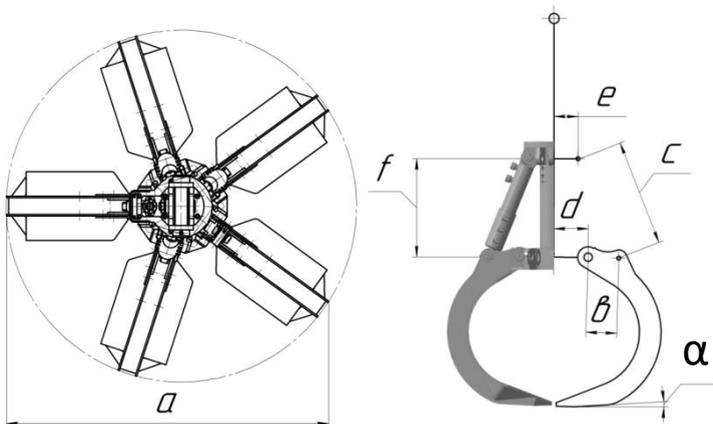


Рисунок 1 – Геометрические параметры грейфера пятилепесткового

Согласно рисунку в конструкции грейферов необходимо добиться того, чтобы угол « $\alpha$ » был близок к нулю. Этот параметр ограничивается тем, что грейфер в закрытом состоянии ставится на паллеты или на место хранения и для его устойчивого положения в закрытом состоянии должна образоваться достаточная опорная поверхность за счет сомкнутых лепестков. Допускается небольшой наклон оси грейфера, исключающий вероятность его опрокидывания. Параметры « $b$ », « $c$ », « $d$ », « $e$ » и « $f$ » задают размеры сжатого и раздвинутого гидроцилиндра, приводящего в движение лепестков. Нужно обеспечить полное смыкание лепестков грейфера, исключая зазоры.

**Заключение.** Таким образом в результате анализа конструкций и требований, предъявляемых к грейферам полузакрытого типа были определены основные геометрические характеристики конструкции лепестков грейфера, которые влияют на качество его работы.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Рюмцеву Александру Александровичу за консультацию и помощь в проведении исследований.

#### Список литературы

1. Подъемно-транспортные механизмы: курс лекций для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» днев. и заоч. форм обучения/ А.Т. Бельский, Г.П. Тариков. – Гомель: ГГТУ им.П.О.Сухого, 2014. – 72 с.
2. Петришин, Г В. Исследование микроструктуры поверхности лазерных покрытий из диффузионно-легированных порошков на основе отходов производства / Г. В. Петришин, Е. Ф. Пантелеенко, М. В. Невзоров // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.

## АНАЛИЗ РИСКОВ, СВЯЗАННЫХ С ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫМИ РЕШЕНИЯМИ

**Настюшкин П. Р., (студент, гр. НР-51)**

*Гомельский государственный технический университет им П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** События последних лет наглядно показали, насколько зависимы экономики от поставок энергоресурсов. Энергоэффективность напрямую снижает эту зависимость. Высокие и непредсказуемые цены на энергоносители (газ, нефть, электроэнергия) съедают прибыль компаний. Инвестиции в энергоэффективность становятся инструментом финансовой стабилизации и снижения операционных расходов.

**Цель работы** – комплексный анализ и систематизация рисков, возникающих на различных этапах внедрения и эксплуатации энергоэффективных решений, с последующей разработкой практических рекомендаций по их минимизации для повышения экономической и технологической эффективности таких проектов.

**Анализ полученных результатов** показывает сильную взаимосвязь между рисками разных категорий. Например, низкая квалификация персонала ведёт к неправильному монтажу, что приводит к низкой эффективности системы.

Риски можно подразделить на следующие категории:

1) Технические риски. В эту категорию входят риски, связанные с низким качеством обслуживания; преждевременный износ или выход из строя оборудования и т.п.

2) Экономические и финансовые риски. В эту категорию входят риски, связанные с превышением бюджета проекта (рост стоимости материалов, работ); недостаточное или несвоевременное финансирование и т.п.

3) Организационные и управленческие риски. К данным рискам относят : недостаток квалификации у персонала; неэффективное управление проектом(срывы сроков и т.п.).

Проанализировав полученные результаты, можно отметить следующие основные риски:

Сложность технологии, которая требует дорогого обслуживания, что приводит к увеличению срока окупаемости.

Экономический риск, суть которого кроется не в том, что технология не работает, а в том, что её реальная эффективность оказывается ниже

ожидаемой. Это требует более консервативных и детализированных расчётов на этапе планирования.

Так же, немало важным фактором так же является «человеческий фактор». Риски, связанные с квалификацией, обучением и сопротивлением персонала, встречаются значительно чаще, чем предполагалось. Успех проекта зависит не только от технологии, но и от людей, которые её внедряют и используют.

**Заключение.** Проведенный анализ демонстрирует, что риски энергоэффективных проектов носят комплексный характер. Успешная реализация таких проектов требует не только технических знаний, но и компетенций в области управления проектами, финансами, людьми и правовыми аспектами.

Таким образом, успешная реализация таких проектов требует не только технико-экономического обоснования, но и проведения комплексного риск-менеджмента. Стратегия минимизации рисков должна включать тщательный выбор проверенных технологий, использование пилотных испытаний, привлечение квалифицированных подрядчиков и разработку четких планов мониторинга и обслуживания. Только комплексный учет потенциальных угроз позволяет гарантировать окупаемость инвестиций и достижение заявленных целей по повышению энергоэффективности.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность руководителю профессору Невзоровой А. Б. за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

1. Силин, А.Н., Федотов, А.И. Методология управления рисками инвестиционных проектов в энергосбережении // Энергетическая политика. — 2018. — № 5. — С. 78-85.
2. Сидорова, О. Н. Оценка инвестиционных рисков при внедрении энергоэффективных технологий на промышленных предприятиях / О. Н. Сидорова, В. К. Иванов // Энергосбережение. — 2022. — № 4. — С. 45–52.
3. Петров, А. И. Управление рисками энергосервисных проектов: монография / А. И. Петров, Е. С. Козлова. — Москва : Энергоиздат, 2021. — 215 с. :

## ОПТИМАЛЬНЫЕ ДИАПАЗОНЫ ВАРЬИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОЙ НАПЛАВКИ И СОСТАВА ПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ

**Невзоров М.В. (аспирант)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого  
г. Гомель, Республика Беларусь*

Научный руководитель Г.В. Петришин

**Актуальность.** Среди различных видов лазерной термообработки значительный интерес представляет процесс термоупрочнения поверхности изделий, обусловленный высокой скоростью нагрева и охлаждения в короткий интервал времени локальной зоны обработки. Это позволяет избежать объемного разогрева объекта, минимизировать зону термического влияния, исключить деформации и коробление обрабатываемой детали или конструкции в целом [1]. Все это обуславливает интерес производителей и учёных в развитии данного способа.

**Цель работы** – установить оптимальные диапазоны варьирования технологических параметров процесса комбинированной наплавки и состава порошковых смесей, влияющие на прочность соединения системы «покрытие-основа» и стойкость получаемых покрытий.

**Результаты работы.** При эксплуатации бурового оборудования на нефтяных скважинах, происходит интенсивных абразивный износ, поэтому технологический процесс восстановления и упрочнения таких деталей, с использованием порошковых смесей на основе отходов металлообработки является актуальным направлением т.к. может решать задачи по восстановлению первоначальных размеров и форм изношенных деталей с последующим их вторичным использованием, а также повышению их износостойкости, ресурсосбережения и экономии денежных средств за счет совершенствования технологических режимов комбинированной наплавки.

При этом появляется возможность целенаправленного формирования микроструктуры поверхности изделий за счет ориентированной кристаллизации, формирования определенных структурных композиций, направленного армирования, локальной химико-термической обработки и, как следствие, получения нового повышенного комплекса физико-механических, химических и эксплуатационных свойств.

Для нанесения покрытия были использованы отходы металлообработки промышленных предприятий. Входящие в состав отходов металлы, такие как никель, хром, молибден, вольфрам, титан являются основными легирующими элементами в сталях и чугунах. Известно, что наиболее эффективным методом комплексного улучшения эксплуатационных характеристик

железоуглеродистых сплавов является легирование. Это происходит за счет одновременного воздействия на внутреннее строение и свойства фаз. То есть, возможно без дополнительных капитальных затрат оказывать значительное воздействие на свойства железоуглеродистых сплавов. Использование данных отходов в качестве вторичного сырья имеет важное значение для дальнейшего развития народного хозяйства Республики Беларусь.

Поэтому, наряду с решением общих проблем создания качественных защитных покрытий необходимо решать задачу оптимального выбора материала покрытия, разработки и внедрения новых не дефицитных износостойких материалов с высокими технологическими свойствами, как например, металлические порошковые смеси из отходов металлообработки промышленных предприятий.

С помощью моно- и комплексного легирования отходов стали 40X (в виде стружки, подвергнутой очистке в виде отжига и предварительному измельчению в шаровой мельнице), промышленно выпускаемого порошка ПЖРВ и отходов чугунной колотой дроби (ДЧК) получены новые порошки для создания восстановительно-упрочняющих покрытий. Для их получения использованы методики борирования, азотирования, боросилицирования и борохромирования. Также использовали порошок H70X18CP4 в виде просеянной стружки.

Для повышения точности и уменьшения объема экспериментальных исследований по установлению влияния состава порошковых смесей на основе отходов металлообработки и технологических режимов наплавки на физико-механические и триботехнические свойства покрытий. было применено математическое планирование эксперимента. Проведен дробный факторный эксперимент. В качестве факторов выбраны: температура, время, количество восстановителя и толщина слоя. Полученная математическая модель позволила установить оптимальные диапазоны варьирования технологических параметров процесса комбинированной наплавки и состава порошковых смесей, влияющие на прочность соединения системы «покрытие-основа» и стойкость получаемых покрытий

**Заключение.** Таким образом, анализ износостойких покрытий из порошков отходов металлообработки, нанесенных методом лазерной термообработки, показал достаточно высокую сплошность покрытия, однородность и хорошие механические свойства, которые должны обеспечить отличную стойкость и износостойкость деталей.

### **Литература**

1. Магнитно-абразивная обработка труднообрабатываемых материалов новыми диффузионно-легированными материалами / Ю. Ольт, В. В. Максаров, Г. В. Петришин [и др.] // СТИН. – 2023. – № 1. – С. 22-26.
2. Пантелеенко, Е. Ф. Функциональные покрытия из дисперсных металлических отходов / Е. Ф. Пантелеенко, Г. В. Петришин // Инновации в машиностроении (ИНМАШ-2015) : сборник трудов VII Международной научно-практической конференции, Кемерово, 23-25 сентября 2015 г. – Кемерово, 2015. – С. 355–360.

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ПРОЗРАЧНЫХ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ОКСИДНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПРЕКУРСОРОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Невзорова О.С., (аспирант)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Высокоэнтропийные оксидные материалы представляют собой новую группу многофункциональных керамик, способных сочетать высокую химическую стабильность, термостойкость и уникальные оптические характеристики. Разработка прозрачных высокоэнтропийных структур имеет особое значение для создания оптических элементов нового поколения.

Ключевым направлением становится применение нанокристаллических прекурсоров на основе редкоземельных элементов, позволяющих получать более однородные высокоэнтропийные матрицы, снижать пористость и повышать степень прозрачности керамики.

**Цель работы** — это анализ современных теоретических и технологических подходов для формирования прозрачных высокоэнтропийных оксидных структур с использованием нанокристаллических прекурсоров редкоземельных элементов.

Такой подход подчеркнет высокий научный и практический потенциал нанокристаллических прекурсоров редкоземельных элементов в разработке нового поколения оптических сред.

**Анализ полученных результатов.** Современные исследования по созданию прозрачных высокоэнтропийных оксидных структур показывают, что ключевым фактором является использование нанокристаллических прекурсоров. Благодаря малому размеру частиц (10–40 нм), высокой реакционной способности и стабильности химического состава они обеспечивают формирование однофазных, дефектно-упорядоченных высокоэнтропийных керамик. Такие прекурсоры открывают возможность снижения пористости, улучшения оптической однородности и достижения прозрачности даже в многокомпонентных системах.

Наиболее эффективными методами получения таких прекурсоров являются золь-гель процессы, методы горения и контролируемое осаждение, позволяющие точно соблюдать стехиометрию редкоземельных элементов для формирования высокоэнтропийной матрицы. Каждый из методов позволяет варьировать морфологию частиц, что влияет на последующее уплотнение и формирование микроструктуры [1].

Теоретические подходы, включающие DFT расчёты (моделируют

энергетически стабильные конфигурации многокомпонентных оксидов); CALPHAD моделирование (прогнозирует фазовые равновесия и области однофазности) и молекулярную динамику (описывает механизм диффузии и поведение наночастиц при термообработке), подтверждают, что многокомпонентные комбинации ионов редкоземельных элементов создают благоприятные энергетические условия для стабилизации структур — наиболее перспективных для оптических применений [2].

Достижение высокой прозрачности связано с особенностями управления рассеянием света, что требует минимизации пористости (плотность более 99 %), согласования коэффициентов преломления компонентов и предотвращения фазовой сегрегации. Эти условия обеспечиваются благодаря применению наноструктурированных порошков уже при относительно умеренных температурах спекания [3].

Современные методы уплотнения, такие как искровое плазменное спекание (SPS/FAST), горячее изостатическое прессование и вакуумное спекание, позволяют сохранять наноструктуру и предотвращать рост зёрен, что крайне важно для сохранения оптической прозрачности высокоэнтропийных керамических материалов [4].

**Заключение.** Применение нанокристаллических прекурсоров редкоземельных элементов является ключевым фактором в разработке прозрачных высокоэнтропийных керамик. Их структурные особенности позволяют реализовать высокую степень однородности и уменьшить дефектность материала, что критически важно для формирования оптически прозрачных структур.

Современное сочетание теоретического моделирования, нанотехнологий синтеза и продвинутых методов спекания формирует базу для разработки следующего поколения прозрачных многофункциональных материалов, применяемых в лазерной технике, фотонике и оптоэлектронике.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Бойко А. А., д.т.н, профессору, за консультации и помощь при проведении исследований.*

#### **Список литературы.**

1. Подденежный, Е. Н. Золь-гель синтез оптического кварцевого стекла : [монография] / Е. Н. Подденежный, А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2002. – 210 с.
2. Rost C. M. et al. Entropy-stabilized oxides: A new class of materials. Nature Communications, 2015.
3. Gild J. et al. High-entropy oxides and their optical prospects. Materials Today, 2020.
4. Chen K. Transparency mechanisms in nanostructured oxide ceramics. Journal of Advanced Ceramics, 2021.

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ КОНСТРУКЦИЙ И УСЛОВИЙ РАБОТЫ ПАР ТРЕНИЯ АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ ГИДРОМАШИН

Никитин А.В. (студент, гр. ГА-41)

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Совершенствование аксиально-поршневых гидромашин требует решения проблемы обеспечения надежной работы пар трения в любых условиях эксплуатации. Надежная работа данных гидромашин в большой степени связана с износостойкостью и трибологическими качествами материалов их пар трения. Поэтому на этапе проектирования аксиально-поршневого насоса необходимо производить анализ пар трения и возможности сохранения смазывающего слоя в них, а также обоснованный выбор материалов для сопряженных поверхностей пар трения.

**Цель работы** – изучать типовую конструкцию аксиально-поршневого насоса с наклонным диском, произвести анализ конструктивных вариантов пар трения и их условий работы, произвести выбор материалов и определить условия сохранения смазывающего слоя.

**Анализ полученных результатов.** Эффективность объемных гидроприводов напрямую связана с эксплуатационными свойствами аксиально-поршневых гидромашин. Важнейшими характеристиками являются рабочие диапазоны по давлению и частоте вращения, динамические показатели и массогабаритные параметры при обеспечении экономичности. Эти характеристики существенно зависят от состояния основных пар трения скольжения: «блок цилиндров – торцевой распределитель», «плунжеры – стенки цилиндров», «гидростатические опоры – наклонный диск» (рис.) [1].

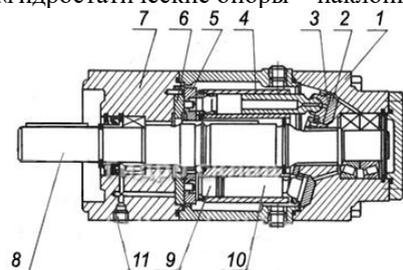


Рисунок – Аксиально - поршневая гидромашинка с наклонным диском:

- 1 – передняя крышка; 2 – наклонный диск; 3 – гидростатическая опора;
- 4 – блок цилиндров; 5 – опорная поверхность блока цилиндров; 6 – торцевой распределитель; 7 – задняя крышка; 8 – вал; 9 – рабочая камера;
- 10 – плунжер; 11 – пробка

Пара «блок цилиндров – распределитель» формирует основу торцевого распределительного узла – главного функционального элемента, от которого зависят производительность и срок службы аксиально-поршневой гидромашины. Конструкция узла включает распределительный диск, торец вращающегося блока цилиндров и разделяющую их жидкостную пленку. Идеальная работа узла основана на совмещении распределительной, опорной и уплотнительной функций при самокомпенсации износа поверхностей. В процессе работы поверхности изнашиваются неравномерно из-за прямого контакта и абразивного износа. Это приводит к нарушению геометрии поверхностей и поломке гидромашины. Повышение долговечности узла возможно при улучшении формы, размеров и расположения рабочих окон и уплотнительных поясков, а также при использовании сменных деталей.

Эффективность гидромашины также значительно зависит от пары трения «поршни – стенки цилиндров», которая влияет на объемный и механический КПД, а также на общий ресурс насоса. Поршни совершают возвратно-поступательное движение вдоль стенок цилиндров. Преобладают гидродинамический, гидростатический и смешанный режимы трения. При движении поршни прижимаются к стенкам цилиндров, что вызывает механические потери и интенсивный износ [2].

Работа пар трения определяется условиями жидкостного трения и толщиной слоя смазки. При уменьшении зазоров до микронного уровня проявляется влияние поверхностного натяжения, а жидкость в зазоре приобретает свойства твердого тела. При обработке поверхностей и уменьшении зазоров можно достичь граничного сопряжения, однако это требует трудоемких операций. Для подвижных соединений наиболее эффективным решением являются уплотняющие элементы в виде бесконтактных уплотнений щелевого или лабиринтного типа, которые позволяют увеличить зазоры в парах трения с одновременным сохранением жидкостного трения и достаточной герметичности соединения [3].

**Заключение:** оптимизация зазоров и микрорельефа контактирующих поверхностей в парах трения аксиально-поршневых гидромашин позволяет существенно повысить их долговечность и эффективность работы.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Андрееву Ю. А., старшему преподавателю кафедры «Нефтегазозаработка и гидропневмоавтоматика» за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

#### **Список литературы.**

1. Аксиально-поршневой регулируемый гидропривод / В.Н. Прокофьев [и др.]; под ред. В.Н. Прокофьева. - М.: Машиностроение, 1969. - 594 с.
2. Шашков, В. С. Оптимизация величины зазора в паре трения "блок цилиндров-плунжер" / В. С. Шашков, Ю. А. Андреев // Материалы докладов 57-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов : В двух томах, Витебск, 18–19 апреля 2024 года.

– Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2024. – С. 403–405.

3. Гурбан, О. К. Повышение качества функционирования гидроблоков управления приводов технологического оборудования при их проектировании / О. К. Гурбан, М. А. Янковец, В. В. Пинчук // Актуальные вопросы машиноведения : сборник научных статей / Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси. – Минск, 2025. – Вып. 14. – С. 136–140.

УДК 620.178.16

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДИНАМИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНЫХ МАШИН**

**Никитин М.Ю. (студент, гр. ЗСГД\_ГМиО)**

*Филиал Мурманского арктического университета, г. Апатиты, Россия*

**Актуальность:** эксплуатация горных машин происходит в экстремальных условиях, характеризующихся высокими статическими и динамическими нагрузками, запылённостью, повышенной влажностью и агрессивной средой. Узлы трения (подшипниковые узлы, зубчатые передачи, гидросистемы) являются наиболее уязвимыми элементами, отказ которых приводит к значительным простоям и экономическим потерям [1]. Эффективная работа смазочных материалов напрямую определяет ресурс оборудования, его надёжность и общую производительность технологического процесса добычи полезных ископаемых [2, 3].

**Цель работы:** изучение и анализ современных смазочных материалов для узлов трения горных машин. Сравнительная оценка их свойств и выявление наиболее эффективных типов смазок на основе эксплуатационно-технических и экономических критериев.

### **Анализ полученных результатов**

Современные смазочные материалы для тяжёлой горной техники представляют собой сложные многокомпонентные системы, предназначенные для решения специфических задач. Основные функции включают снижение трения и износа, отвод тепла, защиту от коррозии и герметизацию узлов.

Все современные смазки можно классифицировать на несколько основных групп по типу загустителя и базового масла:

1. Минеральные пластичные смазки: традиционные материалы на основе кальциевых, литиевых и натриевых загустителей. Отличаются низкой стоимостью, но имеют ограниченный температурный диапазон и склонность к окислению.

2. Синтетические пластичные смазки: производятся на основе синтетических базовых масел (сложные эфиры) и комплексных загустителей (литиевый комплекс, комплекс алюминия). Обладают широким температурным диапазоном, высокой стабильностью и увеличенным сроком службы.

3. Высокоэкстремальные смазки: включают твёрдые смазочные материалы (дисульфид молибдена, графит) и полимочевинные загустители. Предназначены для работы в условиях сверхвысоких давлений и ударных нагрузок, обладают противозадирными свойствами.

4. Биоразлагаемые и огнестойкие смазки: разработаны для использования в условиях повышенных требований к экологической и промышленной безопасности. Часто производятся на основе сложных эфиров и специальных присадок.

Особого внимания заслуживают современные многокомпонентные присадки, которые могут составлять до 30% состава смазки. К ним относятся:

- противоизносные и противозадирные присадки;
- антиокислительные присадки (амины, фенолы);
- противопенные и диспергирующие присадки;
- модификаторы трения (полимеры, сложные эфиры).

Ключевыми критериями выбора смазки являются: стойкость к вымыванию водой, механическая стабильность, противозадирные и противоизносные свойства температурный диапазон применения и стойкость к окислению.

### **Заключение**

Проведённый анализ показал, что для узлов трения горных машин, работающих в условиях интенсивных динамических и ударных нагрузок, наиболее предпочтительными являются \*синтетические и высокоэкстремальные пластичные смазки\*. Их превосходство над традиционными минеральными аналогами заключается в повышенной несущей способности, стабильности свойств в широком диапазоне температур и значительном увеличении межсервисных интервалов. Экспериментальные данные демонстрируют, что применение синтетических смазок с комплексными загустителями позволяет увеличить межсервисный интервал в подшипниковых узлах карьерных самосвалов с 250 до 500 моточасов.

Таким образом, оптимальный выбор смазочного материала должен основываться на комплексном учёте конкретных условий эксплуатации узла трения (нагрузка, скорость, температура, наличие влаги и абразива) [3]. Наибольший экономический эффект достигается не за счёт низкой первоначальной стоимости смазки, а благодаря сокращению простоев оборудования, уменьшению частоты замены и увеличенному ресурсу дорогостоящих деталей. Перспективным направлением является использование универсальных синтетических смазок, позволяющих

сократить номенклатуру применяемых материалов и упростить систему технического обслуживания парка машин.

**Благодарность.** Выражаю признательность научному руководителю Невзоровой А.Б. (д.т.н., профессор) за консультацию и помощь при анализе результатов и подготовке данной работы.

#### **Литература**

1. Соболев Д., Колесниченко Д. Смазочные материалы для современной карьерной, горной и внедорожной техники. – Территория Нефтегаз. – 2011. – № 10. – 55 с.

2. Кудина. Е. Ф., Приходько И.В. Современные смазочные материалы: Тенденции развития и перспективы рециклинга. – Горная механика и машиностроение. – 2021. – № 1. – 86 с.

3. Невзорова, А. Б. Оценка несущей способности составных деревянных шпал, уложенных в путь / А. Б. Невзорова, В. В. Романенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2024. – № 3 (98). – С. 5–12. <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-3-5-12>

УДК 622.27(07)

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ IN-SITU ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ НЕФТЕДОБЫЧЕ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

**Никитина А. Г. (студент, гр. НР-51)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Развитие нефтедобывающей отрасли в Республике Беларусь сопровождается рисками локального загрязнения геологической среды, особенно на поздних стадиях разработки месторождений. Несмотря на относительно небольшие объемы добычи, даже единичные аварийные разливы нефти могут приводить к длительному загрязнению почв и грунтовых вод. Существующие методы рекультивации, основанные на выемке и транспортировке загрязненных грунтов, часто оказываются экономически нецелесообразными и технически сложно реализуемыми в условиях белорусских месторождений. В этой связи актуальной задачей является внедрение современных in-situ технологий, позволяющих проводить очистку непосредственно в зоне загрязнения.

**Цель работы** – повышение эффективности ликвидации последствий загрязнения почв и подземных вод на территории нефтедобывающих месторождений Беларуси за счет применения in-situ методов.

**Анализ полученных результатов.** В условиях Беларуси наибольшую эффективность показывают комбинированные *in-situ* методы, адаптированные к специфике местных геологических условий:

1. Биоремедиация с питательной стимуляцией – наиболее экономически эффективное решение для белорусских месторождений. Технология основана на инъекции в зону загрязнения питательных растворов (азотных, фосфорных соединений), активизирующих деятельность аборигенных нефтеокисляющих микроорганизмов.

2. Химическое окисление *in-situ* – применяется для ликвидации локальных загрязнений с высокой концентрацией нефтепродуктов. Использование персульфата натрия и перманганата калия позволяет достичь деструкции 85-90% загрязняющих веществ в течение одного полевого сезона.

3. Насосно-очистные системы – используются для перехвата и очистки пластовых вод с последующей реинжекцией. В белорусских условиях особенно эффективны компактные мобильные установки, позволяющие работать на ограниченных площадях.

Особенностью применения *in-situ* методов в Беларуси является необходимость учета высокой обводненности территории. Это требует тщательного мониторинга миграции загрязняющих веществ и разработки барьерных систем.

*Таблица 1. Этапы работы методики *in-situ* окисления на примере толуола*

Исходное состояние	Загрязнитель: Толуол (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )
Активация реагента	Реагент: Персульфат натрия (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ) Активатор 1 (Щелочь): Гидроксид натрия (NaOH) $S_2O_8^{2-} + 2H_2O \rightarrow 2SO_4^{2-} + HO_2\cdot + 3H^+$ (медленная реакция, ускоряется в щелочной среде) Активатор 2 (Железо): Соль двухвалентного железа (Fe <sup>2+</sup> ) $S_2O_8^{2-} + Fe^{2+} \rightarrow SO_4^{\cdot-} + SO_4^{2-} + Fe^{3+}$ (Образуется радикал сульфата)
Разрушение углеводорода	Стадия 1: Инициирование (Атака на бензольное кольцо) $C_7H_8 + SO_4^{\cdot-} \rightarrow C_7H_7\cdot + HSO_4^-$ Стадия 2: Разрушение кольца (Окисление и раскрытие цикла)      Стадия 3: Раскрытие бензольного кольца (Диолиз) $C_6H_4O_2$ (Хинон) + [O] → HOOC-(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -COOH (Бутандиовая(янтарная) кислота)... → HOOC-COOH (Щавелевая кислота)
Полная минерализация	$HOOC-(CH_2)_2-COOH + 6[O] \rightarrow 4CO_2 + 3H_2O$ $HOOC-COOH + [O] \rightarrow 2CO_2 + H_2O$

Общий баланс	Углеродород + Окислитель → Углекислый газ + Вода + Минеральные соли $C_7H_8 + 18[O] \rightarrow 7CO_2 + 4H_2O$ (Где [O] — это активные формы кислорода, поставляемые персульфатом)
--------------	--

**Заключение.** Применение in-situ методов в условиях Беларуси позволяет: снизить стоимость рекультивационных работ на 40-60% по сравнению с традиционными методами борьбы с углеводородными загрязнениями; сократить сроки ликвидации загрязнений до 1-2 полевых сезонов, а также минимизировать нарушение природных ландшафтов и обеспечить непрерывный мониторинг эффективности очистки

Дальнейшее развитие технологии связано с созданием комбинированных методов, адаптированных к специфике отдельных месторождений Беларуси.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Невзоровой Алле Брониславовне, д.т.н., профессор, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

#### **Список литературы**

1. Методы экологической ремедиации нефтезагрязненных территорий / под ред. А.К. Карпюка. – Минск: Беларуская навука, 2020. – 288 с.
2. Невзорова, А. Б. Влияние изменений климата на состояние котлованов-отстойников буровых сточных вод / А. Б. Невзорова // Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : в 2 ч. Ч. 2 / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, ПАО «ОАК» ОКБ Сухого, Таизский университет (Йеменская Республика) ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 110-113.
3. Невзорова, А. Б. Разработка концепции управления рисками загрязнения окружающей среды на объектах транспортирования нефти / А. Б. Невзорова, В. В. Невзоров, Сюэ Пэн // Надежность и безопасность транспортирования, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов: эл. сб. тез. докл. XI Междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти д-ра техн. наук, проф. Владимира Константиновича Липского, Новополоцк, 27–28 нояб. 2025 г. / Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой; редкол.: Г. Г. Васильев (пред.) [и др.]. – Новополоцк, 2025. – С. 138.
4. Невзорова, А. Б. Общие подходы по управлению и планированию очистки пластовой воды / А. Б. Невзорова // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 20 марта 2025 г. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. д-ра техн. наук, профессора Е. Ф. Кудиной. – Гомель : БелГУТ, 2025. – С. 187–190.

## АНАЛИЗ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПЛАСТИНЫ ПЛАСТИНЧАТОГО НАСОСА

Новак М.Д. (студент, гр. ГА-41)

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Анализ сил, действующих на пластины позволяет определить прочность и долговечность компонентов насоса, чтобы избежать разрушения пластин от изгибающих и центробежных сил, а также определить оптимальные материалы для их изготовления. При этом решаются следующие важные вопросы проектирования пластинчатых насосов: минимизация внутренних утечек и износа деталей, обеспечение оптимального прижатия пластин к статору, что напрямую влияет на КПД и стабильность работы.

**Цель работы** – произвести анализ сил давления жидкости на пластины насоса для обеспечения надежного прижима пластин к статору с одновременным уменьшением контактных напряжений и массы пластины, увеличения прочности и уменьшения износа.

**Анализ полученных результатов.** Пластина — это подвижный плоский элемент, установленный в роторе насоса с радиальными пазами. Пластина совершает сложное движение: радиальное перемещение относительно ротора и вращение вместе с ним, находясь в постоянном контакте со статором [1].

В процессе своей работы пластина движется в пазах ротора, и осуществляет прижим к статору насоса за счет центробежных сил. Так же есть необходимость преодолевания силы трения в пазу ротора. При работе насоса возникает опасность отрыва пластин от статора в зоне всасывания, поэтому под пластиной выполняют каналы для подвода рабочей жидкости, давление которой так же влияет на поверхность пластины (рисунок 1, а-д) [2].

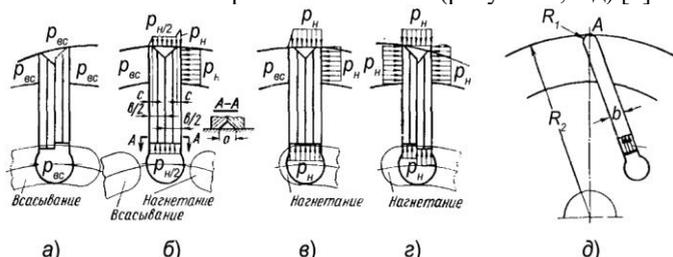


Рисунок 1 – Действие давления жидкости на пластины: а) - г) схема действия при различных положениях ротора; е) схема для определения контактных напряжений в статоре и пластине

При положении пластин против окон всасывания (рисунок 1, а) давление равно давлению всасывания и пластины уравновешены. При прохождении уплотнительной перемычки между окнами всасывания и нагнетания на правую пластину действует отжимающая от статора сила (рисунок 1, б). При дальнейшем вращении ротора на левую пластину действует прижимающая сила, а правая пластина уравновешенна от гидравлических сил (рисунок 1, в). Когда пара пластин находится напротив окна нагнетания обе пластины гидравлически уравновешены (рисунок 1, г).

Важную значение для определения сил прижима и отжима пластин имеет профиль кривой статора [3]. Профиль кривой статора выбирается так, чтобы скорость пластины относительно ротора плавно изменялась от 0 до максимального значения с последующим плавным убыванием до 0. Центростремительное ускорение при этом должно превышать относительное ускорение на величину, произведение которой на массу пластины достаточно для преодоления силы ее трения в пазу ротора.

В пластинчатых насосах в место контакта пластин со статором в точке А (рисунок 1, д) возникает значительное контактное напряжение. Для его уменьшения кромку пластины скругляют радиусом  $R_1$  до 1 мм при неизменном радиусе статора  $R_2$ . Контактные напряжения также возможно уменьшить ограничением рабочего давления.

**Заключение.** При проектировании пластинчатых гидромашин важно производить анализ сил, действующих на пластины, и выбирать конструктивные решения, которые уменьшают контактные напряжения и износ поверхностей пластин и статора, увеличивая надежность и долговечность работы насоса.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Андреевцу Ю. А., старшему преподавателю кафедры «Нефтегазозаработка и гидропневмоавтоматика» за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

#### **Список литературы:**

1. Зайченко И.З. Пластинчатые насосы и гидромоторы / И.З. Зайченко, Л.М. Мышлевский. - М.: Машиностроение, 1970. – 229 с. [
2. Василец, Н. А. Анализ способов разгрузки пластин пластинчатого насоса высокого давления [Электронный ресурс] / Н. А. Василец ; науч. рук. Ю. А. Андреевец // МИТРО 2024 – Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника : материалы докл. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 6 дек. 2024 г. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 40–41.
3. Хазеев, Е. В. Анализ имитационного моделирования гидравлических систем мобильных машин в различных программных комплексах / Е. В. Хазеев, Ю. А. Андреевец К. В. Пупенко // Машиностроение: инновационные аспекты развития : материалы междунар. науч.-практ. конф., Санкт-

УДК

## **СВОЙСТВА НИОБИЙ-КРЕМНИЕВОГО СПЛАВА И АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ГИПЕРЗВУКОВЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Носко Д.П. (студент, гр. И-11)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Развитие гиперзвуковых летательных аппаратов требует применения материалов, способных выдерживать экстремальные температуры, механические нагрузки и термошоки. Традиционные сплавы, такие как титановые и никелевые, имеют ограничения по температурной стойкости и прочности. В 2025 году китайскими учёными был разработан новый ниобий-кремниевый сплав с добавлением гафния, обладающий уникальными свойствами, значительно превосходящими существующие материалы. Его внедрение может стать ключевым шагом в создании более эффективных и экологичных гиперзвуковых систем.

**Цель работы.** Целью настоящего исследования является анализ свойств нового ниобий-кремниевого сплава, сравнение его с титаном, оценка перспектив применения в конструкциях гиперзвуковых летательных аппаратов, а также выявление экологических преимуществ, связанных с его использованием.

**Анализ полученных результатов.** Объектом исследования является ниобий-кремниевый сплав (Nb-Si), разработанный в Северо-западном политехническом университете Китая под руководством профессора Вэй Бинбо. Сплав был получен в условиях невесомости на орбитальной станции «Тяньгун», что позволило устранить хрупкость при комнатной температуре и ускорить рост кристаллов. Метод быстрого охлаждения обеспечил формирование прочной структуры.

Основные характеристики сплава:

1. Прочность на растяжение превышает 2800 МПа, что более чем в три раза выше, чем у титана (950 МПа);
2. Температурная стойкость более 1700 °С, против 600 °С у титана;
3. Высокая устойчивость к термошокам и коррозии;
4. Отсутствие редкоземельных металлов в составе экологическое преимущество;
5. Потенциал применения в двигателях, соплах, термозащитных экранах и обшивке гиперзвуковых аппаратов.

Дополнительно проведён сравнительный анализ с титаном, показавший, что новый сплав обладает более высокой прочностью, термостойкостью и долговечностью, но требует специальных условий обработки. Так же рассмотрены перспективы применения сплава в других отраслях:

Аэрокосмическая техника: спутники, орбитальные платформы;

Энергетика: элементы термоядерных реакторов;

Автомобилестроение: компоненты для двигателей внутреннего сгорания и электромобилей.

Основной недостаток сплавов Nb-Si — хрупкость при комнатной температуре. Она вызвана доминированием хрупкой интерметаллидной фазы Nb<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>. Чтобы это исправить, создают не однофазный материал, а *in-situ* композит, состоящий из двух фаз: 1. Пластичная фаза (Дуктилизер): Твердый раствор ниобия (Nbss). Эта фаза отвечает за вязкость разрушения. Она "ловит" трещины, не давая им распространяться. Прочная фаза (Упрочнитель): 2. Силицид ниобия (Nb<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>). Эта фаза отвечает за жаропрочность и сопротивление ползучести. Задача материаловедов создать тонкую, взаимопроникающую структуру ("ламинарную" или "сотовую"), где эти фазы тесно переплетены. Именно этого и добились китайские ученые в условиях невесомости, минимизировав сегрегацию.

**Заключение.** Ниобий-кремниевый сплав с добавлением кремния и гафния представляет собой перспективный материал для авиации и космонавтики. Его внедрение позволит повысить надёжность и эффективность гиперзвуковых летательных аппаратов, снизить массу конструкций и экологическую нагрузку. Дальнейшие исследования могут быть направлены на адаптацию технологии производства к земным условиям, моделирование поведения сплава в CAD/CAE-средах и оценку жизненного цикла изделий.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Захаренко Галине Николаевне, старшему преподавателю кафедры «Механика», за консультацию и помощь при проведении данного исследования. Ваши советы и поддержка были необходимы в процессе работы над этой темой.*

### **Список литературы**

1. Белов, А.Ф., Каблов, Е.Н., Вакуленко, А.А. Высокотемпературные ниобий-силицидные композиты: структура, свойства и перспективы применения в перспективной двигателестроении. Авиационные материалы и технологии. – 2023. – № S2. – С. 45-58.

2. Вэй Бинбо, Ли Чжэн, Чжан Юй. Микроструктура и свойства сверхвысокотемпературного Nb-Si-Ti-Hf сплава, полученного методом направленной кристаллизации // Journal of Materials Science & Technology. – 2024. – Vol. 45. – P. 112-125.

3. Миронов, В.Д., Гольдштейн, Р.В. Перспективы использования материалов на основе силицидов тугоплавких металлов в аэрокосмической технике // Перспективные материалы. – 2021. – № 5. – С. 23-35.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УТЕЧЕК ЖИДКОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИНЧАТОГО НАСОСА

Овсянников С. А. (студент, гр. ГА-41)

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** При проектировании пластинчатых насосов одни из важных требований является оптимизация основных геометрических размеров основных деталей гидромашин с точки зрения минимизации потерь при работе и увеличения КПД. В связи с этим необходимо производить анализ влияния утечек жидкости через зазоры насоса на величину подачи при проектировании.

**Цель работы** – провести анализ влияния объемных утечек жидкости на эксплуатационные характеристики пластинчатого насоса для разработки рекомендаций по снижению их негативного воздействия и повышению эффективности работы насосного оборудования.

**Анализ полученных результатов.** Пластинчатые насосы являются одним из наиболее распространенных типов объемных гидромашин, широко применяемых в промышленных гидроприводах, системах смазки и других областях. Основными эксплуатационными характеристиками любого насоса являются подача, объемный КПД, полный КПД, давление на входе и давление на выходе. Одним из главных факторов, негативно влияющих на эти характеристики, являются внутренние утечки рабочей жидкости из области высокого давления в область низкого давления через зазоры между деталями [1, 2].

Объемные утечки жидкости в пластинчатом насосе зависят от перепада давления между напорной и всасывающей полостями насоса, частоты вращения насоса, вязкости перекачиваемой жидкости и других факторов. По своему влиянию внутренние утечки подразделяются на два вида: утечку из полостей высокого давления в замкнутые полости с пониженным давлением; утечку из полостей высокого давления во всасывающую полость насоса.

Первый вид утечки мало отражается на подаче насоса, но влияет на мощность привода насоса. Утечки жидкости из напорной во всасывающую полость пластинчатого насоса с профилированным статором осуществляется по торцевому зазору между ротором и дисками  $q_1$ , между пластиной и крышкой  $q_2$ , между пластиной и рабочей поверхностью статора  $q_3$ , и по радиальным зазорам между пластиной и пазом ротора  $q_4$  (рисунок 1).

Наибольшая доля утечек будет из канавки под пластинами в зону всасывания через торцевой зазор между ротором и дисками  $q_1$  (примерно 50% от всех утечек). Причем, чем больше износ поверхностей зазора, тем больше утечки. Наименьшая доля во всем объеме утечек – это утечки через зазор

между пластиной и статором  $q_3$ , т.к. не зависимо от величины износа кромки пластины, прижим ее сохраняется во все время работы.

Теоретическая подача определяется геометрией насоса и частотой вращения. Фактическая подача меньше теоретической на величину суммарных утечек. Утечки напрямую снижают полезную подачу насоса и его объемный КПД. С ростом рабочего давления перепад давлений увеличивается, что приводит к экспоненциальному росту утечек и резкому падению КПД.

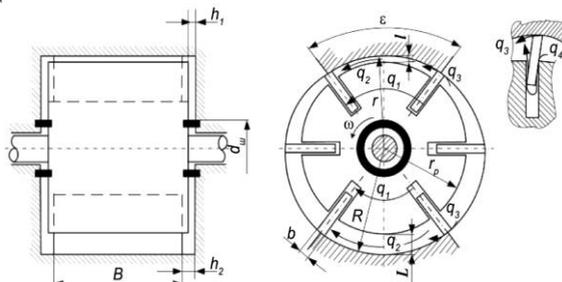


Рисунок 1. Схема для расчета утечек жидкости в насосе

Утечки, протекая через малые зазоры, создают силу вязкостного трения. Для преодоления этого трения требуется дополнительная мощность. Таким образом, утечки косвенно увеличивают механические потери, снижая механический КПД. Поскольку утечки негативно влияют на оба составляющих КПД, их рост приводит к значительному снижению общего КПД насоса и, как следствие, к перерасходу энергии и увеличению эксплуатационных затрат [3].

Для борьбы с утечками и поддержания высоких характеристик насоса применяются следующие конструктивные решения: расчет геометрии насоса с обеспечением минимальных зазоров и жидкостной смазки пар трения.

**Заключение:** Объемный КПД и подача пластинчатых гидромашин определяется утечками через зазоры. Для их минимизации необходим комплекс мер: оптимизация геометрических размеров, обеспечение минимальной шероховатости, поддержания чистоты рабочей жидкости.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Андреевцу Ю. А., старшему преподавателю кафедры «Нефтегазоразработка и гидропневмоавтоматика» за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

#### **Список литературы:**

1. Сычев Д. В., Трушин Н. Н., Редников С. Н. Тенденции развития и совершенствования гидравлических приводов мобильных и стационарных машин //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – №. 9. – С. 39-44.
2. Андреевец, Ю. А. Объемные гидро- и пневмомашинны : пособие по одноименному курсу для студентов специальности 1-36 01 07 "Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин" дневной и

заочной форм обучения / Ю. А. Андреев. - Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 97 с.

3. Хазеев, Е. В. Анализ имитационного моделирования гидравлических систем мобильных машин в различных программных комплексах / Е. В. Хазеев, Ю. А. Андреев К. В. Пупенко // Машиностроение: инновационные аспекты развития : материалы междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург / Науч.-исслед. центр «МашиноСтроение». – 2022. – № 5. – С. 18–22.

УДК 378.147.88

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАТФОРМЫ UNITRAIN ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ УПРАЖНЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ**

**Оразбердиева Э.М., (преподаватель)**

*Государственный энергетический институт Туркменистана,  
г.Мары, Туркменистан.*

**Актуальность** данной работы заключается в изучении возможностей платформы UniTrain для разработки персонализированных лабораторных упражнений [1]. Подобные задачи позволяют выстраивать индивидуальные траектории обучения анализу электрических цепей, повышая вовлечённость студентов и эффективность освоения материала [2]. В работе предложен подход к созданию адаптивных сценариев, которые изменяются в зависимости от действий пользователя и обеспечивают баланс между теорией и практикой.

**Целью данной работы** направлена на разработку и оценку методики адаптивных упражнений для курса «Теоретические основы электротехники» в среде UniTrain.

Для достижения цели необходимо решить ключевые задачи. Во-первых, провести анализ аппаратных и программных возможностей платформы UniTrain для реализации адаптивности. Во-вторых, разработать модель, определяющую логику изменения сценария упражнения на основе действий студента (подсказки, изменение сложности, перенаправление на теорию). В-третьих, создать комплекс адаптивных упражнений по темам вроде «Расчет цепей постоянного тока» и «Резонанс в RLC-цепях».

Эффективность методики будет проверена в ходе педагогического эксперимента. Студенты экспериментальной группы выполняют адаптивные упражнения, а контрольной — традиционные линейные работы на той же платформе.

UniTrain сочетает в себе современные программные решения и виртуальные лаборатории, что обеспечивает интерактивность обучения и

гибкую настройку содержания упражнений под индивидуальные потребности учащихся. Система предусматривает многоуровневые сценарии освоения материала и автоматическую регистрацию результатов, что облегчает объективную оценку прогресса. Дополнительно, методика обеспечивает интеграцию практических и теоретических аспектов, способствуя формированию устойчивых профессиональных навыков.

Итоговый анализ результатов будет проведен по критериям: качество усвоения материала, скорость выполнения заданий, а также субъективные оценки вовлеченности и уверенности студентов. Это позволит объективно оценить преимущества адаптивного подхода [3].

**Анализ полученных результатов.** Проведенная работа и педагогический эксперимент позволили получить следующие ключевые результаты.

**Техническая реализация.** На платформе UniTrain была успешно реализована логика адаптивных сценариев. Используемый программный интерфейс позволил в реальном времени проверять результаты измерений виртуальных приборов и динамически менять задания: корректировать текст, параметры цепи (номиналы резисторов) или тип вопроса. В случае последовательных ошибок система автоматически предоставляла доступ к соответствующим теоретическим материалам.

**Повышение глубины понимания.** Студенты экспериментальной группы показали статистически значимо более высокие результаты (на 15-20%) на итоговом тестировании, особенно в задачах, требующих нестандартного подхода.

**Индивидуализация учебного процесса.** Анализ логов подтвердил, что разные студенты прошли один и тот же сценарий по-разному. Более слабые студенты получали больше подсказок и отрабатывали промежуточные шаги, тогда как сильные быстрее переходили к усложненным заданиям. Это доказывает возможность эффективной персонализации без постоянного вмешательства преподавателя.

**Формирование устойчивых практических навыков.** В упражнении «Поиск неисправности в цепи» сценарий имитировал различные виды неисправностей (обрыв, короткое замыкание) в зависимости от действий студента. Экспериментальная группа продемонстрировала более системный и логичный подход к диагностике по сравнению с контрольной, работавшей по жесткому, предсказуемому сценарию.

**Психологический и мотивационный аспект.** По данным анкетирования, студенты экспериментальной группы отмечали более высокую вовлеченность и меньший стресс. Система, которая не наказывала за ошибку, а помогала ее исправить, создавала «безопасную» образовательную среду, способствующую экспериментированию и обучению на собственном опыте.

**Заключение.** Исследование подтвердило высокую эффективность платформы UniTrain для создания адаптивных упражнений по электротехнике. Платформа позволяет трансформировать стандартные

лабораторные работы в персонализированные учебные траектории, что способствует глубокому усвоению материала, развивает критическое мышление и навыки решения практических задач. Это соответствует современным требованиям к подготовке инженеров и цифровизации образования. Перспектива — создание интеллектуальной системы на основе машинного обучения для полного цикла персонализированного обучения.

### **Список литературы**

1. Фёдоров И. Б., Коршунов С. В. Инженерное образование в России: вызовы и стратегии цифровой трансформации. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2018.

2. Андреев А. А., и др. Методика преподавания в высшей школе: цифровой образовательный контент. — М.: ИНФРА-М. (Педагогическое обоснование методики) – 2020.

3. Моделирование процессов бурения на тренажере-иммитаторе с технологией виртуальной реальности / Ю. В. Линевиц [и др.] // Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : в 2 ч. Ч. 2 / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, ПАО «ОАК» ОКБ Сухого, Таизский университет (Йеменская Республика) ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 113-114.

УДК 378.147.88

## **ПОВЫШЕНИЕ ИНТЕРЕСА СТУДЕНТОВ К ОБУЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Оразмередов М.А. (преподаватель)**

*Государственный энергетический институт Туркменистана,  
г.Мары, Туркменистан.*

**Актуальность** данной работы связано с современными образовательными тенденциями, которые требуют развития новых технологий в обучении электротехнике, что способствует повышению интереса студентов к предмету [1]. Использование компьютерных пакетных программ, интерактивных методов и визуализации помогает сделать материал более доступным и понятным для будущего. Это способствует развитию практических и профессиональных навыков, повышению мотивации к изучению дисциплин и успешному освоению будущей профессии [4].

**Целью данной работы** изучение новых технологий в сфере энергетики для повышения интереса студентов к образованию в области электротехники. В рамках исследования эффективность лидерства и эффективности компьютерных технологий и интерактивных средств обучения в

образовательном процессе. Особое внимание уделяется анализу способов применения программных пакетов, таких как Mathcad, а также средств визуализации, например, интерактивных плакатов, для облегчения упрощения простых понятий и алгоритмов [2, 3]. Предполагается определить, как использование новейших образовательных инструментов влияет на вовлечённость студентов, их успехи при изучении курса и переход к профессиональной компетентности. Также анализируются методы организации самостоятельной работы учащихся с использованием цифровых технологий и измеряется влияние таких подходов на качество образования, мотивация студентов к самостоятельному обучению и развитию критического мышления. Таким образом, данная работа ориентирована на практические рекомендации по развитию инновационных технологий с целью повышения образовательного интереса и доступности студентов в направлении электротехники.

**Анализ полученных результатов** показало, что целенаправленное внедрение интерактивных технологий в курс электротехники приводит к заметному росту учебных достижений и интереса к предмету у студентов экспериментальной группы по сравнению с контрольной. В среднем итоговый тест по ключевым разделам дисциплины (законы Кирхгофа, расчёт цепей, режимы работы устройств) студенты экспериментальной группы выполнили на 10–15% лучше, чем их сверстники, обучавшиеся по традиционной методике, при том что стартовые показатели на констатирующем этапе существенно не различались. Наряду с повышением уровня знаний было зафиксировано сокращение доли студентов с низкими результатами и увеличение количества обучающихся, стабильно демонстрирующих высокий и выше среднего уровни освоения материала.

Анализ анкетирования выявил значимое изменение мотивационных характеристик: большинство студентов экспериментальной группы отметили, что использование интерактивной доски, онлайн-симуляторов, виртуальных лабораторных работ сделало занятия более наглядными, динамичными и «приближенными к реальной инженерной практике». По данным повторного анкетирования доля студентов, оценивающих свой интерес к электротехнике как высокий, возросла примерно в полтора раза, тогда как в контрольной группе изменения носили незначительный характер. Студенты также чаще указывали на ощущение собственной успешности, лучшее понимание взаимосвязей между теорией и практикой, а также на снижение «страха перед формулами и схемами», который нередко присутствует при изучении технических дисциплин.

Интерактивные формы обучения способствовали выравниванию учебных возможностей внутри группы: слабые студенты получили возможность «подтянуться» за счёт наглядных симуляций, пошаговых тренажёров и немедленной обратной связи, а сильные – расширить свои компетенции через усложнённые задания и проектную деятельность. При этом преподаватель

получил более гибкий инструментарий для оперативной диагностики затруднений и индивидуализации подхода. В совокупности полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что использование интерактивных технологий в курсах электротехники не только повышает мотивацию и успеваемость, но и качественно меняет характер взаимодействия «преподаватель – студент», смещая акцент с пассивного восприятия на активное, исследовательское и практико-ориентированное обучение.

**Заключение.** Таким образом, интеграция новых технологий в процесс обучения электротехнике обеспечивает эффективность для повышения интереса студентов к предмету. Актуальные подходы, такие как использование программных пакетов и средств визуализации, оказывают положительное влияние на качество образования и профессиональное становление будущих специалистов. Практика показывает, что цифровые образовательные ресурсы имеют устойчивую мотивацию, развивают необходимые навыки и улучшают результаты обучения

#### **Список литературы**

1. Виленкин В. А. Информационные технологии в инженерном образовании: методика и практика применения. – Москва: Академия, 2021. – 240 с.

2. Зайцев М. В. Использование программных пакетов Mathcad и MATLAB при обучении электротехнике// Современные проблемы науки и образования. – 2023. – № 2. – С. 112-119.

3. Асмолов А. Г., Гуреева А. Н. Цифровая трансформация образования: человек, технологии, смысл. – Москва: Просвещение, 2020. – 304 с.

4. Невзорова, А. Б. Образовательная среда как симбиоз цифровых навыков преподавателей и студентов/ А. Б. Невзорова, Г. В. Петришин, В. В. Невзоров // Инженерное образование в цифровом обществе : материалы Межд. науч.-метод. конф., Минск, 14 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 2. – Минск, БГУИР, 2024. – С. 52–53.

5. Невзорова, А. Б. Выбор веб-сервиса для создания цифрового образовательного мероприятия/ А. Б. Невзорова, Н. С. Горошко// Цифровая трансформация. – 2020. – № 4 (13). – С. 34–43.<https://doi.org/10.38086/2522-9613-2020-4-34-43>.

6. Оразмередов, М. А. Методы и средства проведения мониторинга климатических параметров [Электронный ресурс] / М. А. Оразмередов, Э. М. Оразбердиева // МИТРо 2024 – Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника : материалы докл. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 6 дек. 2024 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 174–175.

УДК 622.257.122

## ТАМПОНАЖНЫЕ РАСТВОРЫ В ПРОЦЕССЕ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН

Паладич Е.В., (студент. гр. НР-21)

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Качественное цементирование скважин обеспечивает герметичность межтрубного пространства, надёжную изоляцию продуктивных пластов и долговечность обсадных колонн. Современные технологии бурения, в том числе наклонно-направленное и горизонтальное бурение, а также усложнённые пластовые условия предъявляют повышенные требования к свойствам тампонажных растворов. Необходимость разработки и внедрения рецептур с управляемой реологией и стабильностью делает тему актуальной и практико-ориентированной [1, 2].

**Цель работы** – обобщить основные требования к тампонажным растворам для эффективного крепления скважин в различных условиях бурения, выявить критичные свойства цементных смесей и представить современные подходы к улучшению их характеристик. В результате предполагается получить обоснованные рекомендации по подбору состава и режимов закачки для обеспечения монолитной цементной кольцевой изоляции.

**Анализ полученных результатов.** Тампонажный раствор – это дисперсная система на основе цемента и жидкости (чаще всего воды), служащая для заполнения межтрубного пространства скважины и создания плотного цементного камня после затвердевания. Основные требования к таким смесям – достижение заданной плотности и прочности камня, сохранение стабильности до начала схватывания, минимальная фильтрация жидкости и стойкость к агрессивным компонентам поровой воды.

Состав тампонажных растворов подбирают с учётом условий скважины. Например, для высокотемпературных или высокоминерализованных пластов применяют специальные добавки и модификаторы, обеспечивающие долговременную прочность и устойчивость цементного камня. Введение различных добавок (суперпластификаторов, микрокремнезёма, легких и расширяющихся компонентов) может улучшать один параметр (например, повышать подвижность и однородность смеси), но при этом негативно влиять на другие (ускорять схватывание или снижать конечную прочность) [3]. На практике нашли применение расширяющиеся цементные составы, компенсирующие усадку, а также полимерные и минеральные добавки, снижающие водоотделение и предотвращающие седиментацию частиц. В частности, для боковых и горизонтальных стволов особо важна высокая прокачиваемость и стабильность смеси.

Таблица цемента для приготовления тампонажных растворов.

Тип цемента	Условия применения	Свойства растворов цемента	
		Плотность г/см <sup>3</sup>	Время схватывания, ч.
<b>ПЦТ I-50</b> (ПЦТ I) — обычный портландцемент	Универсальный тампонажный цемент для стандартных условий.	1,8 – 2,1	~4 – 12 (регулируется добавками)
<b>ПЦТ I-100</b> (ПЦТ I, повышенной плотности)	Для интервалов с высоким пластическим давлением и необходимости повышенной гидростатической стойкости.	2 – 2,3	~4 – 12
<b>ПЦТ II-СС-50</b> (ПЦТ II, сульфатостойкий)	Для зон с агрессивными солями/сульфатными флюидами и карбонатными породами.	1,8 – 2,2	~4 – 16
<b>ПЦТ III-Об</b> (легкий)	Облегченные (низкоплотные) составы для снижения гидростатического давления в хрупких толщинах (рыхлые породы).	1,4 – 1,7	~4 – 12
<b>ПЦТ I-ГФ / ПЦТ I-ПЛ</b> (гидрофобизированный /пластифицированный)	В условиях агрессивных вод; применяются для улучшения текучести и седиментационной стабильности.	1,7 – 2,1	~3 – 10
<b>ПЦТ с расширяющимися добавками / композитные смеси</b>	Применяются для компенсации усадки цементного камня и улучшения контакта с обсадной колонной/породой.	1,8 – 2,2	~6 – 24

**Заключение.** Надёжное цементирование скважин обеспечивается лишь при учёте специфики скважинных условий и чёткого соблюдения требований к свойствам тампонажного раствора. Для разных условий подбирают соответствующие модифицированные составы; ключевыми характеристиками являются плотность, реология, фильтрационная стабильность и адгезия цемента к породе; современная тенденция – разработка легкорастворимых расширяющихся и полимерных добавок, позволяющих контролировать осадку цемента и укреплять цементный камень.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность заведующей кафедрой Невзоровой А.Б., д.т.н., профессору, за консультацию и помощь при проведении данного исследования

#### Литература

1. Аткинсонская, Т. В. Роль жидкостей глушения в процессе ремонта скважин / Т. В. Аткинсонская // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2018. – № 2. – С. 34–41.
2. Невзорова А. Б., Шершнёв О. В. Накопление отходов производства и их влияние на состояние подземных вод в Республике Беларусь // Труды БГТУ.

Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 2 (283). С. 194–200. DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-22.

3. Аманиязов Я., Мовламов Д., Хуммиев А. Буровые промысловые и тампонажные растворы //Вестник науки. – 2022. – Т. 4. – №. 11 (56). – С. 326-330.

УДК 621.65

## **ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИИ НА ВЕЛИЧИНУ ПУЛЬСАЦИЙ ПОДАЧИ ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА**

**Панглиш А.С. (студент, гр.ГА-41)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О.Сухого,  
Республики Беларусь*

**Актуальность.** Пульсации подачи являются одной из главных причин неравномерности перемещения рабочих органов оборудования и отрицательно влияет на качество и точность рабочего процесса. Одной из основных причин возникновения пульсаций подачи в шестеренных насосах является кавитация, которая приводит к вибрациям, шуму и ускоренному износу элементов гидросистемы, снижая её точность и надёжность.

**Цель работы** - исследовать влияние кавитационных процессов в замкнутых межзубовых объёмах шестерённого насоса на амплитуду и структуру пульсаций его подачи.

**Анализ полученных результатов.** Широкое применение шестеренных насосов в гидромеханических системах машин объясняется простотой и компактностью конструкции, надёжностью, малой трудоемкостью изготовления, удобством обслуживания, а также, в отличие от других типов объемных насосов, возможностью непосредственного их соединения с приводными механизмами. Эффективность работы шестеренных насосов зависит от многих факторов, в том числе от КПД насоса [1-3].

Наличие газовой фазы в нагнетаемой жидкости заметно снижает производительность насосов. Это объясняется тем, что часть объема рабочих камер занимает примешанными к жидкости и расширившимися воздушными пузырями и газом (выделившимся из раствора) (рисунок1). Ведущая шестерня расположена с правой стороны, направление вращения – по часовой стрелке.

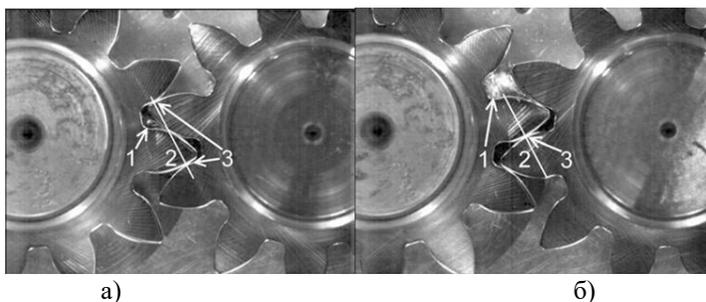


Рисунок 1. Зацепление шестерен: а) образование замкнутого объема в шестеренном насосе: 1 – образование кавитационного пузырька, 2 – линия зацепления, 3 – точки контакта зубьев; б) раскрытие замкнутого объема и схлопывание пузырька: 1 – зона схлопывания пузырька, 2 – линия зацепления, 3 – точка контакта зубьев.

Присутствие воздуха является причиной серьезного ухудшения характеристики всасывания из-за наличия защемленного пространства, откуда определенный объем жидкости переносится обратно в камеру всасывания. Здесь возвращенный с жидкостью воздух вновь расширяется и, занимая часть объема, увеличивает степень недозаполнения между зубových впадин.

Экспериментально установлено, что при нормальных условиях в маслах содержится 8-10% растворенного воздуха.

С увеличением вакуума на входе в насос приводит к возникновению кавитации, т.е. увеличивается объемное содержание газовой составляющей и уменьшается количество масла, что приводит к падению объемного коэффициента полезного действия насоса.

Объемные потери за счет растворенного воздуха учитываются коэффициентами, зависящими от свойств жидкости (коэффициент абсорбции) и качества всасывающей системы и степени ее герметичности.

Для уменьшения пульсаций подачи и повышения объемного КПД шестеренного насоса необходимо обеспечивать герметичность всасывающего трубопровода, обеспечивать отсутствие защемленного пространства во впадинах шестерен, ограничивать частоту вращения валов по условию полного заполнения рабочих камер при всасывании, а так же не допускать эксплуатации насосов при давлениях на входе ниже, установленных по техническим характеристикам.

**Заключение.** Кавитация в шестерённом насосе является важным фактором, увеличивающим пульсации подачи. Уменьшение кавитационных явлений возможно за счёт повышения давления на всасывании или оптимизации геометрии зацепления, что приведет к снижению пульсаций и повысит ресурс агрегата. Влияние динамических кавитационных процессов в замкнутых межзубовых объёмах на мгновенные пульсации расхода

необходимо учитывать при проектировании конструкций шестеренных насосов и при их эксплуатации в реальных условиях.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Андреевцу Ю. А., старшему преподавателю кафедры «Нефтегазоразработка и гидропневмоавтоматика» за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

#### **Список литературы**

1. Рыбкин, Е. А. Шестеренные насосы для металлорежущих станков / Е. А. Рыбкин, А. А. Усов. – М. : Машгиз, 1960. – 187 с.

2. Юдин, Е.М. Шестеренные насосы. Основные параметры и их расчет / Е.М. Юдин. – 2-е изд., перераб., доп. – Москва : Машиностроение, 1964. – 237 с.

3. Дасько, Д. Д. Признаки возникновения кавитации при эксплуатации насосов / Д. Д. Дасько; науч. рук. Ю. А. Андреевца // 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. / техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – С. 33-36.

4. Хазеев, Е. В. Анализ имитационного моделирования гидравлических систем мобильных машин в различных программных комплексах / Е. В. Хазеев, Ю. А. Андреевца К. В. Пупенко // Машиностроение: инновационные аспекты развития : материалы междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург / Науч.-исслед. центр «Машиностроение». – 2022. – № 5. – С. 18–22.

УДК 669(075.8)

## **СОВРЕМЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

**Петровский А.С. (студент, гр. ТТ-31)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Развитие современного машиностроения требует применения новых конструкционных материалов, обладающих высокими эксплуатационными свойствами. К числу наиболее перспективных относятся композиционные материалы. В отличие от традиционных материалов композиты позволяют совмещать в себе лучшие свойства каждого из компонентов, обеспечивая повышенную прочность, лёгкость, износостойкость и устойчивость к внешним воздействиям.

**Целью** настоящего исследования является анализ современных тенденций в развитии аддитивных технологий и адаптации современных композиционных материалов для 3D-печати.

С развитием аддитивных технологий 3D-печати появилось множество новых возможностей для использования композитных материалов, так как они позволяют создавать сложные формы, снижают расход материалов и сокращают производственные затраты [1]. Сегодня аддитивные технологии предоставляют возможность создавать материалы с заданными свойствами на молекулярном уровне, что делает композиты ещё более перспективными для различных отраслей промышленности, в том числе и для машиностроения.

Наиболее распространенными методами 3D-печати с использованием композитов являются: метод послойного напыления (*FDM*), стереолитография (*SLA*), селективное лазерное спекание (*SLS*), и лазерное спекание металлов (*DMLS*).

Анализ материальной базы для аддитивных технологий показал, что всё чаще в современном машиностроении применяют полимерные композиционные материалы, которые используют преимущественно в тех случаях, когда ни один другой материал не отвечает возрастающим требованиям новой техники. Среди полимерных композиционных материалов наиболее часто применяют полилактиды (*PLA*) с углеродными волокнами, полиэфирэфиркетон (*PEEK*)-композиты и стеклопластик (*GFRP*). Такие композиты обладают небольшой массой, высокой прочностью, устойчивостью к коррозии и химическим воздействиям, хорошей механической гибкостью и возможностью модификации для придания специфических свойств (термостойкость, электропроводность). Для нужд автомобиле- и машиностроения полимерные композиты используют для 3D-печати термостойких, лёгких, но прочных деталей [2].

Металлические композиционные материалы, содержащие в металлической матрице армирующие добавки (карбид кремния, оксиды алюминия, титана, магния, углеродные нанотрубки), имеют высокую прочность, жёсткость и износостойкость, термостойкость, отличные электро- и теплопроводящие свойства.

Керамические композиционные материалы характеризуются высокой твёрдостью и термостойкостью, устойчивостью к химической и механической коррозии, огнестойкостью и низким коэффициентом теплового расширения. Например, углеродно-керамические композиты (*C/SiC*) применяют для изготовления методом 3D-печати прототипов и деталей тормозных систем спортивных автомобилей.

В зависимости от поставленных задач можно разработать либо подобрать композиционные материалы, которые отвечали бы всем требованиям эксплуатации изделий современного машиностроения и обладающие такими свойствами как механическая прочность, относительно низкая удельная масса, невысокая стоимость и т.д.

Современные методы 3D-печати позволяют решить ряд инженерных задач, направленных на снижение металлоемкости изделий, смоделировать и

более точно определить нагрузки на проектируемые узлы и детали, снизить трудоемкость процесса их разработки и повысить качество продукции машиностроения в целом [3].

Сочетание аддитивных технологии с искусственным интеллектом позволит создавать самокорректирующиеся процессы печати и улучшать качество готовых изделий, а увеличение скорости печати повысить рентабельность производства, добиться более точного контроля за структурой и свойствами материала и уменьшить количество отходов. Важным аспектом является необходимость создания новых методов тестирования и сертификации изделий, напечатанных с использованием композитных материалов.

Таким образом, проведенный анализ показал, что, несмотря на высокую стоимость материалов и проблему гарантии и безопасности, композиты в аддитивных технологиях – это шаг в будущее, позволяющий разрабатывать инновационные изделия с уникальными свойствами, открывая новые горизонты в промышленности и науке.

Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Ухарцевой И.Ю., к.т.н., доценту за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

1. Бобрышева, С. Н. Современные полимерные композиционные материалы в машиностроении / С. Н. Бобрышева, И. Ю. Ухарцева // Инновационное станкостроение, технологии и инструмент : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 30 нояб. 2023 г. / М-во пром-сти Респ. Беларусь [и др.] ; под общ. ред. М. И. Михайлова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 69–71.

2. Михальченко, А. А. Влияние режимов 3D-печати термопластами на прочностные свойства изделий / А. А. Михальченко, А. Б. Невзорова, И. Б. Одарченко // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого : научно-практический журнал. – 2023. – № 1. — С. 31—40.

3. Михальченко, А. А. Исследование на разрыв пластика ПЭТ-бутылок и его переработка для производства филаментов для 3D-печати / А. А. Михальченко ; науч. рук. А. Б. Невзорова // Беларусь в современном мире : материалы XV Междунар. науч. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 19–20 мая 2022 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Гомел. обл. орг. «Белорус. о-во «Знание» ; под общ. ред. В. В. Кириенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. – С. 228-230.

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ СКВАЖИН

Пешкун А.В. (студент, гр. НР-51)

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** В настоящее время в разработку широко вовлекаются месторождения трудноизвлекаемыми запасами углеводородов, приуроченными к низкопроницаемым и неоднородным коллекторам [1]. Бурение новых скважин требует привлечения значительных капитальных вложений. Для уточнения характера насыщения и фильтрационно-емкостных свойств продуктивных пластов в слабоизученных зонах месторождения проводится расконсервация и пробная эксплуатация разведочных скважин. Ввод в эксплуатацию разведочных скважин обусловлен увеличением времени освоения и требует использования специальных методов и различных технологий [2]. Из-за неблагоприятного воздействия на пласт при бурении, вторичном вскрытии и проведении различных технологических операций коллекторские свойства призабойной зоны пласта значительно ухудшены. Одним из методов, позволяющим увеличить проницаемости призабойной зоны скважин является гидравлический разрыв пласта (ГРП) [3]. ГРП позволяет соединить призабойную зону скважины с зоной коллектора не подвергшейся влиянию процессов происходящих при бурении и перфорации с ненарушенной зоной пласта.

**Цель работы** – проанализировать технологии ГРП и предложить направления по увеличению проницаемости призабойной зоны скважин.

**Анализ полученных результатов.** В настоящее время на Речичком месторождении используются три основных вида гидравлического разрыва пласта: обычный гидроразрыв пласта (ГРП), глубокопроникающий (ГГРП) и массивованный (МГРП). Каждый из этих видов имеет свою область применения.

ГРП используется как средство увеличения проницаемости призабойной зоны пласта. Применяется, как правило, в отдельных скважинах с загрязнённой призабойной зоной с целью восстановления их естественной продуктивности, характеризуется использованием незначительного количества закрепляющего материала (5–10 тонн). ГГРП является одним из наиболее эффективных методов, позволяющих увеличить продуктивность скважин, дренирующих низкопроницаемый пласт (с проницаемостью менее 0,05 мкм<sup>2</sup>). Характеризуется этот процесс использованием больших количеств закрепляющего материала (10–50 тонн) и жидкостей разрыва (150–200 м<sup>3</sup>). В этом случае создаются трещины или система трещин значительной протяжённости (50–100 и более метров), охватывающие не только

призабойную зону, но и значительную часть пласта. В этом основное отличие ГГРП от обычного ГРП. Область применения ГГРП – низкопроницаемые залежи или отдельные её участки с целью, в частности, достигнуть рентабельности разработки таких месторождений [4]. Технология ГГРП предназначена для воздействия на неистощённые (невыработанные) нефтяные залежи, где продуктивные пласты представлены терригенными (песчаными) коллекторами. МГРП – массивированный гидроразрыв пласта, который на практике применяется в низкопроницаемых коллекторах газовых месторождениях. Основной особенностью этого процесса является создание искусственных трещин очень большой протяжённости. Для этих целей используются большие количества закрепляющего материала.

В настоящее время на Речицком месторождении в гидроразрывной обработке применяются сгущенные жидкости, которые закачивают последовательно. Первая стадия – это водяной буфер, полимер и добавки. Затем следует раствор, представляющий собой буфер плюс проппант – обычно песок – во взвешенном состоянии. По мере выполнения обработки закачиваются различные концентрации проппанта и различные объёмы раствора. Давление, производимое буфером, даёт начало трещине и служит причиной её распространения. Раствор помогает удлинить трещину и перенести проппант дальше. Постепенно трещина заполняется до тех пор, пока не набивается в её оконечности.

На сегодняшний день, на Речицком месторождении используют компьютерное моделирование. Накопленный массив геологических данных позволил создать сложные математические и физические модели, которые могут с высокой точностью прогнозировать ход ГРП: как и где будут образовываться трещины, как на них повлияют проппант и другие компоненты смеси. а основе этих данных инженерам стало гораздо проще подбирать состав смеси и параметры проведения ГРП. При многостадийном гидроразрыве пласта учитывают даже влияние созданных трещин на образование новых.

**Заключение.** Описанные методы ГРП имеют широкую область применения, что позволяет значительно повысить дебит скважины и увеличить срок службы скважины.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Невзоровой Алле Брониславовне, д.т.н., профессор, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

### **Список литературы**

1. Войтехин, О. Л. Технологические подходы к оптимизации темпа разработки трудноизвлекаемых запасов нефтяного месторождения / О. Л. Войтехин, А. Б. Невзорова // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого : научно-практический журнал. – 2023. – № 3.— С. 67-79.

2. Возможность применения гидродинамических моделей для решения промысловых задач при проведении гидроразрыва пласта / А. В. Минаков, А. Ю. Кравченко, Я. А. Майлат, С. Н. Воробьева // Нефтегазовый инжиниринг. – 2025. – № 1. – С. 38–49

3. Климович В.А., Мироненко К.В. Анализ влияния значений потерь давления на трение при проведении тестовых закачек на успешность выполнения основного ГРП при освоении скважин по технологии R&P МГРП 3. – Нефтяник Полесья.– 2024. – №2. – С. 96–99.

4. Шокурова, Т. А. Анализ выработки запасов месторождения для определения стратегии дальнейшей разработки / Т. А. Шокурова // Нефтегазовый инжиниринг. – 2024. – № 1. – С. 55–62.

УДК 621

## **ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ПЕЧАТИ В ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ**

**Пивовар С.Н., (студент, гр. ОП-41)**

*Гомельский государственный университет им П.О. Сухого, Республика Беларусь*

**Актуальность** темы определяется необходимостью внедрения современных и технологичных способов восстановления деталей машин, позволяющих сокращать время ремонта, снижать производственные издержки и обеспечивать стабильную работу оборудования. Применение 3D-печати в этой сфере становится особенно значимым, так как она даёт возможность быстро изготавливать и восстанавливать элементы сложной формы, поддерживая бесперебойность производственных процессов и повышая конкурентоспособность предприятий.

**Цель работы** данной работы является анализ возможностей применения технологии 3D-печати для изготовления, восстановления и модернизации деталей, а также выявление её преимуществ и ограничений по сравнению с традиционными методами производства.

Сущность 3D-печати заключается в том, что деталь создаётся методом послойного добавления материала на основе цифровой трёхмерной модели. В отличие от традиционных способов, технология не требует литейных форм, дорогостоящей оснастки и долгой подготовки производства. Это значительно сокращает сроки изготовления, снижает себестоимость мелких партий и позволяет быстро получать элементы сложной геометрии. Традиционные методы остаются надёжными, но требуют больших временных ресурсов и не всегда подходят для мелкосерийного выпуска или сложной геометрии изделий. На этом фоне 3D-печать становится одним из наиболее перспективных направлений, способных обеспечить независимость от

поставок, быстрое производство и восстановление деталей, включая снятые с производства.

В машиностроении 3D-печать применяется для быстрого проектирования, изготовления прототипов, внедрения новых конструктивных решений, восстановления и замены деталей. Наиболее распространены технологии FDM (послойное наплавление пластика), SLS (лазерное спекание порошка) и SLM/DMLS (плавление металлических порошков), обеспечивающие различную степень прочности, точности и назначения изделий [1].

Развитие технологий невозможно без выбора подходящего материала, ведь именно он определяет, какой может быть деталь — гибкой или жёсткой, лёгкой или ударопрочной, временной или полностью функциональной.

В 3D-печати сегодня используются полимеры, металлы и композитные материалы, и каждый из них раскрывает свои преимущества в зависимости от поставленной задачи. Полимеры подходят для деталей, не испытывающих серьёзных нагрузок: корпусов, кожухов, функциональных прототипов, элементов оснастки. Их ценят за лёгкость, доступность и возможность быстро получать готовое изделие без сложной постобработки. Металлы, наоборот, применяются там, где требуется надёжность — они позволяют печатать нагруженные узлы, которые раньше можно было получить только традиционным литьём или фрезерованием. Композиты занимают промежуточное положение: они легче металла, но заметно прочнее обычного пластика, поэтому востребованы в машиностроении, авиамоделировании, приборостроении и сфере ремонта деталей, снятых с серийного производства.

Преимущества 3D-печати заключаются в возможности изготовления деталей любой сложности, сокращении отходов производства, отсутствии необходимости в пресс-формах, ускорении процесса ремонтного восстановления и изготовлении редких, снятых с производства или уникальных деталей.

Однако внедрение технологии сдерживается высокой стоимостью оборудования, длительностью печати крупных элементов и необходимостью последующей механической обработки поверхности. Поэтому наиболее эффективным является комбинированный подход — применение аддитивного производства для сложных и малосерийных деталей, а традиционных методов для массового выпуска [2,3].

### **Заключение**

Таким образом, 3D-печать становится значимым инструментом в сфере производства деталей. Она позволяет ускорить разработку конструкторских решений, повысить ремонтпригодность оборудования и расширить возможности промышленности. По мере удешевления технологий и стандартизации процессов аддитивные методы будут всё активнее внедряться в серийное производство, обеспечивая более технологичный и гибкий подход к изготовлению деталей.

## Список литературы

1. Шкуро А.Е. Технологии и материалы 3D-печати: учеб. пособие / А.Е. Шкуро. — Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. — С. 97–98.
2. Коряков А.Е. Применение 3D-печати в машиностроении: эффективность, история и тенденции развития / А.Е. Коряков. — Минск: БНТУ, 2022. — С. 100–102.
3. Михальченко, А. А. Влияние режимов 3D-печати термопластами на прочностные свойства изделий / А. А. Михальченко, А. Б. Невзорова, И. Б. Одарченко // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2023. – № 1.– С. 31–40.

УДК 666.9

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕЗОТХОДНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ НА БМЗ

**Позняк Р.Н. (студент гр. ЗТМ 51)**

*Гомельский государственный технический университет  
им. П.О Сухого, Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Утилизация отходов производства в Республике Беларусь является актуальной задачей для многих производств, т.к. они влияют на состояние подземных вод [1]. Важный инвестиционный проект строительства известково-обжигательной установки сегодня в полном объеме обеспечивает сталеплавильное производство шлакообразующими материалами, к тому же всегда имеется резерв [2]. Для обеспечения непрерывной работы установки резерв известняка создан и на площадке временного хранения.

**Цель работы.** Провести анализ эффективности безотходного производства с помощью известково-обжигательной установки (ИОУ), рассчитанная на мощность 400 тонн извести в сутки.

**Анализ полученных результатов:** На Белорусском металлургическом заводе сегодня ИОУ работает под потребности производства и выпускает в среднем 250 тонн извести в сутки. Каждую смену трудится 4 обжигальщика и машинист крана, обеспечивая непрерывное производство извести.

На склад известняка сырье приходит в вагонах от российских партнеров. Машинист крана грейфером загружает его в приемный бункер. Далее камень проходит рассортировку от металлических включений, подвергается дроблению, грохочению и складывается в бункеры, откуда дозированно поступает в известково-обжигательную печь, в которой пламенем газозооной смеси обжигается до извести. Готовый продукт по конвейеру загружается в бункер-накопитель. Как только у электросталеплавильных цехов появляется необходимость в извести, по главному конвейеру она передается к электросталеплавильным печам.

Производство на участке безотходное – на ИОУ-3 работают четыре пылегазоулавливающие установки с фильтрами, благодаря которым пыль извести, как попутный продукт, собирается, а затем отправляется потребителю для производства газосиликата. Также потребителю реализуется и отсев известняка размером меньше 40 мм.

Качество обожженной извести определяют в ЦЗЛ. Для этого в присутствии контролеров ОТК происходит ежесменный отбор проб. Опытный обжигальщик по цвету и весу может определить ее качество, к тому же обожженная известь весит практически в 2 раза меньше, чем известняк.

Эффективность работы сталеплавильного производства во многом определяется и эффективностью производства шлакообразующих материалов. Для облегчения непрерывности работы сталеплавления актуально создание известково-обжигательной установки.



Рисунок 1 – Известково-обжигательная установка

Печь обжига известняка автономная (рис. 1), управляется с пульта, на мониторах контролируются температура в шахтах печи, давление газообразных сред, температура отходящих газов и другие важные технологические параметры.

**Заключение.** На основании проведенной оценки можно сделать вывод о перспективности строительства известково-обжигательной установки на Белорусском Metallургическом Заводе.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю доценту Царенко И.В., за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

1. Невзорова А. Б., Шершнёв О. В. Накопление отходов производства и их влияние на состояние подземных вод в Республике Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 2 (283). С. 194–200. DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-22.

2. Панова А. А., Панов К. А. Улучшение производственных процессов в сталелитейной промышленности с применением системного подхода // Journal of Monetary Economics and Management. – 2024. – №. 1. – С. 194-198.

3. Мозгов С. А. Анелькие Н.И., Манцевич А.В. Становление и развитие ОАО «БМЗ–управляющая компания холдинга «БМК» или белорусскому металлургическому заводу–40 лет: современный взгляд в прошлое, настоящее и будущее //Литьё и металлургия. – 2024. – №. 4. – С. 36-49.

УДК 378

### **СТЕМ-ПОДХОД В ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ: ИННОВАЦИИ И РОБОТОТЕХНИКА КАК НЕОБХОДИМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**Полатова Л., (студент, гр. Ф-501)**

*Туркменский государственный педагогический институт им. С.Сейди,  
г.Туркменабат, Туркменистан*

Современная образовательная система сталкивается с необходимостью интеграции инновационных подходов для подготовки учащихся, соответствующих вызовам XXI века. В условиях стремительного технологического прогресса, цифровизации образования и глобализации научных знаний особое внимание следует уделить методам, способствующим развитию критического мышления и инженерных компетенций у школьников. Одним из таких подходов является STEM-образование, которое включает науки, технологии, инженерию и математику, и направлено на интеграцию этих дисциплин в единый процесс обучения. Особое место в этом процессе занимает робототехника как мощный инструмент для активного вовлечения учащихся в практическое освоение сложных научных понятий. Внедрение робототехнических платформ в учебный процесс значительно улучшает восприятие физических явлений, развивает

инженерное мышление и способствует подготовке учащихся к работе с передовыми технологиями.

Целью данной работы является исследование особенностей внедрения STEM-подхода в преподавание физики в средней школе и анализ его воздействия на мотивацию учащихся, а также оценка эффективности применения робототехнических платформ в учебном процессе. В рамках исследования рассматриваются как теоретические, так и практические аспекты интеграции STEM-методов в образовательный процесс, с акцентом на улучшение качества усвоения физических знаний и развитие инженерных навыков у школьников.

Для достижения поставленной цели в исследовании использованы следующие методы:

- Анализ научных публикаций и зарубежного опыта применения STEM-образования в школьном обучении.
- Контент-анализ образовательных программ, а также практическое внедрение робототехнических платформ в преподавание физики.
- Сравнительный анализ результатов применения традиционных методов преподавания физики и методов, основанных на STEM-образовании.
- Опросы и интервью с преподавателями и учениками для выявления уровня восприятия и мотивации при использовании инновационных методов обучения.

Исследования показали, что использование STEM-методов в преподавании физики оказывает значительное влияние на мотивацию учащихся и их способность осваивать сложные физические принципы. Работая с робототехническими платформами, учащиеся могут на практике изучать такие ключевые физические дисциплины, как механика, электродинамика, термодинамика, а также разрабатывать инженерные проекты, что способствует лучшему усвоению теоретических знаний. Практическая работа с роботами дает учащимся возможность экспериментировать с физическими законами, проверять их на практике, а также развивать навыки работы с современными технологиями. Это позволяет значительно повысить интерес к предмету, улучшить понимание его важности в повседневной жизни и научной деятельности.

Особое внимание в исследовании уделено внедрению STEM-подхода на базе Туркменского государственного педагогического института имени Сейитназара Сейди, где был разработан специальный курс «Применение STEM-подхода в обучении физике». В рамках курса активно используются робототехнические платформы, что позволяет будущим педагогам на практике осваивать методы интеграции технологий в процесс обучения. Примечательно, что на базе института также открыт «Педагогический STEM-парк» - инновационный центр, который служит площадкой для практической реализации новейших образовательных технологий. В рамках этого центра проводятся мастер-классы, тренинги и научно-практические конференции,

направленные на развитие профессиональных и исследовательских компетенций у студентов и преподавателей.

Внедрение STEM-подхода в преподавание физики, включая использование робототехнических платформ, способствует более глубокому освоению физики и развитию инженерных навыков у учащихся. Это позволяет развить критическое мышление, способность к решению инженерных задач. Практическое применение робототехники в обучении открывает новые горизонты для формирования у учащихся комплексных знаний, необходимых для успешной карьеры в высокотехнологичных областях. Таким образом, внедрение STEM-методов является неотъемлемой частью подготовки студентов и школьников к современным вызовам, связанным с быстрым развитием технологий.

Выражаю благодарность моему научному руководителю, Розыевой Азизе Базаркулыевне, старшему преподавателю кафедры физики и с методикой ее преподавания, за консультацию и помощь в проведении данного исследования.

### **Список литературы**

1. Невзорова А.Б. Роль STEM-образования в современных условиях / Модернизация математической подготовки в университетах технического профиля: материалы конференции. – Гомель: БелГУТ. 2017. – С.146-147.

2. Розыева А.Б., Авлиякулиев Дж. Робототехника как инструмент обучения физике и формирования научного мировоззрения. Современное образование: Сборник материалов XV Международной научно-методической конференции. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2025, с.411-412.

3. Полатова Л., Розыева А. Б. Значение stem-образования для экономического развития в XXI веке: инновационные компетенции, технологическая трансформация и глобальная конкурентоспособность //Наука и мировоззрение. – 2025. – Т. 1. – №. 63. – С. 171-176.

УДК 621.77

## **ПРИМЕНЕНИЕ НАПОРНОЙ ВОЛОКИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ПРОВОЛОКИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ СВИВКИ МЕТАЛЛОКОРДА**

**Помаз Д.А. (студент, гр. ГА-21)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Волочение проволоки – это процесс обработки металла давлением, при котором последний постепенно однократно или многократно протягивается через специальный волочильный инструмент – волоку, предназначенный для поэтапного уменьшения поперечного сечения исходной заготовки. Одной из значимых проблем при волочении проволоки

является ее обрывность. Основной причиной обрыва проволоки при тонком волочении является снижение пластичности, вследствие высокой температуры на ее поверхности, в результате деформационного старения [1].

**Цель работы** – решение причины обрыва проволоки за счет применения напорных волок, которые обеспечивают принудительную подачу смазки в зону деформации волоки и снижение трения и усилия деформации при протягивании проволоки через эту волоку.

**Анализ полученных результатов.** Инструмент для волочения проволоки [2], представленный на рисунке 1, состоит из корпус 1, деформирующую волоку 2, напорную волоку 3, содержащую 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, установлена 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 при волочении, повышению стойкости деформирующих волок.

Были проведены эксперименты по определению усилия и температуры поверхности проволоки при мокром волочении с применением напорных волок с использованием водоземulsionной смазочно-охлаждающей жидкости VSV77 R с концентрацией 10%, нагреваемой перед заливкой в волокодержатель до температуры 45<sup>0</sup>С, результаты которых представлены в таблице 1.

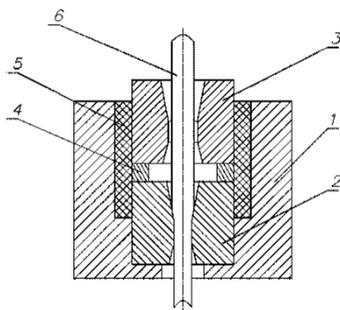


Рисунок 1 – Схема узла установки напорной волоки в волокодержатель промышленного волочильного стана: 1 – корпус, 2 – деформирующая волока, 3 – напорная волока, 4 – кольцо, 5 – уплотнение, 6 – проволока

Таблица 1 – Результаты эксперимента по применению напорных волок

	Усилие волочения	Температура поверхности проволоки
Без напорной волоки	1510 Н	240,7 °С
С напорной волокой	1382 Н	203,6 °С

**Заключение.** Снижение усилия волочения и температуры поверхности проволоки обосновано устойчивой подачей водозмульсионной смазки к деформирующей волоке и снижением коэффициента трения, за счет достижения равномерного смазочного слоя с пониженной вязкостью на поверхности проволоки. Таким образом, применение напорных волок при мокром волочении проволоки приводит к устойчивой подаче водозмульсионной 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.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю, Прач Светлане Игоревне, старшему преподавателю кафедры «Механика», за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

1. Прач, С. И. Использование напорной волоки для мокрого волочения проволоки / С. И. Прач, Ю. Л. Бобарикин // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого: научно - практический журнал. - 2015. - № 1. - С.11-18.
2. Инструмент для волочения проволоки: пат. на полезную модель Респ. Беларусь № 7793, МПК В21С 3/00 / М. Н. Верещагин, Ю. Л. Бобарикин, С. И. Прач, С. В. Авсейков ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; заявка № u 20110337 от 28.04.2011.
3. Бобарикин, Ю. Л. Определение влияния диаметра ролика деформации металлокорда перед намотом на прямолинейность металлокорда после намота / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартыянов, А. В. Веденеев // Пластична деформація металів : Колективна монографія. – 2017. – С. 236-240.

УДК 621.22

## **ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГИДРОУЗЛА ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО СТАНКА**

**Пронин П.Д. (студент, гр. ГА-51)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О.Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Гидроузел является ключевым элементом гидросистемы, от его надежности зависит производительность и долговечность всего оборудования [1,2]. Поэтому вопросы оценки его работоспособности и повышения ресурса имеют важное практическое значение. Гидравлические системы широко применяются в современных обрабатывающих станках, где они обеспечивают высокую точность, плавность движения и стабильность технологического процесса.

**Цель работы** - оценить работоспособность и повышение долговечности гидроузла обрабатывающего станка модели SGH630-HP-01-31.

**Анализ полученных результатов** показывает, что для поддержания работоспособности гидроузла обрабатывающего станка критически важным является регулярное обслуживание системы, включая замену жидкости и проверку фильтров, что значительно повышает долговечность компонентов. Также выявлено, что контроль за температурой и герметичностью системы помогает предотвратить аварийные ситуации и снизить износ оборудования. В целом, внедрение современных технологий мониторинга и своевременная диагностика позволяют эффективно предотвращать поломки и обеспечивают стабильную работу станков в долгосрочной перспективе. [3]/

Работоспособность гидроузла определяется его способностью выполнять заданные функции при соблюдении установленных параметров — давления, расхода, температуры рабочей жидкости, времени срабатывания и точности позиционирования. Основными показателями служат: стабильность давления и расхода в рабочем диапазоне; отсутствие утечек; уровень вибраций и шумов; сохранение точности при длительной эксплуатации [4].

Факторы, влияющие на долговечность: качество, и чистота рабочей жидкости; правильность сборки и регулировки компонентов; соблюдение температурного режима; устойчивость материалов к износу и коррозии. Загрязнение рабочей жидкости считается одной из главных причин преждевременного выхода из строя насосов, распределителей и гидроцилиндров.

Для увеличения срока службы гидроузла применяются следующие меры: установка многоступенчатой системы фильтрации и регулярная замена фильтров; использование высококачественных гидравлических масел с присадками против износа и коррозии; введение профилактического контроля состояния узлов — периодическая диагностика насосов, клапанов и уплотнений; совершенствование конструкций — применение износостойких покрытий, улучшение системы охлаждения и уплотнений; автоматизация контроля — внедрение датчиков давления, температуры и вибрации для раннего обнаружения отклонений [5].

На моей модели станка с числовым программным управлением (ЧПУ) широко применяются гидроузлы с электронным регулированием. Использование пропорциональных клапанов и гидроаккумуляторов позволяет

снизить динамические нагрузки, повысить точность и уменьшить износ элементов, что напрямую повышает долговечность.

Для повышения долговечности гидроузлов обрабатывающих станков применяются следующие методы: Оптимизация конструкции гидросистемы: Использование высококачественных материалов для изготовления компонентов, таких как насосы, гидрораспределители и трубопроводы, может значительно повысить их устойчивость к износу и коррозии. Также важно обеспечить правильную защиту от загрязнений и излишнего нагрева. Использование фильтрации и охлаждения: Введение дополнительных фильтров для очистки гидравлической жидкости и систем охлаждения для поддержания оптимальной температуры жидкости помогает предотвратить перегрев и загрязнение компонентов.

Автоматизация и мониторинг: Внедрение системы автоматического мониторинга, отслеживающей давление, температуру и поток жидкости, позволяет оперативно выявлять отклонения от нормальных параметров работы и предотвращать аварийные ситуации. Регулярное техническое обслуживание и замена жидкости: Организация системы планового технического обслуживания, которая включает проверку и замену гидравлической жидкости, фильтров, осмотр насосов и клапанов, является ключевым элементом для продления срока службы гидросистемы

**Заключение.** Оценка работоспособности гидроузлов обрабатывающих станков — это комплексная задача, включающая мониторинг параметров, анализ износа и прогнозирование ресурса. Повышение долговечности возможно за счёт совершенствования конструкции, качества рабочих жидкостей и внедрения систем диагностики.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Андреевц Ю.А., за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы:**

1. Белов, И. Н. Гидравлические и пневматические системы станков и машин. — М.: Машиностроение, 2018. — 352 с.
2. Михайлов, А. Г. Основы гидропривода: учебник для СПО. — М.: Академия, 2019. — 288 с.
3. Кулешов, В. И. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы. — СПб.: Питер, 2020. — 416 с.
4. Бобарикин, Ю. Л. Определение влияния диаметра ролика деформации металлокорда перед намотом на прямолинейность металлокорда после намота / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартыанов, А. В. Веденеев // Пластична деформация металів : Колективна монографія. – 2017. – С. 236-240.
5. Путьто А.В. Совершенствование элементов конструкций вагонацистерны с учетом взаимодействия с перевозимым жидким грузом. – Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2010. – №1. – С. 113–122.

## УСТАНОВКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ НАРУЖНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**Рогов С.В. (аспирант)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Работоспособность узлов машин в экстремальных условиях эксплуатации во многом определяется состоянием поверхностного слоя деталей [5]. Изготавливать детали целиком из качественного материала, в большинстве случаев нецелесообразно. Поэтому все чаще используются многослойные детали, основа которых изготавливается из конструкционных сталей, а поверхности упрочняются износостойкими сплавами. Одним из таких методов упрочнения является электромагнитная наплавка [1].

Технология наплавки обладает такими преимуществами, как получение достаточно большой толщины покрытия, высокая производительность, отсутствие ограничений по размерам наплавляемых поверхностей. При этом образуется слой с требуемыми свойствами, высокой твердостью и износостойкостью [2].

Вместе с тем, процесс упрочнения поверхностей с помощью имеющихся устройств имеет ряд существенных недостатков: непостоянство величины минимального зазора из-за действия сил инерции; невозможность варьирования частотой осцилляции электромагнита в широких пределах; неоднородность магнитного поля в рабочем зазоре; отсутствие средств регулирования подачи ферропорошка в устройстве [3, 4].

**Цель работы** — повышение стабильности процесса восстановления и упрочнения поверхностей за счет обеспечения постоянства минимальной величины рабочего зазора, однородности магнитного поля в нем; возможности варьирования частотой осцилляций и скорости подачи определенного объема ферропорошка, снижение его расхода.

**Результаты исследования.** На основании результатов испытаний и анализа обобщенной модели устройств для электромагнитной наплавки мной была выбрана конструкция устройства с дозирующим питателем, наиболее полно отвечающая поставленным задачам.

Задача повышения эффективности процесса электромагнитной наплавки решалась путем непрерывного согласования подачи порошка в рабочую зону с сохранением величины рабочего зазора. С этой целью устройство для упрочнения, с осциллирующим движением полюсного наконечника, имеет механизм кинематической связи рабочего органа с дозирующим питателем (рис. 1). При этом, соединительный механизм выполнен шарнирно-рычажным и связан с приводом через эксцентрик, кинематическая связь дозирующего питателя с сердечником образована за счет сделанного в

последнем вертикального отверстия с диэлектрической втулкой и проходящим через его линейным упругим элементом, один конец которого закреплен на изолированном основании, а другой — на дозирующем питателе.

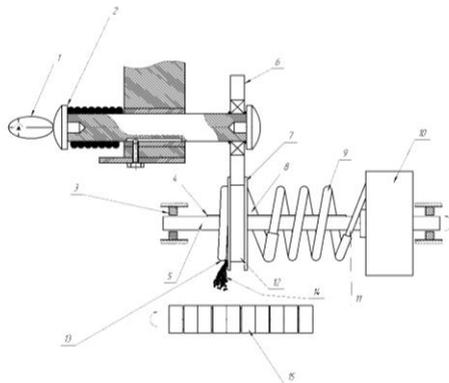


Рисунок 1 – Схема дозирующего питателя:

1 - кулачок; 2 - толкатель; 3 - опоры; 4 - шпонка; 5 - ось; 6 - фрикционный диск; 7 - пружинный механизм; 8, 11 - полуспиральный элемент; 9 - вставка полимерная; 10 - бункер; 12 - направляющая втулка; 13 - выходное отверстие; 14 - порошок; 15 - деталь.

### Заключение

Таким образом, в рассматриваемой установке реализуется автоматическое регулирование подачи ферропорошка на восстанавливаемую поверхность в соотношении геометрических параметров с рабочим зором, повышается качество наносимого покрытия, за счет синхронной работы дозирующего питателя и полюсного наконечника, сокращается расход порошка.

### Список литературы

1. Акулович Л. М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л. М. Акулович, А. В. Миранович; Минсельхозпрод РБ, УО "БГАТУ". - Минск: БГАТУ, 2016. - 236 с.
2. Гаврилин В. Г. Метод магнитно-электрического упрочнения деталей и его особенности / В. Г. Гаврилин, С. В. Рогов // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сборник научных статей 7-ой международной научно-практической конференции : в 2 частях, Гомель, 17 ноября 2023 года / Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш». – Гомель : НТЦК ОАО «Гомсельмаш», 2023. – Часть 2. – С. 246–247.
3. Мрочек Ж. А. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин : [учебное пособие для машиностроительных

специальностей вузов] / Ж. А. Мрочек, Л. М. Кожуро, И. П. Филонов. – Минск : Технопринт, 2000. – 267 с.

4. Путьяго А.В. Совершенствование элементов конструкций вагона-цистерны с учетом взаимодействия с перевозимым жидким грузом. – Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2010. – №1. – С. 113–122.

5. Повышение производительности магнитно-абразивной обработки использованием диффузионно-легированных порошков / Ф. И. Пантелеенко [и др.] // СТИН. – 2023. – № 3. – С. 12–16.

УДК 338.984

## **ИННОВАЦИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ, ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА И ИИ В СОВРЕМЕННОМ ИНЖЕНЕРНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

**Ромашенко С.А., (студент, гр. АП-11)**

*Гомельский государственный технический университет им П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** В условиях быстро меняющихся технологических и рыночных требований, традиционные подходы к проектированию и моделированию становятся недостаточными для обеспечения конкурентоспособности продукции [1]. Внедрение инновационных решений позволяет значительно сократить сроки разработки, повысить качество и эффективность инженерных процессов [2]. Данное исследование направлено на изучение и систематизацию таких решений, представляющих новизну для современной инженерной практики. Это обуславливает острую необходимость внедрения передовых методик для поддержания конкурентоспособности на глобальном рынке. Предприятия, игнорирующие эти изменения, рискуют потерять свои позиции и отстать от мировых лидеров.

**Цель работы** – Целью является систематизация и анализ ключевых инновационных подходов в области проектирования и моделирования, выявление их преимуществ и ограничений, а также разработка рекомендаций по их эффективному внедрению в индустриальные процессы. Это включает определение характеристик новых технологий (например, цифровых двойников, генеративного дизайна), изучение их развития, описание применения, обобщение выявленных закономерностей и создание основ для их классификации.

**Анализ полученных результатов.** Объект исследования включает современные инновационные технологии в области CAD/CAE/PLM систем,

такие как генеративный дизайн, технологии цифровых двойников, применение искусственного интеллекта в моделировании и виртуальную/дополненную реальность для прототипирования. Описание основных мероприятий и полученных результатов – было проведено комплексное литературное исследование и сравнительный анализ существующих программных решений, а также изучены практические кейсы внедрения инноваций в различных отраслях. Результаты показывают значительное ускорение итераций проектирования, оптимизацию характеристик изделий и снижение издержек на прототипирование.

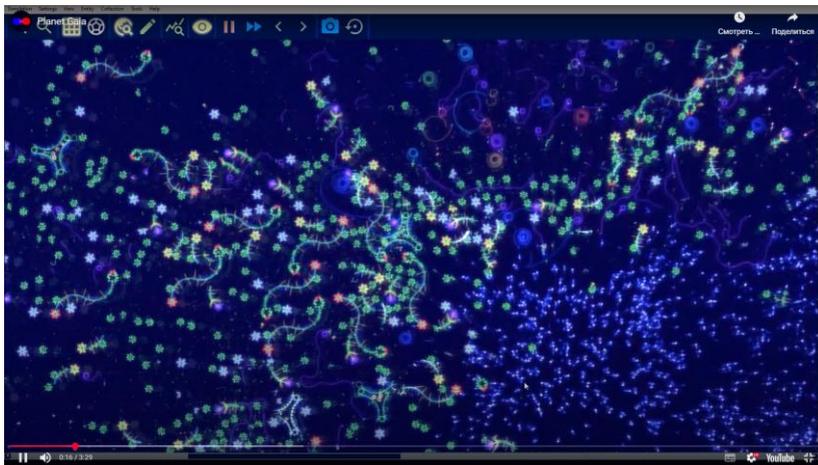


Рисунок 1 – Программа моделирования искусственной жизни

**Заключение.** Выявленные преимущества, такие как ускорение разработки, оптимизация характеристик продукции и снижение производственных затрат, подтверждают критическую значимость цифровых технологий для современной инженерии. Предложенные рекомендации по внедрению этих технологий способствуют повышению эффективности и конкурентоспособности промышленных предприятий, достигая поставленной цели работы.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность старшему преподавателю Захаренко Галине Николаевне за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы :**

1. TAdviser: портал по автоматизации бизнеса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tadviser.ru> (дата обращения: 23.11.2023).
2. Хабр: IT-сообщество [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/feed> (дата обращения: 23.11.2023).

3. CNews: издание о высоких технологиях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cnews.ru> (дата обращения: 23.11.2023).

УДК 621.65

## МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСА ВНЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ЗОНЫ РАБОТЫ

Рудаковский Т.В. (студент, гр. ГА-31)

*Гомельский государственный технический университет им П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Эксплуатация насоса вне оптимальной зоны — это причина низкой энергоэффективности, ведущая к значительным финансовым потерям и нестабильной работе оборудования, а также влияет на надежность и долговечность насоса. Для исключения эксплуатационных режимов, не соответствующих оптимальному КПД, необходимо на этапе проектирования производить анализ механических проблем и предпринимать меры уменьшения их проявления при работе насоса в составе установки.

**Цель работы** - обосновать необходимость эксплуатации насосов в оптимальном режиме для предотвращения механических повреждений и снижения затрат.

**Анализ полученных результатов.** Следствием работы насоса в нерасчетных режимах является также значительное снижение его надежности, а именно возникновение таких механических проблем: выход из строя подшипников; выход из строя торцовых уплотнений; поломка валов; повышенная вибрация.

Наиболее частые причины выхода оборудования из строя и соответствующая кривая надежности насосов в зависимости от расположения рабочей точки показаны на рис. 1 [1].

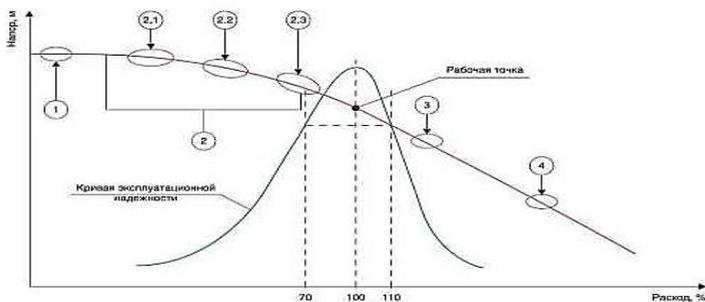


Рисунок 1 – Кривая надежности работы насоса в зависимости от положения рабочей точки

Вследствие работы насоса в режиме, находящемся вне пределов рабочего диапазона, происходит:

- значительное повышение температуры (точка 1, рис. 1);
- снижение ресурса работы подшипников и уплотнений (точка 2, рис. 1) из-за вибрации по причине: возможной кавитации (точка 2.1), возникновения рециркуляции потока на входе (точка 2.2) и выходе (точка 2.3) рабочего колеса;
- снижение ресурса работы подшипников и уплотнений из-за вибрации, вызванной отрывом потока в проточной части (точка 3);
- кавитация, перегрузка электродвигателя (точка 4).

Причиной указанных проблем заключается в неверной эксплуатации на нерасчетных режимах, т.е. одним из главных условий эффективной и надежной работы насоса является нахождение рабочей точки в пределах его допустимого рабочего диапазона.

Анализ работы на подаче больше оптимальной показал, что в этом режиме возникают значительные радиальные и осевые усилия, ведущие к прогибу вала и повышенным нагрузкам на опоры. Турбулентность потока и высокая скорость подачи вызывают эрозионный износ рабочего колеса и корпуса, а также создают риск кавитации и перегрузки электродвигателя [2, 3].

Условия возникновения неустойчивых режимов работы (помпаж) так же возможны при достаточно большом колебании подачи в течении эксплуатационного периода и при выборе насосного оборудования с нестабильной напорной характеристикой.

Мониторинг технических и эксплуатационных параметров, таких как расход, давление, температура и уровень вибрации, что позволяет своевременно выявлять отклонения и предотвращать развитие аварийных ситуаций.

**Заключение.** Для обеспечения надежной и эффективной работы центробежного насоса важно поддерживать его рабочую точку в пределах допустимого рабочего диапазона. Отклонение от оптимального режима приводит к значительным механическим проблемам, снижению ресурса и увеличению эксплуатационных расходов. Применение систем мониторинга и тесное сотрудничество с производителями для определения оптимальных условий эксплуатации позволяют минимизировать риски и продлить срок службы оборудования.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Андрееву Ю. А., старшему преподавателю кафедры «Нефтегазоразработка и гидронневоавтоматика» за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

#### **Список литературы:**

1. Энергоэффективность насосного оборудования для водоснабжения [Электронный ресурс] – Режим доступа: – дата доступа 25.11.2025.

2. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы / А.А. Ломакин. - 2-е изд., перераб. и доп.: издательство “машиностроение” Ленинград, 1966. - 364 с.
3. Сенько, В. И. Прочность кузова железнодорожной цистерны с учетом перемещения перевозимого жидкого груза / В. И. Сенько, А. В. Путятю, А. О. Шимановский ; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2006. – 210 с.
4. Shimanovsky A, Putsiata A, Kolomnikova O. Modeling of vehicle dynamics considering load relative movement. // Acta Mechanica Slovaca. – 2008. – №12(3). – С.691.

УДК 621

## **СИСТЕМАТИЗАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ БУРОВЫХ НАСОСОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ СКВАЖИНЫ**

**Савельев Д. О., (студент, гр. НР-51)**

*Гомельский государственный технический университет им П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** В нефтяной промышленности буровое оборудование и инструмент при эксплуатации подвергается колоссальным нагрузкам. Как следствие, под действием этих нагрузок возникают дефекты основного металла бурового оборудования и инструмента, которые могут привести к аварии на буровой [1]. В свою очередь крупные аварии могут повлечь за собой человеческие жертвы, нанести вред окружающей среде, привести к финансовым потерям и простоям.

В результате действия постоянных знакопеременных нагрузок, агрессивных сред, механических повреждений, заводского брака в буровом оборудовании и инструменте могут возникать недопустимые дефекты различных форм и разновидностей [2].

**Цель работы** – выявить распространенные причины неисправностей буровых насосов в процессе их эксплуатации.

**Анализ полученных результатов** Подтверждена прямая связь между качеством бурового раствора и надежностью насосов. Анализ показал, что на месторождениях с высокоабразивными растворами (например, на терригенных коллекторах) ресурс гидравлической части (гильз, поршней, клапанов) снижается на 30-50% по сравнению с нормативными показателями. Наличие песка, твердых частиц выбуренной породы в растворе действует как абразив, вызывая интенсивный износ гильз, поршней, клапанов и уплотнительных поверхностей. Это основная причина выхода из строя гидравлической части. Высокое содержание солей, сероводорода ( $H_2S$ ), щелочей или кислотных реагентов в растворе вызывает коррозию металлических деталей и разрушение полимерных уплотнений [3, 4]. Слишком высокая вязкость раствора создает повышенное сопротивление на

всасывании, приводя к кавитации и падению производительности. Так же возникает кавитация, которая возникает при недостаточном заполнении цилиндров раствором на такте всасывания (из-за забитой сетки, негерметичности всасывающей линии или высокой вязкости раствора). Пузырьки пара схлопываются с огромной силой, вырывая микрочастицы металла с поверхности гильз и клапанов. Слишком высокая вязкость раствора создает повышенное сопротивление на всасывании, приводя к кавитации и падению производительности. Так же зачастую к неисправностям приводят нарушения режимов работы насоса, превышая рабочие параметры, Постоянная работа на предельных давлениях и подачах, на которые насос не рассчитан, ускоряет усталостный износ всех компонентов. Опаснее всего износ уплотнителей, особенно это касается погружных насосов: в негерметичное соединение попадает вода, появляется риск гидроудара и повреждений обмотки.

Подвижные элементы при износе начинают давать «биение», неестественную вибрацию. Это, в свою очередь, вызывает повышенные ударные нагрузки на другие элементы механизма и может вызвать заклинивание. Износ колес и подшипников снижает КПД механизмов, что выражается в падении подачи и росте потребляемой мощности, нагреве стоек.

Для насосов, работающих с химическими средами, дополнительно есть проблема коррозии проточной части. Работает так же и человеческий фактор, при которых забывается плановый осмотр и замена рабочего оборудования.

**Заключение.** В 80% случаев неисправности буровых насосов связаны с эксплуатационными ошибками и качеством бурового раствора. Оставшиеся 20% — это естественный износ и скрытые дефекты оборудования. Детали изнашиваются в ходе эксплуатации и подлежат плановой замене, поэтому если вы будете проводить ее своевременно, то серьезных поломок и аварий не возникнет. Грамотное обслуживание и контроль технологических параметров — ключ к максимальному увеличению межремонтного пробега насоса. Внедрение единой системы диагностики неисправностей буровых насосов является не технической, а экономической и производственной необходимостью для современных нефтедобывающих компаний, стремящихся к повышению эффективности бурения.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность руководителю профессору Невзоровой А. Б. за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

1. Дефекты бурового оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015011087>– Дата доступа: 18.10.2025.
2. Инструкция по проведению дефектоскопии бурового, нефтепромыслового оборудования и инструмента, ООО «Специальное

конструкторско-технологическое бюро нефтяного и газового машиностроения», ООО СКТБ «Нефтегазмаш». – 2020.

3. Золотарев А. Д. Методологическая модель предотвращения отказов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – №. 5. – С. 98-104.

4. Невзорова, А. Б. Общие подходы по управлению и планированию очистки пластовой воды / А. Б. Невзорова // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 20 марта 2025 г. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. д-ра техн. наук, профессора Е. Ф. Кудиной. – Гомель : БелГУТ, 2025. – С. 187–190.

УДК 621.78

## **УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**Садовников Е.С, (студент, гр. ОП-41)**

*Гомельский государственный технический университет им П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

### **Актуальность**

Ультразвуковая обработка представляет собой высокоперспективное направление, так как позволяет эффективно обрабатывать твердые, хрупкие и труднообрабатываемые материалы, обеспечивая высокие классы точности и чистоты поверхности.

### **Цель работы**

Целью данной работы является анализ потенциала ультразвуковой обработки как средства повышения точности и эксплуатационного ресурса деталей в машиностроении.

Ультразвуковая обработка применяется с помощью ультразвука с возможностью получения направленного излучения высокой интенсивности [1]. При ультразвуковой обработке вибрирующий с определенной амплитудой и частотой инструмент перемещается перпендикулярно к обрабатываемой поверхности. В зону обработки вводится суспензия абразива. Ультразвуковые колебания образуют в жидкости кавитационные пузырьки, захлопывание которых вызывает гидравлические удары, разрушающие твердые и хрупкие материалы. Наличие абразива ускоряет разрушение материала. Разрушенный материал удаляется из зоны обработки вместе с циркулирующей суспензией абразива. Инструмент внедряется в обрабатываемую заготовку и воспроизводит в ней отверстие соответствующей формы и размера [2].

Применяется также ультразвуковое шлифование и хонингование.

Для ведения ультразвуковой обработки применяют станки, работающие в диапазоне частот 15-30 кГц с амплитудой колебаний – 0,05 мм и выходной мощностью 0,2-10 кВт. Этим методом обрабатывают сложные профили в твердых и хрупких материалах (тантал, молибден, алмаз, стекло, фарфор и т.д.), при этом обеспечивается 6-7 квалитет точности и шероховатость  $Ra=0,16-0,04$ .

Ультразвуковая обработка основана на применении ультразвуковой колебательной установки, в состав которой входят:

- источник энергии;
- преобразователь;
- трансформатор (концентратор);
- опоры и корпус;
- рабочий инструмент, который создает ультразвуковое поле в обрабатываемом объекте или непосредственно воздействует на него.

Главный показатель ультразвуковой колебательной системы – это резонансная частота [3, 4]. Применение технологических процессов с использованием колебательной установки основано на получении наибольших значений амплитуд ультразвуковых волн, возникающих на резонансных частотах.

Основными преимуществами ультразвуковой обработки являются:

- применение высокопроизводительной обработки материалов;
- повышение износостойкости и прочности металлорежущего инструмента;
- высокий уровень производительности.

К основным недостаткам ультразвуковой обработки относятся:

- сокращение производительности рабочих;
- малая глубина обработки;
- ухудшению состояния окружающей среды и воздуха активной зоны;
- негативное влияние на человеческий организм. При интенсивном воздействии ультразвуковой установки у работников, работающих, рядом с ней наблюдаются отклонения в центральной нервной и периферической системе, а также сердечно-сосудистой и эндокринной системах.

**Заключение.** Таким образом, ультразвуковая обработка является высокоэффективным технологическим процессом для повышения точности и ресурса машиностроительных деталей. Данный метод обеспечивает обработку сложнопрофильных поверхностей в твердых и хрупких материалах с достижением высоких показателей качества [5].

Дальнейшее развитие ультразвуковых технологий, в частности, автоматизация процессов и совершенствование средств защиты персонала, позволит расширить область их применения и в значительной степени способствовать решению задач повышения качества и долговечности машиностроительной продукции.

### Список литературы:

1. Алтунин, К. А. Концепция создания информационного обеспечения интеллектуальной системы автоматизированного проектирования процессов резания в технологии машиностроения: монография /К. А. Алтунин, М. В. Соколов — Тамбов: Студия печати Павла Золотова, 2015. — 112 с.
2. Казанцев, В.Ф. Ультразвуковое поверхностное пластическое деформирование: научная статья / Б.А. Кудряшов, Р.И. Нигметэязнов, В.М. Приходько, Д.С. Фатюхин – Москва, 2009. – С. 2
3. Fast Magnetic Abrasive Finishing with Diffusionally Alloyed Powder / F. I. Panteleenko [et al.] // Russian Engineering Research. – 2023. – Vol. 43. – P. 470–473. <https://doi.org/10.3103/S1068798X23050179>
4. Magnetic Abrasive Machining of Hard Workpieces by New Diffusion-Alloyed Materials / J. Olt [et al.] // Russian Engineering Research. – 2023. – Vol. 43. – P. 190–194. <https://doi.org/10.3103/S1068798X23030243>
5. Невзорова, А. Б. Методология разработки интегрированного информационно-строительного проекта с использованием BIM-технологий / А. Б. Невзорова, Н. С. Савков // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2024. – № 1 (133). – С. 85–94.

УДК

### МЕТОДЫ БОРЬБЫ С КАРБОНАТНЫМИ СОЛЕОТЛОЖЕНИЯМИ НА СКВАЖИННОМ ОБОРУДОВАНИИ

Северин Д.Д. (студент гр.НР-31)

*Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Проблема карбонатных солеотложений (в основном карбонатов кальция  $\text{CaCO}_3$  и магния  $\text{MgCO}_3$ ) является одной из наиболее распространённых причин снижения производительности нефтяных и газовых скважин. Их образование связано с изменением термобарических условий и химического состава пластовых флюидов, что приводит к нарушению карбонатного равновесия и выпадению солей в осадок. Отложения снижают проходные сечения труб, увеличивают нагрузку на оборудование, приводят к частым остановкам на ремонт и существенным экономическим потерям.

**Цель работы** - анализ современных и перспективных методов предотвращения и удаления карбонатных солеотложений на скважинном оборудовании.

Современные методы борьбы с карбонатными отложениями включают комплекс профилактических мер и технологий удаления уже сформированных отложений. Среди профилактических методов химическое

ингибирование зарекомендовало себя как наиболее эффективное направление. Оно основано на применении специальных реагентов-диспергантов на основе полиакрилатов, которые предотвращают агрегацию кристаллов карбонатов, сохраняя их во взвешенном состоянии в потоке жидкости. Комплексоны, такие как ЭДТА и лимонная кислота, образуют устойчивые соединения с ионами кальция и магния, не допуская их выпадения в осадок. Особое место занимают ингибиторы кристаллизации фосфонатного типа, которые адсорбируются на активных центрах растущих кристаллов, искажая их кристаллическую решётку и препятствуя формированию плотных отложений.

Технологические методы профилактики включают поддержание давления в системе выше точки кристаллизации солей, что требует точного знания термобарических характеристик пластового флюида и использования систем непрерывного мониторинга. Оптимизация дебита скважин позволяет минимизировать зоны турбулентности, где наиболее интенсивно происходит образование отложений. Системный мониторинг химического состава пластовых вод с использованием современных методов аналитического контроля позволяет прогнозировать солеобразование и своевременно корректировать профилактические мероприятия.

Для удаления существующих отложений применяются химические и механические методы. Химическая очистка включает кислотные составы, где соляная кислота демонстрирует высокую эффективность при значительных отложениях, а уксусная кислота предпочтительна для работ в чувствительных к коррозии системах. Щелочные растворы используются для преобразования карбонатных отложений в более растворимые формы, а комплексоны обеспечивают селективное растворение солей без риска коррозии оборудования. Особое внимание уделяется разработке композиционных реагентов, сочетающих растворяющие и защитные свойства.

Механические способы включают скребковую очистку с использованием современных материалов, обеспечивающих эффективное удаление отложений без повреждения оборудования. Гидродинамическая промывка с регулируемым давлением и специализированными промывочными жидкостями позволяет очищать сложные участки системы. Ультразвуковая обработка основана на кавитационном воздействии, разрушающем кристаллическую структуру отложений. Каждый из методов имеет свои преимущества: химические способы обеспечивают глубинную очистку, а механические - быстрый результат при локальных отложениях.

Сравнительный анализ показывает, что химические методы демонстрируют эффективность до 85-90% при условии правильного подбора реагентов и режимов обработки. Однако их применение требует тщательного предварительного исследования состава отложений и коррозионной активности реагентов. Механические способы обеспечивают немедленный результат, но не предотвращают повторное образование отложений и могут требовать остановки технологического процесса. Технологические методы

отличаются экономичностью, но имеют ограниченную область применения, что требует индивидуального подхода к выбору технологии для конкретных условий эксплуатации, включая характеристики пластового флюида, конструкционные материалы оборудования и экономические показатели.

**Заключение.** Наиболее перспективным направлением представляется комбинированный подход, сочетающий постоянное химическое ингибирование, регулярный мониторинг параметров работы скважины и периодические механические очистки. Оптимальная стратегия борьбы с карбонатными отложениями должна разрабатываться индивидуально для каждой скважины с учётом характеристик пластового флюида и условий эксплуатации. Дальнейшие исследования следует направить на разработку новых реагентов-ингибиторов с улучшенными экологическими характеристиками и пролонгированным действием.

**Благодарность.** *Выражаю признательность научному руководителю старшему преподавателю кафедры «НГРиГПА» Шепелевой Ирине Сергеевне за консультацию и помощь при написании данной работы.*

#### **Список литературы**

1. Леонтьев С.А. Физико-химические процессы при добыче нефти и газа. - М.: Недра, 2020.
2. Петров Н.А. Современные методы борьбы с солеотложениями // Нефтяное хозяйство. - 2022. - № 5. - С. 78-82.
3. Чжан, Л. Современные методы интеллектуального мониторинга промышленного оборудования / Л. Чжан // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2025. – № 4. – С. 130–141

УДК 621.865.8

## **ПРОГРАММИРУЕМЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РОБОТАХ**

**Серафимович А.В., (студент, гр. РТ-41)**

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Современные робототехнические системы всё более интегрированы в промышленность, медицину, транспорт и другие сферы деятельности. Исследование новых методов программирования и оптимизации таких контроллеров позволяет повысить производительность, безопасность и адаптивность роботов. В рамках данной работы предлагается рассмотреть современные тенденции и разработки в области

программируемых контроллеров, а также выявить возможности их дальнейшего развития и применения.

**Цель работы** – создание комплексной классификации современных программируемых контроллеров, используемых в робототехнике, а также выявление их характеристик, особенностей и перспектив развития. В рамках исследования планируется определить основные типы контроллеров, их преимущества и недостатки в различных областях применения, а также предложить рекомендации по выбору оптимальных решений для конкретных задач. Кроме того, важной задачей является анализ тенденций в развитии технологий программируемых контроллеров и разработка предложений по их усовершенствованию.

**Анализ полученных результатов.** В ходе работы были изучены различные типы контроллеров: от простых логических устройств до сложных систем на базе ПЛК и встроенных микроконтроллеров. Основные мероприятия включали анализ технических характеристик, методов программирования и областей применения. В результате проведённого анализа удалось выделить три основные группы контроллеров: промышленные программируемые логические контроллеры (ПЛК), встроенные микроконтроллеры и специализированные контроллеры для роботов.

Было выявлено, что выбор конкретного типа контроллера зависит от требований к скорости обработки данных, уровню автоматизации, условиям эксплуатации. Например, для задач высокой надёжности и быстродействия предпочтительны промышленные ПЛК, тогда как для небольших роботов или прототипов — встроенные микроконтроллеры. Специализированные контроллеры, в свою очередь, находят применение в сложных робототехнических системах с необходимостью интеграции с системами искусственного интеллекта и обработки больших объёмов данных.

Также было установлено, что современные тенденции в развитии программируемых контроллеров связаны с внедрением технологий IoT, расширением возможностей по программированию с использованием графических и текстовых языков, а также развитием систем самонастройки и самодиагностики. Важным аспектом является интеграция контроллеров с системами машинного обучения и искусственного интеллекта, что позволяет повысить адаптивность и автономность роботов.

**Заключение.** В результате исследования было установлено, что современные программируемые контроллеры являются ключевыми компонентами в системах автоматизации и робототехники. Их правильный выбор и программирование позволяют значительно повысить эффективность работы роботов, обеспечить их гибкость и надёжность. Перспективными направлениями развития являются внедрение в контроллеры элементов искусственного интеллекта, расширение возможностей по адаптации к

изменяющимся условиям эксплуатации и повышение уровня интеграции с системами связи и обработки данных.



Рисунок 1 - Программируемый логический контроллер (микро ПЛК)

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю профессору Михайлову М.И., за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

**Список литературы:**

Я. Иванов, "Промышленные контроллеры и системы автоматизации", Москва: Техносфера, 2020.

Е. Петрова, "Программирование ПЛК для робототехнических систем", Москва: Машиностроение, 2021.

УДК 621.865.8

## РОБОТЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТРУБ

**Смирнов Н.А. , (студент, гр. РТ-41)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Современные трубопроводные системы - основа инфраструктуры в энергетике, водоснабжении, нефтегазовой отрасли и коммунальном хозяйстве. Их надежность напрямую влияет на безопасность и экономическую эффективность. Однако традиционные методы диагностики требуют остановки работы, демонтажа участков и значительных затрат. Роботы для диагностики труб позволяют проводить обследование без вскрытия и остановки, повышая точность и снижая риски.

**Цель работы.** Исследовать современные технологии роботизированной диагностики трубопроводов, выявить ключевые проблемы и проанализировать решения, предлагаемые ведущими компаниями. Объект исследования - роботизированные системы диагностики труб. Предмет -

методы движения, сенсорные технологии, алгоритмы анализа дефектов. Методы - сравнительный анализ, патентный обзор, техническая классификация.

### **Основные проблемы в сфере диагностики труб.**

\* **Пройодимость сложных участков:** изгибы, тройники, переменные диаметры.

\* **Низкая точность при загрязнении:** отложения мешают сенсорам.

\* **Ограниченная автономность:** сложность работы на больших участках без подзарядки.

\* **Агрессивные среды:** высокая температура, давление, химическая активность.

\* **Высокая стоимость решений:** ограничивает массовое внедрение.

### **Обзор решений от компаний**

<b>Компания / Центр</b>	<b>Проблема, которую решают</b>	<b>Технология / Подход</b>	<b>Преимущества</b>
<b>Пермский Политех</b>	Пройодимость криволинейных труб	Метод управления движением	Повышение точности и скорости
<b>TUBOT (Роснано)</b>	Диагностика и ремонт	Модульные роботы, адаптация к диаметрам	Снижение затрат, интеграция функций
<b>TARIS</b>	Видеодиагностика	Камеры высокого разрешения	Раннее выявление дефектов
<b>Inuktun (Канада)</b>	Универсальность	Роботы с гусеничным приводом	Работа в трубах от 100 мм
<b>GE Inspection Robotics</b>	Автоматизация анализа	Машинное зрение и ИИ	Быстрая обработка больших объёмов

### **Анализ результатов**

- Российские разработки (Пермский Политех, TUBOT) ориентированы на адаптацию к инфраструктуре и снижение стоимости.

- Зарубежные компании делают ставку на универсальность и интеллектуальный анализ.
- Совмещение диагностики и ремонта - перспективное направление, позволяющее сократить время простоя.

### **Заключение**

Роботы для диагностики труб - ключевой элемент цифровизации инфраструктуры. Их развитие позволяет повысить безопасность, сократить затраты и перейти к предиктивному обслуживанию. В будущем ожидается интеграция с цифровыми двойниками и автоматизированными системами управления.

**Благодарность.** Выражаю признательность научному руководителю Михайлову Михаилу Иванович, профессору, зав. кафедры, за консультации и помощь при подготовке данного доклада.

### **Список литературы**

1. Патент РФ № [671230] – Метод управления роботом в криволинейных трубах
2. Официальный сайт TUBOT – <https://tubot.ru>
3. GE Inspection Robotics – <https://inspection-robotics.com>
4. Егоров И. Н., Кадхим Д. А. Применение мобильных роботов при внутритрубной диагностике трубопроводов с переменным поперечным сечением //Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2011. – №. 3. – С. 73-83.
5. Невзорова, А. Б. Разработка концепции управления рисками загрязнения окружающей среды на объектах транспортирования нефти / А. Б. Невзорова, В. В. Невзоров, Сюэ Пэн // Надежность и безопасность транспортирования, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов: эл. сб. тез. докл. XI Междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти д-ра техн. наук, проф. Владимира Константиновича Липского, Новополоцк, 27–28 нояб. 2025 г. / Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой; редкол.: Г. Г. Васильев (пред.) [и др.]. – Новополоцк, 2025. – С. 138.

УДК 616.1

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКОЙ БЛЯШКИ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СТЕНКИ АРТЕРИИ ПРИ РАСКРЫТИЯ СТЕНТА**

**Старовойтов А.П., (студент, гр. ТТ–11)**

*Гомельский государственный университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Сердечно-сосудистые заболевания являются основной причиной смертности во всем мире. Ишемическая болезнь сердца (ИБС) вызывается атеросклерозом – атеросклеротическими бляшками под эндотелием, которые приводят к нарушению структуры и функции артерий. По мере прогрессирования атеросклероза артериальная стенка становится более толстой и жесткой, в то время как кровоток в коронарных артериях затруднен. Для восстановления нормального кровотока применяются стентирование, при котором устраняются стенозы — сужения сосудов, ограничивающие кровоток к сердечной мышце. Этот метод предполагает введение в артерию специального устройства – стента, которое позволяет удерживать стенки сосуда открытыми и восстанавливать проходимость.

Стенты улучшают клинические результаты лечения ИБС, но при этом могут возникнуть проблемы, связанные с артерией – локальное повреждение, вызванное установкой стента, может привести к чрезмерному росту тканей и рестенозу внутри стента, а также к риску тромбоза стента.

**Цель работы** – исследование влияния состояния атеросклеротической бляшки на напряженное состояние стенки артерии при раскрытии стента. Расчет напряжений и деформаций в артерии и стенте проводили при помощи метода конечных элементов.

Коронарная артерия была смоделирована в виде цилиндра и осесимметричной бляшки. Длина артерии составила 17,0 мм, внутренний диаметр - 2,7 мм, общая толщина стенки – 0,5 мм; длина стеноза и максимальная толщина бляшки в среднем поперечном сечении составляли 6,5 и 0,4 мм соответственно. Модель артерии была структурно разделена на три слоя: интима, медиа и адвентиция. Толщина слоев составила 0,145 мм, 0,165 мм и 0,190 мм соответственно. Предполагали, что артерия и бляшка изотропны и гиперупруги. Для описания механического поведения артерии приняли модель Огдена. Значения параметров модели Огдена для слоев артерии приняли в соответствии с работой [1].

Рассматривали два варианта состояния атеросклеротической бляшки – кальцифицированную с упругим поведением материала и стенозированную с нелинейным упругим поведением, свойства которой описывались по модели Муни-Ривлина [2].

**Анализ полученных результатов.** В результате расчётов получены значения напряжений и деформаций в слоях стенки артерии и стенте.

В случае стенозированной бляшки, независимо от применяемых при моделировании конструкций стентов, она будет раздавлена при раскрытии стента. Локальные эквивалентные напряжения достигают 5-11 МПа в местах контакта стента и артерии. В кальцинированной бляшке эквивалентные напряжения не превышают 0,8 – 1,6 МПа, бляшка не повреждаясь вдавливается в стенку артерии. На рисунке показано деформированное состояние артерии и стента.

Напряжения в интима при стенозированной бляшке 0,5-1,26 МПа, при кальцинированной – значительно ниже и составляет 0,11–0,13 МПа. Этот слой не будет поврежден при использовании стента выбранной конструкции. Для меди и адвентиции состояние бляшки не так существенно – значение эквивалентных напряжений 0,13–0,46 МПа и 0,02–0,1 МПа соответственно.

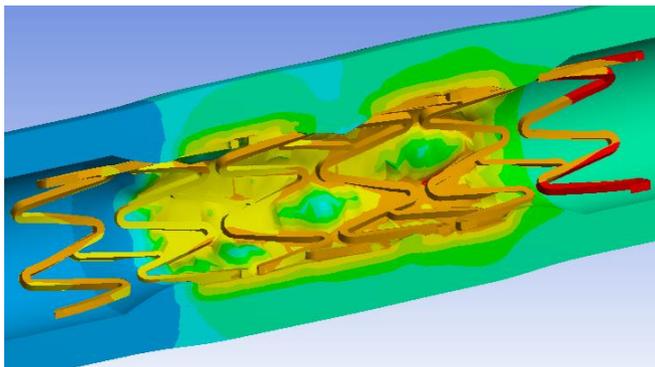


Рисунок – Деформированное состояние артерии и стента.

**Заключение.** Проведено численное моделирование воздействия стента на артериальную стенку в результате стентирования. Показано, уровень локальных напряжений в слоях артерии и атеросклеротической бляшке зависит от состояния самой бляшки. При этом для меди и адвентиции состояние бляшки менее выражено.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Столярову А.И. за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

### Список литературы

1. Hilary E. Barrett, Kim Van der Heiden, Eric Farrell, Frank J.H. Gijssen, Ali C. Akyildiz. Calcifications in atherosclerotic plaques and impact on plaque biomechanics, *Journal of Biomechanics*, Volume 87, 2019, Pages 1-12.
2. Zahedmanesh H., Kelly D., Lally C. (2010) Simulation of a balloon expandable stent in a realistic coronary artery; Determination of the optimum modelling strategy, *Journal of Biomechanics*, Vol.43, pp.2126–2132.

## РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТЕЛЛАЖА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ПРУТКОВ

Старовойтов И.П., (студент, гр. ТТ–11)

*Гомельский государственный университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Для временного хранения на рабочем месте и межоперационного транспортирования заготовок (металлопроката) и обработанных деталей применяются различного вида стеллажи. Например, прутковый материал хранится горизонтально в штабелях, стойках, клеточных и крючковых стеллажах. При проектировании стеллажей необходимо обеспечить прочность, жесткость и устойчивость как конструкции в целом, так и её отдельных элементов при эксплуатации. Также конструкция используемых стеллажей определяется видом подъемно-транспортных средств, используемых в цехе или складе.

**Цель работы** – расчет напряженно-деформированного состояния элементов стеллажа для хранения прутков. Конструкция стеллажа показана на рисунке 1.

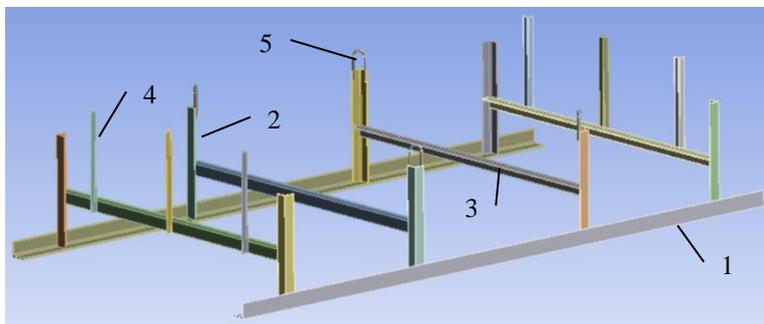


Рисунок 1 – Стеллаж

1 – подпятник, 2 – стойка, 3 – полка, 4 – перегородка, 5 – проушина

Элементы конструкции стеллажа выполнены из стандартных равнобоких уголков ГОСТ 8509: подпятник 1 –  $70 \times 70 \times 7$ ; стойка 2 и полка 3 –  $50 \times 50 \times 5$ , перегородка 4 –  $30 \times 30 \times 3$ . Конструкция стеллажа – сварная. Габариты стеллажа  $720 \times 1520 \times 3000$  мм. Стеллаж предназначен для размещения прутков Круг  $20 \times 6000$ . Общая масса прутков на полке стеллажа  $\approx 100$  кг. Для перемещения стеллажа предусмотрены проушины 5.

Расчёт НДС элементов конструкции стеллажа проводили при помощи метода конечных элементов. Исходные данные для расчета были приняты следующие: механические свойства материала элементов стеллажа – модуль

упругости  $E=2 \cdot 10^5$  МПа, коэффициент Пуассона  $\mu=0,3$ , плотность  $\rho=7800$  кг/м<sup>3</sup>, предел текучести  $\sigma_t=220$  МПа, предел прочности при растяжении  $\sigma_b=445$  МПа; коэффициент надежности по нагрузке приняли равным 1,05 [1]. Рассматривали два варианта нагружения стеллажа: действие веса груза на полку стеллажа при его расположении на жестком основании (вариант 1) и гравитационное воздействие на проушины крепления к стойкам стеллажа при его перемещении с грузом (вариант 2). Проверку прочности, устойчивости и жесткости элементов стеллажа выполняли в соответствии с методикой [2], при этом коэффициент запаса прочности по пределу текучести должен быть не менее 1,25, коэффициент запаса устойчивости – не менее 1,3. Прогиб балки от сил тяжести номинальных грузов в их нормативном значении не должен быть более 1/200 пролета этой балки. Для рассматриваемой конструкции стеллажа прогиб не должен превышать 7,5 мм.

**Анализ полученных результатов.** В результате расчётов получены значения напряжений и деформаций в элементах стеллажа.

При расчёте по варианту 1 наибольшее значение эквивалентных напряжений  $\sigma_{эКВ}$  наблюдается в месте крепления полки к стойке и достигает 24 МПа. Наибольший прогиб полки в центральной части составляет 0,33 мм, что значительно меньше нормативной величины.

По варианту 2 зона наибольших напряжений локализована в месте крепления проушин к стойкам стеллажа. Величина напряжений  $\sigma_{эКВ}$  достигает уровня 38-50 МПа. Наибольший прогиб крайних полок достигает  $\approx 2$  мм, что вызвано дополнительным перемещением внешних стоек стеллажа внутрь конструкции.

**Заключение.** В результате проведённых расчетов установлено, что уровень напряжений не превышает предела прочности, также обеспечивается достаточная жесткость конструкции стеллажа.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Столярову А.И. за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

### **Список литературы**

1. ГОСТ 28766. Стеллажи. Основы расчёта.
2. ТКП 45-5.04-274-2012 (02250) Стальные конструкции. Правила расчета.
3. Shimanovsky A, Putsiata A, Kolomnikova O. Modeling of vehicle dynamics considering load relative movement. // Acta Mechanica Slovaca/ - 2008. - №12(3). - С.691.
4. Невзорова А.Б., Савков Н.С. Методология разработки интегрированного информационно-строительного проекта с использованием BIM-технологий // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2024. – №1. С. – 85–94.

## МЕТОДИКА РАСЧЁТА ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС С ПРОГНОЗИРУЕМЫМ СРОКОМ СЛУЖБЫ

Стасенко Т. Д. (магистрант, гр. ММ-11)

*Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Прогнозирование износа рабочей поверхности зубчатых колес является необходимостью для обеспечения надёжной эксплуатации машин. Также это важно в для корректирования параметров зубчатой передачи до этапа производства.

**Цель работы** – разработка методики расчёта зубчатых колёс с прогнозируемым сроком службы.

Цилиндрические эвольвентные передачи весьма чувствительны к погрешностям, которые вызывают кромочный контакт и повышенные напряжения. С целью ослабления или исключения торцевого кромочного контакта используют продольную модификацию рабочих поверхностей зубьев (обычно одного из пары колес), придавая им слегка бочкообразную форму. При наличии технологических погрешностей и деформаций деталей происходит перекатывание поверхностей таких зубьев в продольном направлении с перемещением контактной площадки в сторону одного из торцов зубчатого венца. Учитывая, что бочкообразные зубья работают в условиях локального контакта (объемного напряженного деформированного состояния), то изгибные напряжения в основании зубьев, выполненных на базе стандартного исходного контура, можно рассчитать.

Особый подход к расчету изнашиваемых кинематических пар содержится в работах В.В. Шульца, в которых на основании вариационных методов определены устойчивые формы естественного износа, обладающие свойством энергетического экстремума в заданном относительном движении. Расчеты передач на износ производятся с целью определения ресурса работы или стыкования конструктивных параметров передачи, при которых он имеет максимальное значение.

Суть моделирования основывается на положениях упруго-статической модели, успешно применяемой при синтезе приближенных зацеплений. В соответствии с этой моделью предполагается, что все зубья геометрически одинаковы и равномерно распределены по ободу колеса, контакт зубьев осуществляется по активным поверхностям, под нагрузкой зубья колес деформируются и их упругие свойства одинаковы, пластические деформации отсутствуют. Дополнительно приняты следующие допущения: а) зубья каждого колеса изнашиваются одинаково; б) условия работы передачи, такие как температура окружающей среды, свойства смазывающего материала,

концентрация и свойства абразивных частиц и т. д. считаются неизменными; в) к выходному валу приложен постоянный момент сопротивления; г) шестерня вращается с постоянной угловой скоростью; д) частота вращения шестерни достаточно мала, чтобы динамическими нагрузками, обусловленными неравномерностью вращения колеса, можно было пренебречь; е) износ считается достаточно малым, чтобы можно было не учитывать изменения упругих свойств зубьев; ж) трение в зацеплении не учитывается.

В основе эволюционного подхода к моделированию лежит деление процесса изнашивания на ряд шагов. Изменение наработки на каждом шаге выбирается настолько малым, что в его пределах условия изнашивания можно считать постоянными. Отсюда следует, что приращение износа можно считать постоянным и в любой точке профиля с достаточной степенью точности можно определить расчётом. Суммарный износ зубьев в контактной точке определяется износом зуба шестерни и колеса. Каждое из этих слагаемых представляет собой сумму основного износа, обусловленного кинематикой зацепления, и дополнительного износа вследствие относительного смещения зубьев из-за радиального биения зубчатых колес. Суммарный износ зубьев шестерни и колеса в контактной точке прямо пропорционален значениям удельной мощности сил трения.

**Заключение.** В результате проведенной работы предложена методика для определения износов рабочих поверхностей зубчатых колёс и определены их численные значения, по которым можно прогнозировать ресурс работы.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Стасенко Дмитрию Леонидовичу, к.т.н., доцент, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

### **Список литературы**

1. Стасенко, Т. Д., Стасенко Д. Л. Моделирование износа на рабочих поверхностях зубчатых колес / Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сб. науч. ст. 7-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ч. 2. – Гомель : Гомсельмаш, 2023. – С. 211–215.

2. Стасенко, Т. Д. Модернизация средствами T-FLEX технологии производства зубчатых колес на ОАО «Гомсельмаш» / Т. Д. Стасенко, Д. Л. Стасенко // Инновационное станкостроение, технологии и инструмент: материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 30 нояб. 2023 г. / М-во пром-сти Респ. Беларусь [и др.]; под общ. ред. М. И. Михайлова. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 97–99.

**ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЙ УЛАВЛИВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ CO<sub>2</sub>  
В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ  
НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

**Сыбатова К.С. (студентка, гр. ТЭ-41)**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П.О. Сухого, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Выбросы углекислого газа и других парниковых газов, возникающие в результате деятельности нефтегазовой отрасли, оказывают значительное влияние на изменение климата. В связи с ужесточением климатических требований и необходимостью выполнения обязательств по снижению парникового эффекта, задача снижения выбросов CO<sub>2</sub> в указанном секторе становится одной из приоритетных. Вместе с тем развитие и внедрение эффективных технологий улавливания, транспортировки, использования и хранения углекислого газа (CCUS) в Республике Беларусь приобретает особую важность для обеспечения устойчивого и экологически безопасного развития отрасли.

**Цель работы** - анализ и обоснование перспективных технологий утилизации углекислого газа в нефтяной отрасли Республики Беларусь с акцентом на методы CCUS, включающие до- и послесжигание углеводородного сырья, а также технологию кислородно-топливных циклов.

**Анализ полученных результатов.** На сегодняшний день к наиболее перспективным методам и технологиям по утилизации углекислого газа для внедрения на территории Республики Беларусь можно отнести: технологии CCUS, формирование комплексных промышленных объединений по утилизации и переработке углекислого газа.

CCUS представляет собой комплекс методов по улавливанию выбросов углекислого газа (CO<sub>2</sub>) с последующим использованием или долговременным хранением для снижения выбросов парниковых газов и борьбы с глобальным потеплением. Основной целью политики продвижения технологий улавливания и хранения углерода является ускорение развития и принятия CCUS-технологий на мировом уровне. Это достигается через создание благоприятной инвестиционной среды, обеспечение финансовой поддержки и стимулов для исследований и разработок в этой области, а также разработку соответствующих регуляторных и правовых рамок [1].

Различают 3 типа технологий улавливания углекислого газа: до сжигания углеводородного сырья; после сжигания углеводородного сырья; с помощью технологии кислородно-топливных технологических циклов.

Технология улавливания углекислого газа до сжигания углеводородного сырья заключается в отделении CO<sub>2</sub> из сырья, например природного газа или

угля, перед их сжиганием. Этот процесс обычно включает преобразование углеводородного сырья в синтез-газ (смесь водорода и оксида углерода), затем оксид углерода преобразуют в  $\text{CO}_2$  и водород, после чего  $\text{CO}_2$  отделяется и улавливается, а водород используется как чистое топливо.

Технология улавливания углекислого газа происходит после сжигания топлива в первичном процессе [2], подразумевает извлечение  $\text{CO}_2$  из дымовых газов электростанций или промышленных установок после сгорания топлива, таких как природный газ или уголь. Этот метод использует абсорбенты, например, аминовые растворы (моноэтаноламин), для химического связывания  $\text{CO}_2$  при низком давлении, после чего газ регенерируется нагревом для хранения или утилизации.

Технология кислородно-топливных циклов подразумевает сжигание топлива в чистом кислороде вместо воздуха, что приводит к образованию выхлопных газов, состоящих преимущественно из  $\text{CO}_2$  и водяного пара, упрощая улавливание углекислого газа без разделения азота. Это позволяет достигать высокого уровня захвата  $\text{CO}_2$  (до 90–100%) за счет конденсации пара и последующей компрессии газа.

Перспективы использования CCUS в нефтяной отрасли тесно связаны с развитием интегрированных схем улавливания и хранения  $\text{CO}_2$  наряду с технологиями добычи с улучшенным нефтеизвлечением (Enhanced Oil Recovery, EOR). Применение  $\text{CO}_2$  для EOR не только увеличивает добычу нефти, но и обеспечивает долговременное хранение значительных объемов углекислого газа в пористых пластах под землей, что снижает его концентрацию в атмосфере.

**Заключение.** Таким образом, внедрение технологий улавливания, использования и хранения углерода обеспечивает устойчивое развитие нефтегазового сектора Республики Беларусь, формирует механизмы адаптации к международным экологическим стандартам, способствует достижению климатических целей страны, минимизации парниковых выбросов и переходу к принципам низкоуглеродной экономики.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Рудченко Галине Анатольевне, кандидату экономических наук, доценту, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

### **Литература**

1. Улавливание, использование и хранение углерода (CCUS) / Организация Объединенных Наций. – URL: [https://unece.org/sites/default/files/2021-02/CCUS%20brochure\\_RU\\_final.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2021-02/CCUS%20brochure_RU_final.pdf) (дата обращения: 28.11.2025).

2. Малышев, В. П. Варианты формирования комплексных промышленных объединений по утилизации и переработке углекислого газа в продукты крупнотоннажной химии / В. П. Малышев., О. В. Виноградов, И. А. Родионов // Технологии гражданской безопасности. – 2022. – Т. 19, №1. – С. 31–35.

## СОКРАЩЕНИЕ ОБЪЕМА ПОПУТНО ДОБЫВАЕМОЙ ВОДЫ И ЗАКАЧКА ЕЕ В ПЛАСТ

Сыч В.О., (студент, гр. НР-51)

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** На поздних стадиях разработки нефтяных месторождений одной из ключевых проблем становится резкое увеличение обводненности добываемой продукции [1]. Высокое содержание попутно добываемой воды приводит к значительным затратам на ее подготовку, транспортировку и утилизацию, а также к снижению производительности скважин и увеличению энергопотребления установок электроцентробежных насосов (УЭЦН). Экономические последствия высокой обводненности продукции многогранны и включают в себя не только прямые затраты на сепарацию, очистку и транспортировку больших объемов воды, но и косвенные потери, связанные с сокращением межремонтного периода оборудования, увеличением коррозии трубопроводов и эксплуатационных рисков [2, 3]. Кроме того, экологический аспект проблемы предполагает необходимость безопасной утилизации попутных вод, что требует значительных капитальных и операционных расходов [4].

В этих условиях актуальной задачей является разработка технологий, направленных на сокращение объема добываемой воды и эффективное использование пластовой системы путем ее закачки обратно в продуктивный или специальный поглощающий пласт для поддержания пластового давления [5]. Эффективное управление водными ресурсами месторождения становится не только экологическим императивом, но и ключевым фактором экономической устойчивости проекта.

**Цель работы** – разработка подходов к сокращению объема попутно добываемой воды и оптимизация системы ее закачки в пласт для повышения эффективности разработки месторождения.

**Анализ полученных результатов.** Анализ показывает, что традиционные методы борьбы с обводненностью, такие как изоляция водопритоков или механическое отключение обводненных интервалов, не всегда эффективны и могут быть капиталоемкими. Перспективным направлением является комплексный подход, включающий:

**1. Селективный контроль обводненности** на основе данных геолого-гидродинамического моделирования для точного определения интервалов водопритока.

2. **Оптимизацию работы добывающих скважин**, оборудованных УЭЦН, с целью минимизации депрессии на пласт и предотвращения конусообразования подошвенных вод.

3. **Создание замкнутой системы управления пластовой энергией**, при которой попутно добываемая вода после необходимой подготовки (очистки от механических примесей и дегазации) закачивается в нагнетательные скважины.

Основной технической проблемой при реализации данной схемы является необходимость согласованного управления работой добывающего и нагнетательного оборудования. Для этого предлагается использовать адаптивную математическую модель системы «добывающая скважина – система подготовки – нагнетательная скважина».

Модель включает: уравнения притока жидкости к добывающей скважине, модель работы УЭЦН с учетом влияния вязкости жидкости на характеристики насоса, уравнения фильтрации в призабойной зоне нагнетательной скважины, алгоритм управления производительностью насосного оборудования на основе данных о текущей обводненности и пластовом давлении.

Данный подход позволяет не только сократить объем добываемой воды и затраты на ее утилизацию, но и повысить нефтеотдачу пласта за счет поддержания пластового давления и более эффективного вытеснения нефти.

**Заключение.** Предложенный комплексный метод управления добычей и закачкой позволяет перевести проблему утилизации попутной воды в ресурс для повышения эффективности разработки месторождения. Внедрение такой системы обеспечит снижение эксплуатационных затрат, увеличение межремонтного периода оборудования добывающих скважин и рост конечного коэффициента извлечения нефти. Реализация данного подхода соответствует принципам рационального недропользования и устойчивого развития, обеспечивая как экономический, так и экологический эффект.

Дальнейшее развитие работы видится в углублении математической модели за счет учета более сложных физико-химических процессов, таких как образование отложений в призабойной зоне нагнетательных скважин, и интеграции методов машинного обучения для прогнозирования обводненности и оптимизации системы в условиях неопределенности исходных данных. Также перспективным является исследование совместимости закачиваемой воды с пластовой средой для предотвращения негативных последствий, таких как вспучивание глини и снижение проницаемости.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Невзоровой Алле Брониславовне, д.т.н.,*

*профессор, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

### **Список литературы**

1. Абдурашитов С.А., Индрупский И.М. Методы борьбы с обводнением нефтяных скважин. – М.: Недра, 2018. – 298 с.
2. Невзорова, АБ Общие подходы по управлению и планированию очистки пластовой воды/АБ Невзорова//Водоснабжение, химия и прикладная экология: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 20 марта 2025 г./М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. д-ра техн. наук, профессора ЕФ Кудиной.– Гомель: БелГУТ, 2025.–С. 187–190.
3. Невзорова, А. Б. Разработка концепции управления рисками загрязнения окружающей среды на объектах транспортирования нефти / А. Б. Невзорова, В. В. Невзоров, Сюэ Пэн // Надежность и безопасность транспортирования, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов: эл. сб. тез. докл. XI Междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти д-ра техн. наук, проф. Владимира Константиновича Липского, Новополоцк, 27–28 нояб. 2025 г. / Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой; редкол.: Г. Г. Васильев (пред.) [и др.]. – Новополоцк, 2025. – С. 138.
4. Войтехин О.Л. Апробация технологии PLUTON в условиях I–III пачек петриковских продуктивных отложений скважины 466g Речицкой / О. Л. Войтехин [и др.] // Нефтегазовый инжиниринг. – 2024. – № 1 (1). – С. 8–16.
- 5.

## **РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПОЧВЫ ОТ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДСОРБЕНТОВ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

**Сюэ Пэн (магистрант )**

*Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Добыча нефти и газа является важнейшим звеном в системе мирового энергоснабжения, однако этот процесс часто сопровождается серьезными экологическими проблемами, особенно загрязнением почвы и водоёмов [3]. При загрязнении почвы нефтепродуктами изменяются ее физические и химические свойства. Например, при разработке нефтяного месторождения каждая скважина оставляет около 1 тонны остаточной нефти с радиусом загрязнения 1000-2000 метров. В районах сильного загрязнения содержание нефти в почве может

достигать  $4,8 \times 10^4$  мг/кг –  $7,7 \times 10^4$  мг/кг. Нефтяные загрязнители могут закупоривать поры почвы, нарушая аэрацию и водопроницаемость [2]. Кроме того, токсичные компоненты нефти (ПАУ) могут накапливаться в пищевой цепи, представляя угрозу здоровью животных, растений и человека [1]. Поэтому разработка эффективных технологий рекультивации крайне важна, для того, чтобы избежать экологических рисков [4].

**Цель работы** — анализ применения и эффективности физико-химических методов рекультивации с целью предоставления теоретической поддержки и практических рекомендаций для управления охраной окружающей среды.

#### **Результаты работы.**

Методы физико-химической очистки используют физические процессы (такие как адсорбция и фильтрация) и химические реакции (такие как окисление и промывка) для удаления или разложения загрязняющих веществ.

Для рекультивации земельного покрова все чаще разрабатывают адсорбенты на основе природного сырья. Рассмотрим некоторые из них.

**Фильтрующий материал из скорлупы грецкого ореха** обладает высокой удельной площадью поверхности, олеофильности и механической прочностью. Скорлупу грецкого ореха обезжиривают и измельчают. Просеянную скорлупу грецкого ореха (размер частиц 0,8 ~ 1,4 мм) кипятят в деионизированной воде в течение 30 минут, затем промывают несколько раз деионизированной водой до тех пор, пока промывочная жидкость не перестанет быть мутной. Затем ее сушат при температуре 110 °С в течение 2 часов, обрабатывают бисульфитом магния, а затем герметизируют для хранения. После того, как фильтрующий материал адсорбирует маслянистые вещества, он промывается обратной промывкой с использованием РО-блок жирной кислоты метилового эфира этоксилата (FMEE), сульфатов (FMES), этилендиаминди-о-фенилацетата натрия (EDDHA-Na) и октилфенолполиоксиэтиленового эфира (OP-8). Этот процесс контролирует утечку фильтрующего материала и продлевает срок его службы.

**Адсорбенты на основе угля** используют в качестве адсорбентов для очистки загрязненных нефтью почв, обеспечивают удаление нефтепродуктов на уровне 65–70% при оптимальных условиях (размер частиц <100 мкм, соотношение добавления 1:5, температура 60 °С, интенсивность перемешивания 600 об/мин). Пористая структура и активные центры поверхности угля повышают адсорбционную способность, однако необходимо тщательно продумать регенерацию после насыщения адсорбции.

**Адсорбент из биомассы** : используя стебли кукурузы в качестве сырья, получают супергидрофобный и суперолеофильный порошок или гранулы из стеблей кукурузы путем пропитки золями ZnO и SiO<sub>2</sub> с последующей модификацией гексадецилтриметоксисилоном и фторированным силаном. Этот адсорбент может быть использован для разделения смесей нефть-вода. Эксперименты показывают, что эффективность адсорбента для нефти и воды

составляет 98,0% и 99,6% соответственно. Порошок из стеблей кукурузы после отделения масла может быть переработан после промывки ацетоном.

**Биовентилируемое компостирование** сочетает в себе физическую вентиляцию и химическую биодegradацию, что делает его эффективным методом рекультивации почв, загрязненных нефтепродуктами. После 45 дней обработки биовентилируемое компостирование достигло степени удаления более 64% для почвы, загрязненной дизельным топливом, и более 45% для почвы, загрязненной сырой нефтью. Ключевые факторы включают интенсивность вентиляции, температуру, влажность и добавление питательных веществ. Добавление дегидратированного активного ила или органических удобрений в качестве сырья для компоста обеспечивает питательными веществами микроорганизмы и способствует разложению; оптимальное соотношение компонентов смеси: загрязненная почва: компостное сырье = 7:3 (по сухому весу).

**Заключение.** Анализ фильтрационных технологий рекультивации и аэрированное компостирование загрязненной нефтяными продуктами почвы с применением адсорбентов природного происхождения, могут значительно повысить эффективность разделения нефти и воды и сочетают в себе физические и химические процессы для эффективного разложения нефтяных загрязнителей, достигая степени удаления более 60%.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Невзоровой Алле Брониславовне, д.т.н., профессору, за консультацию и помощь при написании данной работы.*

#### **Литература**

1. Канивец А. В. Применение минеральных сорбентов в очистке загрязнений нефтью (обзор) //Тр. Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2024. – Т. 21. – С. 110-117.
2. Li Ru,Wang Ende. Study on treatment of petroleum contaminated solid with cjal adsorption. Metal Mine. 2010. No 405. Pp. 159-161.
3. Войтехин О.Л. Апробация технологии PLUTON в условиях I–III пачек петриковских продуктивных отложений скважины 466g Речицкой / О. Л. Войтехин [и др.] // Нефтегазовый инжиниринг. – 2024. – № 1 (1). – С. 8–16.
4. Невзорова, А. Б. Разработка концепции управления рисками загрязнения окружающей среды на объектах транспортирования нефти / А. Б. Невзорова, В. В. Невзоров, Сюэ Пэн // Надежность и безопасность транспортирования, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов: эл. сб. тез. докл. XI Междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти д-ра техн. наук, проф. Владимира Константиновича Липского, Новополюцк, 27–28 нояб. 2025 г. / Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой; редкол.: Г. Г. Васильев (пред.) [и др.]. – Новополюцк, 2025. – С. 138.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ

Таран А.В. (студент, гр. ТЭ-41)

*Гомельский государственный технический университет  
имени П.О. Сухого, Республика Беларусь*

**Актуальность.** В условиях истощения легкодобываемых и роста доли трудноизвлекаемых запасов нефти, применение сверхкритических технологий (СКТ) приобретает особую актуальность для повышения коэффициента извлечения нефти и снижения энергозатрат на переработку тяжелых фракций. Указанные технологии способствуют декарбонизации производственных процессов в нефтяной отрасли, минимизации отходов, росту экологической устойчивости, что соответствует глобальным трендам.

**Цель работы** – анализ возможностей и перспектив применения сверхкритических технологий в нефтяной отрасли.

**Анализ полученных результатов.** СКТ представляют собой класс технологических процессов, основанных на использовании веществ в сверхкритическом состоянии – агрегатном состоянии, промежуточном между жидкостью и газом, которое реализуется при температурах и давлениях, превышающих критические параметры вещества. В этом состоянии сверхкритический флюид (СКФ) характеризуется высокой плотностью (близкой к жидкой фазе), низкой вязкостью и поверхностным натяжением, а также повышенной диффузностью (свойственной газам), что обеспечивает уникальную проникающую способность в пористые среды и селективную растворяющую способность, регулируемую изменением температуры и давления.

Принцип действия СКТ основан на термодинамических свойствах СКФ: при превышении критических параметров исчезает различие между жидкой и газовой фазами, формируя единую сверхтекучую среду с изменяющейся растворяющей способностью (от полярных до неполярных веществ). Процессы могут быть статическими (изотермическая выдержка в реакторе с последующим сбросом давления для регенерации флюида) или динамическими (непрерывный поток СКФ через экстрактор с фракционированной сепарацией). Наиболее распространенные СКФ – сверхкритический диоксид углерода, вода и пропан, обладающие экологической безопасностью благодаря рециркуляции (до 99%) и отсутствию токсичных остатков.

Преимущества СКТ включают следующие: *во-первых*, высокая эффективность массопереноса (коэффициент диффузии в 10–100 раз выше, чем у жидкостей); *во-вторых*, экологичность (исключение органических растворителей, минимизация отходов); *в-третьих*, возможность интеграции

с катализаторами для реакций апгрейдинга или синтеза. В научной литературе подчеркивается важность применения указанных технологий в повышении устойчивости производственных процессов в связи с возможностью оптимизировать выход целевых продуктов, снизить энергозатраты при управлении физико-химическими свойствами СКФ.

Сверхкритические технологии в нефтяной отрасли применяются преимущественно для повышения нефтеотдачи, переработки тяжелой нефти и экстракции углеводородов с использованием сверхкритического CO<sub>2</sub>, воды или других флюидов, что позволяет снижать вязкость нефти, улучшать извлечение и минимизировать коксование. На примере нефтегазового сектора США и Канады демонстрируется эффективность технологий сверхкритического CO<sub>2</sub> для увеличения нефтеотдачи зрелых месторождений, где их применение позволяет дополнительно извлекать до 25 % запасов. В перерабатывающей промышленности, как показывает опыт французской компании Seratech, сверхкритические растворители используются для производства высокоочищенных масел и разделения сложных химических смесей. Одновременно в энергетике Китая и ЕС технология сверхкритического водного окисления успешно применяется для экологически безопасной утилизации опасных органических отходов с эффективностью свыше 99,9%.

**Заключение.** Таким образом, сверхкритические технологии имеют значительный потенциал для трансформации нефтяной отрасли и смежных секторов промышленности, предлагая комплексное решение технологических и экологических задач. Их внедрение позволяет не только интенсифицировать добычу и переработку углеводородов, но и формировать новые стандарты экологической безопасности через утилизацию отходов и сокращение углеродного следа. Универсальность методов, подтвержденная международным опытом, создает основу для межотраслевой синергии, где решения, отработанные в нефтегазовой сфере, становятся драйверами инноваций в энергетике, химической промышленности и защите окружающей среды.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Рудченко Галине Анатольевне, кандидату экономических наук, доценту, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

### **Литература**

1. Перспективы применения сверхкритического флюида в технологии упрочняющей обработки поверхностей деталей машин / Р. С. Коротков, С. В. Агеев, Ш. Р. Шайдулин, Д. Р. Абдулганиев // Наноиндустрия. – 2020. – № 6. – С. 516–523. – URL: <https://www.nanoindustry.su/journal/article/6966>

(дата обращения: 23.05.2024).

2. Использование сверхкритических флюидов в нефтепереработке / Е. И. Иманбаев, А. К. Серикказинова, Д. Мукталы [и др.] // Вестник

**УДК 37**

## **ПОВЫШЕНИЕ ИНТЕРЕСА СТУДЕНТОВ В ЛЕКЦИЯХ ПО ФИЗИКЕ (ОПТИКА) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Тачмухаммедова О. Б., (преподаватель)**

*Государственный энергетический институт Туркменистана,  
г.Мары, Туркменистан.*

Современное образование в сфере физики сталкивается с несколькими вызовами: от недостатка вовлеченности студентов до сложности восприятия абстрактных физических концепций. Одним из самых эффективных способов повышения интереса студентов к лекциям по физике, в частности по оптике, является использование новых технологий. Технологические инструменты могут не только облегчить восприятие теоретических знаний, но и стимулировать студентов к активному участию в учебном процессе [4].

Одним из главных методов, который помогает сделать сложные концепции оптики более доступными, является визуализация. Оптика, как и многие другие разделы физики, включает в себя явления, которые трудно воспринимать на слух или из традиционных учебников. Современные технологии позволяют создавать интерактивные визуализации, которые показывают, как свет преломляется, отражается или распространяется через различные среды.

Использование VR и AR помогает студентам наблюдать физические явления в трехмерном пространстве и взаимодействовать с ними в реальном времени. Например, студент может «войти» в сферу, где происходит преломление света через линзу или наблюдать взаимодействие лазерных лучей с различными материалами. Такие технологии создают более глубокое понимание физических процессов, которые традиционно демонстрируются с помощью рисунков или статических схем.

Симуляции, такие как PhET Interactive Simulations или GeoGebra, позволяют студентам в интерактивной форме изучать различные эксперименты в области оптики, таких как дифракция, интерференция, преломление и отражение света. Эти инструменты дают возможность моделировать различные условия и наблюдать изменения в реальном времени.

Введение в лекционный процесс интерактивных элементов и технологий дистанционного обучения значительно увеличивает вовлеченность студентов. Платформы для онлайн-обучения, такие как Coursera, edX и Khan

Academy, предлагают курсы по физике с элементами видео, тестов, и задач, что позволяет студентам учить и закреплять материал в удобном формате.

Совмещение традиционных лекций с онлайн-занятиями и активными методами обучения дает студентам возможность изучать материал в своем ритме. Например, после посещения лекции по оптике можно предложить студентам пройти онлайн-тесты и обсудить трудные вопросы в формате вебинаров [3].

Использование специализированного оборудования и технологий:

Многие мобильные приложения теперь предлагают возможность виртуальных лабораторных экспериментов. Студенты могут моделировать различные эксперименты, не выходя из аудитории, например, изучать свойства света через призмы, линзы и другие оптические элементы.

Современные лабораторные комплексы, такие как лазеры, фотометры и спектрометры, позволяют проводить эксперименты, которые раньше были доступны только в специализированных научных учреждениях. Эти устройства, используемые в учебном процессе, делают изучение оптики более увлекательным и реальным, что способствует лучшему пониманию физики на практике.

Интеграция элементов геймификации в обучение физике помогает повысить мотивацию студентов. Например, создание викторин, основанных на материалах лекции, способствует лучшему запоминанию ключевых понятий и законов оптики.

Использование технологий для совместной работы и обсуждения материалов также способствует повышению интереса студентов. Платформы, такие как Google Classroom или Microsoft Teams, позволяют преподавателям организовывать онлайн-обсуждения, а студенты могут делиться своими мыслями и обсуждать сложные вопросы в группе. Это создает интерактивную среду и поддерживает активное вовлечение студентов в учебный процесс.

В рамках новых технологий возможны и более широкие формы сотрудничества. Например, студенты могут участвовать в международных проектах по исследованию оптики, обмениваться опытом с другими студентами из разных уголков мира, что расширяет их кругозор и мотивацию для углубленного изучения предмета.

**Заключение.** Использование новых технологий в преподавании физики, особенно в области оптики, дает массу преимуществ: от улучшения восприятия сложных концепций до повышения вовлеченности студентов в учебный процесс. Интерактивные симуляции, виртуальная реальность, мобильные приложения и лабораторные комплексы позволяют создать богатую образовательную среду, в которой студенты могут не только слушать лекции, но и активно участвовать в обучении. Внедрение технологий в учебный процесс способствует не только лучшему усвоению

материала, но и развивает у студентов критическое мышление и творческий подход к решению научных задач.

### **Список литературы**

1. Bergmann J., & Sams A. (2012). Flip Your Classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day. International Society for Technology in Education.

2. Hew K. F., & Brush T. (2007). Integrating technology into K-12 teaching and learning: Current knowledge gaps and recommendations for future research. Educational Technology Research and Development, 55(3), 223-252.

3. Невзорова, А. Б. Выбор веб-сервиса для создания цифрового образовательного мероприятия/ А. Б. Невзорова, Н. С. Горошко// Цифровая трансформация. – 2020. – № 4 (13). – С. 34–43. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2020-4-34-4/>

4. Невзорова, А. Б. Философские и социально-гуманитарные аспекты высшего инженерного образования: монография / А. Б. Невзорова, Е. Г. Кириченко, А. Б. Бессольнов; Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Белорусский государственный университет транспорта. – Гомель: БелГУТ, 2016. – 242 с.

## **ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Тиханкова И.Д.** (студент, гр. ГА-11)

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность:** Вакуумные системы эффективно применяются в автоматизированных сборочных линиях для перемещения хрупких изделий различных габаритов – от малых по размеру электронных компонентов до стеклянных пластин или транспортировки и удержания в определенном положении и других целей [1].

**Цель работы** – исследование вакуумного оборудования с целью автоматизации технологических процессов.

**Результат работы:** В терминах пневматической технологии под вакуумом понимают область, свободную от окружающей атмосферы (давление в которой ниже атмосферного, равного  $p_a = 0,1033$  МПа).

Рассмотрены два основных метода получения вакуума: посредством вакуумных насосов, и используя эжекторы, которые создают вакуум благодаря кинетической энергии сжатого воздуха [2,3]. Первый метод относительно дорого, но эффективен для создания глубокого вакуума в больших объемах. В последнее время распространение получили лопастные, винтовые и кулачковые вакуум-насосы, среди которых можно отметить пластинчато-роторные маслоуплотненные и абсолютно сухие насосы, а также сухие ротационно-

кулачковые насосы фирмы «BUSCH», винтовые фирмы «KAESER», пластинчато-роторные (лопастные) маслоуплотняемые насосы модели RA 0063 E. Производительность насосов до 500 м<sup>3</sup>/час, при наличии соответственно электропривода мощностью до 9,2 кВт. Развиваемый вакуум: -0,097; -0,09 или -0,08 МПа. Исследованы характеристики экологически безопасных насосов серии Mink MI 1252 BV и SECO SV 1025 C. Вакуум-насосы этой же фирмы серии Mink MI 1252 BV характеризуется тем, что элементы механизма откачки представляют собой ротационные зубья-кулачки (роторы Рутса или когтеобразные роторы), смонтированные в корпусе, образуют камеру сжатия. Являясь сухим и экологически чистым оборудованием, они имеют низкое энергопотребление, малые габариты, высокую надежность в работе (около 24000 часов без обслуживания).

Работа абсолютно сухих пластинчато-роторных вакуумных насосов серии SECO SV 1025 C фирмы "BUSCH" обеспечивается за счет использования антифрикционных самосмазывающихся материалов, из которых изготовлены рабочие лопатки. Такие лопатки, изготовленные из твердых углеродистых или менее твердых смоляносвязанно-графитных полимерных композитов, при вращении ротора скользят всухую по чугунным гильзам, обеспечивая непрерывный цикл откачки [4]. Сухое трение позволяет исключить применение масел вообще, что делает насосы простыми как конструктивно, так и в изготовлении – за счет исключения всех фильтрационных и масло-рециркуляционных объемов и устройств. Экологическая безвредность насосов обеспечивается фильтром всасывания, фильтром выхлопа (версия компрессора) и клапаном-глушителем выхлопа [5].

Такие модели насосов удобно вписываются в современные производственно-технологические системы с ЧПУ с общим управлением от ПЭВМ или свободно программируемых контроллеров.

Рассмотрены типовые схемы вакуумной системы рис. 1 с питанием от эжектора (а) и вакуум-насоса (б).

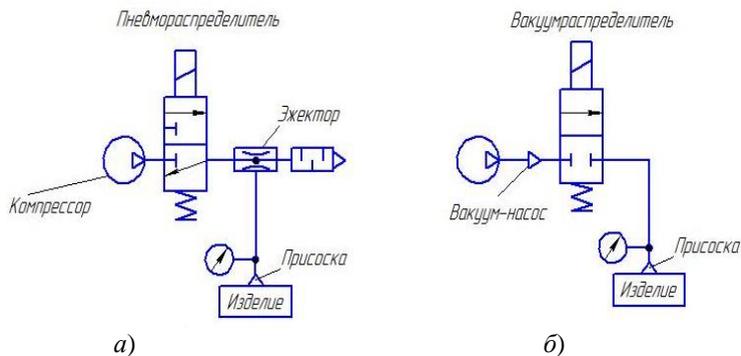


Рисунок 1

Описан алгоритм выбора вакуумного оборудования который состоит из двух основных этапов: выбор присоски, который заключается в определении теоретической подъемной силы и расчета диаметра присоски; выбор вакуумной аппаратуры, включающий расчет продолжительности откачки, определение величины утечки, выбор эжектора и вакуум-распределителя.

**Вывод:** В работе выполнен обзор оборудования для создания вакуума в автоматизированных приводах технологических машин, приведены схемотехнические решения установок, их основные характеристики.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Кульгейко Г.С., старшему преподавателю, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы.**

1 Васильев Ю.К., Нестеров С.Б. Современные тенденции развития вакуумной техники. // Вакуумная техника и технология. – 2009. – т.19, №3. – с.133–138.

2. Кульгейко, Г. С. Методика выбора параметров шероховатости поверхностей высокоточных деталей / Г. С. Кульгейко, Е. М. Голубчикова, А. Д. Дещеня // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сборник научных статей 6-ой международной научно-практической конференции, Гомель, 2 ноября 2022 года / Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш». – Гомель : НТЦК ОАО «Гомсельмаш», 2022. – С. 108-113.

3. Нестеров С.Б., Романько В.А., Андросов А.В. Области применения вакуумной техники. – М.: ОМР. ПРИНТ, 2009.

4. Кульгейко, М. П. К вопросу о возможности реализации совмещенной технологии магнитно-электрических способов обработки / М. П. Кульгейко, Н. М. Симанович, Г. С. Кульгейко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 1. – С. 31–38.

5. Чернин, Р. И. Компьютерное моделирование прочности прессового соединения цельнокатаного колеса с осью колесной пары вагона с учетом отклонений макрогеометрии сопрягаемых поверхностей и скорости движения вагона / Р. И. Чернин, А. В. Путято // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2025. – № 3 (102). – С. 28–36. – DOI 10.62595/1819-5245-2025-3-28-36

## ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ БУРЕНИЯ БОКОВЫХ СТВолов

Ткачев С.С. (студент, гр. НР-31)

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность:** тема бурения боковых стволов (БС) является крайне актуальной в современной нефтегазовой отрасли. Основные фонды скважин во многих странах мира находятся на поздней стадии разработки. Дебиты старых скважин падают, растет обводненность продукции. Бурить новые скважины на таких месторождениях становится все дороже и менее рентабельно. Боковые стволы позволяют "вдохнуть вторую жизнь" в старые скважины, вовлекая в разработку остаточные, недренированные запасы, которые невозможно было извлечь первоначальной сеткой скважин. Это инструмент повышения коэффициента извлечения нефти (КИН) на самых сложных этапах жизни месторождения.

**Цель работы.** Целью работы является анализ и обобщение опыта строительства скважин с боковыми стволами в нефтедобывающих регионах с различными геолого-техническими условиями бурения, а также технико-экономическая оценка полученных результатов.

Зарезка боковых стволов – это эффективная технология, позволяющая увеличить добычу нефти на старых месторождениях и коэффициент извлечения нефти из пластов, вернуть в эксплуатацию нефтяные скважины, которые не могли быть возвращены в действующий фонд другими методами. Путем бурения боковых стволов в разработку вовлекаются ранее не задействованные участки пласта, а также трудноизвлекаемые запасы нефти, добыча которых ранее не представлялась возможной. Анализ полученных результатов показывает, что экономической составляющей целесообразности бурения боковых стволов являются такие факторы как:

- бурение бокового ствола из существующей скважины позволяет продолжать использовать ее наземное оборудование и средства для дальнейшей добычи нефти и газа;
- стоимость бурения боковых стволов по сравнению с бурением новой скважины значительно низка;
- процесс экологичен, загрязнение окружающей среды в процессе бурения бокового ствола меньше, чем при бурении новой скважины;
- отпадает необходимость в строительстве новых кустовых площадок, подъездных путей, ЛЭП и трубопроводов; эксплуатация ведется через существующую систему сбора и подготовки.

Эксплуатации скважин с боковыми стволами позволяет решить такие проблемы как:

- вовлечение в разработку недренированных запасов: в процессе бурения скважины возможно, что ее ствол не пройдет через все продуктивные зоны, расположенные на разных глубинах пласта. Это может произойти преднамеренно или случайно на разных глубинах позволяет точно на них выйти, опробовать и ввести в разработку;

- увеличение дренируемой площади: один горизонтальный ствол может заменить несколько вертикальных скважин, существенно увеличивая площадь контакта ствола с пластом и дебит; создание нескольких стволов из одной скважины позволяет одновременно дренировать несколько удаленных друг от друга целевых объектов;

- решение проблем существующего фонда скважин: первоначально добывающие скважины могут быть выведены из производства по разным причинам: аварии, дробление или отказ эксплуатационной колонны, комплексный разлом подземного оборудования, утолщение или даже невозможность очистки интервала перфорации от механических примесей. БС бурят в обход аварийного участка, возвращая скважину в строй. При обводнении основной зоны, ствол цементируется, и бурится новый БС в выше- или нижележащий обводненный участок пласта.

**Заключение.** Бурение боковых стволов трансформировалось из вспомогательной операции в стратегическую технологию, определяющую конкурентоспособность нефтегазовых компаний в XXI веке. Итоговый анализ показывает, что на заключительной стадии эксплуатации месторождения наиболее эффективным методом интенсификации добычи является бурение боковых и горизонтальных стволов. Проведенный анализ показывает высокую технологическую эффективность данной технологии, так как при ее применении отмечается значительный прирост текущих дебитов. Таким образом, бурение боковых стволов — это не просто один из методов, а комплексное, экономически обоснованное и технологически необходимое направление для обеспечения энергетической эффективности и долгосрочной устойчивости нефтегазового сектора.

**Благодарность.** Выражаю признательность научному руководителю старшему преподавателю кафедры НГРиГПА Шепелевой Ирине Сергеевне за консультацию и помощь при написании данной работы.

#### **Литература:**

1. Порошин, В.В. Д. Разработка нефтяных и газовых месторождений: учебное пособие / В. Д. Порошин, С. В. Козырева, С. Л. Порошина. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – 399 с.

2. Павельева О. Н., Басов А. О., Павельева Ю. Н. Бурение боковых стволов как метод повышения нефтеотдачи пласта в нефтяных скважинах //Булатовские чтения. – 2017. – Т. 3. – С. 206-208.

УДК 621.350

**ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА  
И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ  
ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ НЕФТИ  
И ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТА**

**Ткачёва В.Д. (студент, гр. НР-31)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность** внедрения технологий Искусственного Интеллекта (ИИ) в нефтегазовую отрасль обусловлена критическими вызовами, стоящими перед сектором. Качество нефтяных ресурсов имеет устойчивую тенденцию к ухудшению, при этом большинство крупных зрелых месторождений вступили в позднюю стадию разработки, характеризующуюся ростом доли трудноизвлекаемых запасов, высокой обводненностью и падением добычи углеводородов. Традиционные подходы к процессам разведки и разработки уже устарели, что требует применения современных технологий для снижения затрат и рисков, а также повышения эффективности нефтегазодобычи. Деятельность добывающих компаний непосредственно связана с обработкой большого количества данных и во многом опирается на экспертные оценки, что создает высокие риски потери инвестиций. В целом, использование ИИ позволяет повысить эффективность и конкурентоспособность нефтегазовых компаний, а также улучшить безопасность и экологическую устойчивость производства, что делает его мощнейшим инструментом развития. Подтверждением этого является прогнозируемый рост расходов мирового нефтегазового сектора на ИИ-решения с почти 3 млрд долларов США в 2024 году до более чем 5 млрд долларов США к 2029 году [1].

**Цель работы** состоит в анализе перспектив, приложений и достигнутых результатов использования технологий Искусственного Интеллекта (ИИ) и Машинного Обучения (МО) в нефтегазовой отрасли для интенсификации добычи нефти и повышения нефтеотдачи пласта. Задачей является всестороннее рассмотрение того, как ИИ-алгоритмы, включая искусственные нейронные сети (ИНС) и нечеткую логику, помогают сектору в повышении эффективности производства, оптимизации процессов, снижении неопределенности и преодолении вызовов, связанных с разработкой сложных и зрелых месторождений.

**Анализ полученных результатов** показывает, что ИИ, который определяется как область науки, занимающаяся разработкой систем, способных выполнять задачи, требующие человеческого интеллекта, уже нашел свое применение во всем цикле работ. В сфере геологоразведки и разработки ИИ анализирует большие объемы данных, строит точные 3D-

модели и обрабатывает каротажи, что позволяет увеличить извлекаемые запасы на 5–10%. ИИС являются эффективным методом прогнозирования таких важных петрофизических свойств, как пористость и проницаемость пласта, а также прогнозируют вероятность осложнений. В процессах добычи ИИ помогает в оптимизации, анализируя производственные данные, чтобы определять оптимальные параметры для эксплуатации скважин [2]. Например, российская компания «ЛУКОЙЛ» использует нейронные сети для управления разработкой зрелых месторождений, анализа взаимосвязей между нагнетательными и добывающими скважинами, что повышает нефтеотдачу. Мировые компании, такие как Shell, используют алгоритмы МО для принятия решений об оптимальной стратегии бурения, а Equinor и SLB в эксперименте смогли увеличить скорость бурения на 60%. В области безопасности ИИ реализует предиктивную аналитику, прогнозируя отказы оборудования на основе данных с сенсоров. Для повышения безопасности труда используются системы распознавания образов (видеоаналитика), как в «Роснефти», которые контролируют использование СИЗ и выявляют опасные действия. Ярким примером инновационного применения является разработка «Газпром нефти» 2024 года: с помощью ИИ была синтезирована новая «умная молекула» — химический реагент для увеличения добычи, который был разработан всего за 3 месяца, в отличие от традиционных 2 лет.

Также ИИ используется в качестве предиктивной аналитики и машинного обучения для прогноза аварий в процессе строительства нефтяных и газовых скважин [4], для цифровизации бурения [5], и как агрегатор цифрового бурения для оценки эффективности строительства скважин [6].

Однако, широкое внедрение ИИ сдерживается рядом барьеров, включая необходимость инвестиций и модернизации инфраструктуры для интеграции новых систем, дефицит квалифицированных кадров, обладающих двойными компетенциями, а также проблемы с качеством и объемом исходных данных, которые часто бывают разрозненными и неполными [3].

**Заключение.** В целом, применение ИИ в секторе нефтедобычи и разработки месторождений только началось и пока не принесло масштабных результатов, но уже продемонстрировало большой потенциал. Спектр вовлечения и глубина интеграции ИИ в будущем будут неизменно расти. Алгоритмы сыграют ключевую роль в переходе отрасли к более устойчивому и экологичному будущему, способствуя снижению выбросов и росту ответственности за состояние окружающей среды. Необходимо бережно относиться к внедрению технологий ИИ и продолжать исследования и разработки в этой области, чтобы максимально использовать все возможности, которые предоставляет современная технология для увеличения производительности и устойчивости сектора.

### **Литература**

1. Перспективы использования технологий искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли // Polovova T.A., Sul'dina G.A., Vladimirova S.A., Telkov

О.А. Perspektivy ispol'zovaniya tekhnologii iskusstvennogo intellekta v neftegazovoi otrasli [Prospects for the use of artificial intelligence technologies in the oil and gas industry]. Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow]. 2023. – №13 (3А). – pp. 119-125. DOI: 10.34670/AR.2023.55.63.008.

2. Невзорова А.Б. Цифровая трансформация производственных процессов нефтедобывающей отрасли / А.Б. Невзорова. – Гомель : ГГТУ им. П.О.Сухого, 2025. – 189 с.

3. Фролов, В. В. Оптимизация режима работы глубинно-насосного оборудования на основе цифровых моделей / В. В. Фролов, А. В. Серебренников, А. Б. Невзорова // Нефтегазовый инжиниринг. – 2024. – № 1 (1). – С. 33–40.

4. Захаров, О. В. Использование предиктивной аналитики и машинного обучения для прогноза аварий в процессе строительства нефтяных и газовых скважин / О. В. Захаров, И. В. Захаров, Н. В. Бочаров // Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Часть 2. – С. 163–167.

5. Бочаров, Н. В. Особенности цифровизации бурения скважин (на примере нефтяных месторождений Припятского прогиба) / Н. В. Бочаров, В. М. Ткачев, Т. В. Атвиновская // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем : сб. науч. тр. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Ун-т им. Аджинкья Д. Я. Патила ; под ред. М. Н. Андриянчиковой. – Гомель, 2023. – С. 93–96.

6. Бочаров, Н. В. К вопросу применения агрегатора цифрового бурения для оценки эффективности строительства скважин (на примере скважин месторождений Припятского прогиба) / Н. В. Бочаров, Т. В. Атвиновская, Д. С. Матвеевко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXIII Междунар. науч.- техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 апр. 2023 г. : в 2 ч.

УДК 621

## **ВЫСОКОТОЧНОЕ ЛИТЬЕ ЧУГУННЫХ ЗАГОТОВОК: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА**

**Федосенко А.Ю (студент, гр. ТМ-41)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Современное машиностроение предъявляет повышенные требования к точности и качеству чугунных отливок, используемых в ответственных узлах [1, 5]/ Традиционные методы литья не всегда обеспечивают необходимую однородность структуры и минимальные припуски на механическую обработку [4].

Внедрение высокоточных литейных технологий позволяет не только повысить производительность, но и значительно улучшить эксплуатационные характеристики готовых изделий [2, 3]

**Цель работы**– провести анализ перспективных методов высокоточного литья чугунных заготовок и оценить их влияние на качество и эксплуатационные свойства.

#### **Анализ полученных результатов**

Краткая характеристика объекта исследования. Исследования проводились на образцах из серого (СЧ25) и высокопрочного (ВЧ45) чугунов, предназначенных для изготовления деталей трансмиссии – шестерен, втулок, гильз. Контрольная группа получена методом литья в песчаные формы.

Описание основных мероприятий и полученных результатов. Применение литейно-деформационной технологии, включающей литье с последующей горячей пластической деформацией, позволило получить заготовки с повышенными механическими свойствами [1]. Использование непрерывного литья с подпрессовкой расплава в кристаллизаторе (патент SU 996071) обеспечило однородность структуры и снижение пористости. Было установлено, что:

- подпрессовка давлением 0,2–0,7 атм в период паузы цикла литья повысила однородность структуры на 20% ;
- горячая деформация с степенью обжатия 40–80% увеличила предел прочности на 50–70%, ударную вязкость – на 60%, износостойкость – в 1,4–2,2 раза;
- микроструктура деформированного чугуна характеризовалась дисперсным распределением графита с ферритной оболочкой, что улучшило обрабатываемость и демпфирующие свойства [2].

**Описание результатов апробации.** Ресурсные испытания шестерен, полученных по литейно-деформационной технологии, показали повышение статической прочности на кручение до 19,1 кН·м (против 18,2 кН·м у стальных аналогов). Уровень шума зубчатой передачи снизился на 2–4 дБ. Для уплотнительных колец отмечено повышение гидроплотности и износостойкости, а также отсутствие трещин при сборке.

**Заключение.** Внедрение высокоточных методов литья и последующей пластической деформации позволяет получать чугунные заготовки с повышенными механическими и эксплуатационными свойствами. Данные технологии обеспечивают снижение трудоемкости механической обработки,

повышение коэффициента использования металла и расширение областей применения чугунных деталей в высоконагруженных узлах.

#### **Список литературы**

1. Дудецкая Л.Р. Исследование параметров литейно-деформационной технологии получения высококачественных изделий из чугуна // Литейное производство. – 2010. – № 2. – С. 98–108.

2. Патент SU 996071 А1. Способ непрерывного литья чугунных заготовок.

3. Патент SU 996071 А1 Способ непрерывного литья чугунных заготовок. — Описание изобретения.

4. Мартыянов, Ю. В. Моделирование изгиба металлокорда перед намотом в деформирующих устройствах / Ю. В. Мартыянов // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 апр. 2017 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – С. 93-96

5. Бобарикин, Ю. Л. Тонкое волочение и свивка в металлокорд стальной латунированной проволоки / Ю. Л. Бобарикин, М. Н. Верещагин, Ю. В. Мартыянов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 304 с.

УДК 621

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕРТИКАЛЬНО-ТОКАРНОГО СТАНКА HW 500 P**

**Фоменок М.Н. (аспирант)**

*Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Неотъемлемой частью производства является улучшение технологических процессов и внедрение их в производство [1]. В условиях современного обострения конкуренции предприятия вынуждены более интенсивно внедрять инновационные технологии [2]. В области обработки металлов резанием главные усилия направлены на сокращение основного и вспомогательного времени (61% производственных расходов) и экономию средств производства (оборудование, энергетические затраты).

**Цель работы** – провести технологический анализ эффективности механической обработки детали типа «стакан» с применением вертикально-токарного станка HW 500 P для усовершенствования технологического процесса, обеспечивающего повышение производительности и точности обработки, возникающие при назначении режимов резания на станке с ЧПУ.

**Анализ полученных результатов.** Современным этапом в машиностроении считается механическая обработка, включающая в себя комплексную обработку и имеющая как можно меньше операций.

Рассмотрим на детали типа «Стакан» технологический процесс механической обработки, применяемый в производстве. В данном технологическом процессе обработка детали заключается в четырех операциях:

- токарно-винторезная 16К20;
- токарная с ЧПУ 1А751Ф3;
- токарная с ЧПУ 1А751Ф3;
- внутришлифовальная 3М152.

Проанализировав базовый технологический процесс недостатком является, большое количество применяемого металлорежущего оборудования. Рассмотрим технологический процесс и применением прогрессирующего оборудования, а именно вертикально-токарный станок HW 500 P. Технические параметры данного станка дают возможность изменить технологически процесс механической обработки данной детали с получением экономического и энергетического эффекта. Полученных технологический процесс включает в себя следующие операции:

1. Токарная с ЧПУ HW 500 P;
2. Токарная с ЧПУ HW 500 P;

В данном технологическом процессе мы видим, что токарно-винторезная операция выполняемая ранее исключается. Для вертикально-токарного станка HW 500 P, нет необходимости выполнять механическую обработку выполняемая для устойчивости заготовки при ее обработке. Данный металлорежущий станок обеспечивает такие параметры как величина отжатый в упругой технологической системе, вызываемых колебаниями нормальной составляющей силы резания, определяемой, в свою очередь, уровнем применяемых режимов резания.

**Заключение.** Анализ полученных данных показал, что погрешности за счет смены оборудования существенно снизился, тем самым обеспечивает более качественное полученное изделие. Тем самым размер  $\varnothing 90H7 (+0,035)$  в проектируемом технологическом процессе выполняется за счет обеспечения точности оборудования, которая выполнялась ранее на внутришлифовальной операции. При изменении режимов резания и корректировки управляющей программы, вертикально-токарный станок обеспечивает диаметральный размер  $\varnothing 90,02$  мм, обеспечивает эффективность обработки поверхности уменьшает себестоимость изготовления изделия.

За счет снижения количества механических операций обработки данной детали, вышеперечисленные факторы снижены, что существенно повлияло на качество допусков форм и расположений. Допуска круглости и параллельности за счет уменьшения снятия заготовки составили 0,004 мм. Допуск торцевого биения составил 0,02 Б.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность, научному руководителю: Невзоровой Алле Брониславовне, доктор технических наук, профессор, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

**Список литературы.**

1. Денисова Я. В., Петрова А. С., Сопин В. Ф. Оптимизация производственного процесса путем внедрения методов бережливого производства //Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2022. – Т. 84. – №. 2 (92). – С. 315-323.

2. Жолобов, А. А. Прогнозирование и обеспечение качества технологических систем на этапах их проектирования и изготовления : монография / А. А. Жолобов. – Могилёв : БРУ, 2005. – 304 с.

УДК 621

**АНАЛИЗ ПРОГРЕССИВНЫХ МЕТОДОВ  
ОБРАБОТКИ ШЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

**Фролов В.Д. (студент, гр. ТМ-41)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Современное машиностроение предъявляет повышенные требования к качеству и производительности изготовления шлицевых соединений, являющихся критически важными элементами силовых передач. Традиционные методы обработки резанием, такие как фрезерование и долбление, обладают существенными недостатками, включая низкую производительность, образование макрогеометрических погрешностей и неблагоприятную структуру поверхностного слоя, что ограничивает усталостную прочность деталей [1, 2]. Внедрение безстружковой технологии накатки шлицевых поверхностей позволяет не только устранить указанные недостатки, но и обеспечить комплексное повышение механических характеристик за счет формирования упрочненного поверхностного слоя с благоприятным распределением остаточных напряжений сжатия [3, 4]

**Цель работы** – провести комплексный анализ технологических возможностей и эксплуатационных преимуществ метода накатки при формировании шлицевых поверхностей, а также экспериментально оценить влияние технологических параметров процесса на качественные показатели обработанных поверхностей.

**Анализ полученных результатов.** Исследования проводились на образцах валов из среднеуглеродистой стали 45, предназначенных для работы в условиях знакопеременных крутящих моментов. Контрольная

группа образцов была обработана традиционным методом червячного фрезерования.

Обработка экспериментальной группы производилась методом радиальной накатки на токарном станке, оснащённом специальной трехроlikовой головкой с профилированными роликaми (рис. 1). В результате проведенных исследований установлено, что процесс накатки:

- Обеспечил снижение шероховатости поверхности с Ra 3.2 мкм до Ra 0.4...0.6 мкм.
- Повысил микротвёрдость поверхностного слоя на 20-30% по сравнению с исходным состоянием.
- Сформировал слой остаточных напряжений сжатия глубиной до 0.4 мм с максимальными значениями до -450 МПа.
- Позволил достичь производительности, в 3-4 раза превышающей производительность фрезерования.

**Описание результатов апробации.** Проведенные ресурсные испытания на усталостную прочность при циклическом кручении показали, что образцы, обработанные накаткой, имеют предел выносливости, в 2.8 раза превышающий аналогичный показатель для фрезерованных образцов. Испытания на износ в условиях сухого трения продемонстрировали увеличение износостойкости в 2.2 раза, что связано с упрочнением поверхностного слоя и наличием остаточных напряжений сжатия.

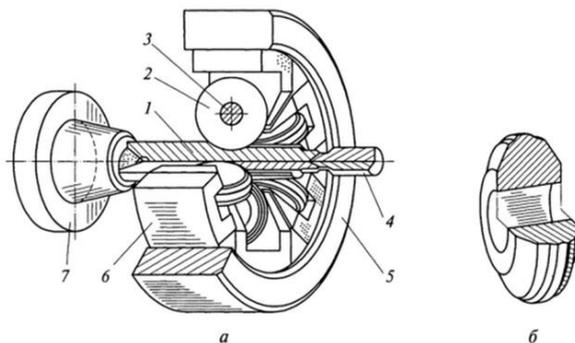


Рисунок 1 – Схема процесса накатки шлицевого вала  
а - схема процесса; б - накатной ролик; 1 - заготовка; 2- накатной ролик; 3 - ось накатного ролика, 4 - зажимной центр; 5 - корпус накатной головки; 6 - колодка; 7 - опора.

**Заключение.** В результате проведенного исследования установлено, что метод накатки является высокоэффективной альтернативой традиционным способам обработки шлицевых поверхностей резанием. Данный метод обеспечивает не только высокую производительность, но и комплексное улучшение эксплуатационных характеристик изделия за счет одновременного формирования требуемого профиля и упрочнения

поверхностного слоя. Полученные результаты подтверждают перспективность широкого внедрения технологии накатки в серийное производство для повышения надежности и долговечности шлицевых соединений.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю, старшему преподавателю Демиденко Е.Н. за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

1. Петров А.В., Сидоров К.И. Технологии упрочняющей обработки деталей машин. – М.: Машиностроение, 2020. – 256 с.
2. Современные методы отделочно-упрочняющей обработки / Под ред. Н.П. Волкова. – СПб.: Политехника, 2019. – 312 с.
3. Бобарикин, Ю. Л. Исследование влияния изгиба металлокорда перед намотом на его прямолинейность после намота / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартьянов, А.В. Веденеев // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. науч. Трудов. В 3 кн. Кн. 3 Обработка металлов давлением / редколлегия: А. В. Белый (гл. ред) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2018. – 137 с.
4. Мартьянов, Ю. В. Моделирование изгиба металлокорда перед намотом в деформирующих устройствах / Ю. В. Мартьянов // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики управления: материалы XVII Междунар. Науч.-техн. Конф. Студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27-28 апр. 2017 г. – М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. Гос. Техн. Ун-т им. П. О. Сухого: под общ. Ред. А. А. Бойко. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого. 2017. – с. 93–96;

УДК 621

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ САМОНАСТРОЙКИ ИСТОЧНИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА КОЛЕБАНИЯ С СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТОЙ**

**Хоменок Я.А. (студент, гр. ГА-51)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Источник сейсмических сигналов смонтирован на гидрофицированном шасси повышенной проходимости 4x4 и предназначен для проведения сейсморазведки, путём опускания опорной плиты на грунт и статического прижатия к нему весом всего источника. При колебаниях реактивной массы (масса всех частей возбудителя вибрации, совершающих колебательные движения) вибрационное усилие передается через опорную плиту на поверхность грунта и возбуждает в нем сейсмические колебания,

частота которых приводит к резонансу, что в дальнейшем может сказаться на долговечности источника. Самонастройка источника позволит безопасно работать при резонансных частотах, что обеспечит долговечность источника.

**Цель работы** – исследование механизмов самонастройки, обеспечивающих автоматическую адаптацию вибромашины к вибрационным воздействиям.

**Анализ полученных результатов.** Одним из способов самонастройки является присоединение к подвижной части источника сейсмических сигналов цилиндрического резервуара (ротора), который затем заполняется маловязкой жидкостью (до 20 сСт) до определенного объема и приводится во вращение с такими скоростями, что реализуется волновой резонанс, сопровождающийся амплитудой колебаний до 110 мм. При этом параметры вибромашины и гидравлической системы которые и позволяют производить сейсмические сигналы, должны удовлетворять определенным соотношениям линейных размеров и массы ее регулируемых компонент [1, 3].

При реализации заявляемого способа гидродинамического возбуждения колебаний образующихся за счет массы опорной плиты (1970 кг), реактивной массы (4800 кг) и рабочей жидкости находящейся под давлением в линии нагнетания возбудителя вибрации 21 МПа в вибраторах гидромеханического типа достигается автоматическое регулирование частотных характеристик колебаний рабочего органа, обеспечивающие безопасное резонансное поведение вибрационной машины, что обусловлено пассивной синхронизацией (самосинхронизацией) возмущающей частоты волны с собственной частотой вибромашины, малочувствительностью к изменению массы и возможностью регулирования амплитуды колебаний при фиксированной частоте ротора.

Способ для гидродинамического возбуждения колебаний рабочего органа источника сейсмических сигналов использует в качестве источника вибрации обратную уединенную волну. Они образуются при вращении жидкостного дисбаланса, который вращают синхронно с собственным прецессионным движением ротора и регулируют количеством жидкости в зависимости от собственной частоты вращения ротора.

Вибрационная машина (рисунок 1), содержащая станину 1, подрессоренный контейнер 2 с закрепленным на нем вращающимся дисбалансом 3. Дисбаланс выполнен в виде полого цилиндрического резервуара 4, частично заполненного жидкостью 5, при этом уровень жидкости в резервуаре зависит от параметров вибромашины, заданной частоты вращения ротора.

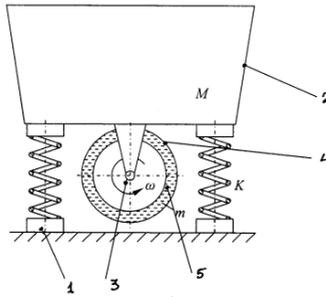


Рисунок 1 – Вибрационная машина с гидродинамическим возбудителем колебаний

Кроме этого способа существует гидравлический вибровозбудитель поршневого типа, в котором изменение характеристик колебаний обеспечивается за счет изменения давления в гидравлической системе, содержащей гидравлический поршень, соединенный с рабочим органом вибрационной машины [2].

Общим недостатком этих устройств – является необходимость управления их рабочими характеристиками с тем, чтобы поддерживать околорезонансное состояние подвижной (загружаемой) части вибрационной машины.

**Заключение.** Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что механизм самонастройки с реализацией волнового резонанса способствует автоматической адаптации вибромашины к изменениям внешних параметров и увеличить срок эксплуатации машины.

### Список литературы

1. Никифоров А. Н., Шохин А. Е. Способ гидродинамического возбуждения колебаний и вибрационная машина с гидродинамическим возбудителем колебаний. – 2016.
2. Пат. РФ на изобретение № RU2433001C1. Гидравлический вибратор/ П.И. Попиков (RU), Р.В. Юдин (RU), М.А. Платонова (RU), А.А. Платонов; патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Воронежская государственная лесотехническая академия" - Заявка 2010114610/28.
3. Пулято, А. В. Расчет размерных цепей : учеб.-метод. пособие для студентов технических специальностей / А. В. Пулято, А. В. Коваленко – Гомель : БелГУТ, 2008. – 32 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

**Хуммаева О.Х., преподаватель**

*Государственный энергетический институт Туркменистана,  
г. Мары, Туркменистан*

**Актуальность:** В период возрождения новой эпохи стабильного государства, благодаря неустанным усилиям нашего Уважаемого Президента Сердара Берdimухамедова, проводится большая работа по внедрению цифровой системы и расширению сферы использования электронных услуг в нашей стране. Как и в остальном мире, правильное использование современных технологий и использование их потенциала для увеличения нашего экономического потенциала являются актуальными вопросами современности. Так, в стране проводятся программные мероприятия по переводу всех отраслей национальной экономики на цифровую систему, внедрению научных работ в производство. Особое значение это имеет в модернизации работы производств в соответствии с требованиями современного дня.

**Цель работы:** Исследование применения пироэлектрических материалов в электронике.

**Результат работы:** Пироэлектрические датчики изготавливаются из пироэлектрических материалов. Пироэлектрический датчик является наиболее часто используемым детектором движения. Потому что он реагирует на небольшие изменения температуры. Детекторы движения, использующие микроволны, обеспечивают оптимальную реакцию при изменении расстояния до датчика. В зависимости от области применения используются разные типы датчиков или комбинации нескольких датчиков [1].

Датчик движения – это электрическое устройство, способное определять движение кого-либо и при этом управлять освещением. При помощи регулятора специального назначения, происходит сканирование помещения, что позволяет регулировать светом. Используя датчик движения PIR, можно сэкономить энергию и продлить срок службы светильников [2].

Инфракрасные приборы движения изготавливаются из пироэлектрического регулятора, основной линзы, которая состоит из линз маленького размера и разнообразных электрических деталей. Устройство дает реакцию на появление и пропадание инфракрасного излучения на фотоэлементе, которое выделяет человек.

Принцип работы:

- когда человек появляется в поле действия преобразователя, линза маленького размера инфракрасный свет собирает на элемент, только одна

собирает на фотоэлемент, в этот момент осуществляется регистрация сигнала;

- как только человек покидает зону действия устройства, то фокус пропадает и датчик выключает свет;

- при попадании под действие другого регулятора, то уже ее линза принимает на себя фокус. Это происходит, пока человек находится в зоне влияния преобразователя.

У такого типа измерителя, основой является генератор высокочастотных волн и их прием, но уже отраженных. Такие контроллеры в основном применяются при охранной сигнализации, но и для освещения. Принцип действия одинаков, основополагающим является эффект Доплера. Отличие только в типе волн, которые излучаются.

Использование светильников с датчиками движения и светоакустическими датчиками. Применять светильники можно в разнообразных помещениях:

- в ванной комнате - в комнате монтируется светильник, который будет постоянно включен.

- освещение лестницы в доме. Длительность освещения поставьте не более 3 минут. В многоэтажном помещении, монтаж происходит по аналогичному принципу. То есть установка происходит на каждый пролет между этажами. Это позволит на каждом участке фиксировать движение и включать свет. Вам не придется пользоваться лестницей в темноте.

- освещение в подсобном помещении – светильник монтируйте непосредственно над дверью или стенке около нее.

- в кладовом помещении. Светильник монтируется над дверью или немного сбоку.

- освещение стоянки автомобилей – для освещения улицы, лучше применять прожектор с приемником движения. Его необходимо подобрать с необходимой мощностью. Крепить его необходимо на высоком расстоянии до 6 метров и недалеко от машины. Использование такого преобразователя на стоянке будет служить еще и дополнительной безопасностью, потому что есть возможность, что включение яркого света испугает недоброжелателя [2].

**Вывод:** Проведено исследование применения пирозлектрических материалов в электронике. Рассмотрены возможности их применения на практике.

### **Список литературы**

1. Пуятю, А. В. Расчет размерных цепей : учеб.-метод. пособие для студентов технических специальностей / А. В. Пуятю, А. В. Коваленко – Гомель : БелГУТ, 2008. – 32 с.

2. Лупарев, А. А. Разработка автономных датчиков технологических параметров с применением беспроводного протокола Zigbee / А. А. Лупарев ; науч. рук. : В. А. Карпов, Ю. В. Крышнев, А. Е. Запольский // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы

XXV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 24–25 апр. 2025 г. : в 2 ч. / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Ч. 1. – С. 234–236.

УДК 624.743.4

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРУТКАХ ИЗ СТАЛИ GCR15

Цуй Чжэн (магистрант, *Китай*)

*Гомельский государственный технический университет им. П.О.Сухого,  
г. Гомель, Республики Беларусь*

**Актуальность.** Остаточные напряжения являются неизбежным явлением в процессе холодной пластической обработки металлических материалов. Особенно при производстве прутков из стали GCR15 их наличие непосредственно влияет на срок службы и безопасность продукции. Одной из причин выхода из строя подшипников, изготовленных из прутков GCR15, является отказ компонентов, вызванный остаточными напряжениями в исходном материале. Остаточные напряжения могут вызывать коррозию, деформацию и хрупкое разрушение, снижая предел усталости материала, но при оптимальном распределении способны повышать вибрационную и усталостную прочность компонентов [1, 2]. Следовательно, точное определение и эффективное управление остаточными напряжениями являются ключевыми факторами для оптимизации технологии производства прутков и обеспечения безопасности конструкций [3, 4].

**Цель работы.** Комплексный анализ методов определения и технологий устранения остаточных напряжений в прутках из стали GCR15, оценка потенциала их применения для совершенствования существующих технологий и достижения оптимального распределения напряжений, обеспечивающего теоретическую основу и практические рекомендации.

**Результаты работы.** Остаточные напряжения классифицируются по масштабу действия на три типа: напряжения I рода действуют в объеме конструкции, II рода — в пределах зерна, III рода — на атомном уровне. Методы определения в основном делятся на две большие группы: теоретические и экспериментальные.

Среди теоретических методов модель размерного анализа описывает распределение напряжений с помощью безразмерных функций. Например, на основе предела текучести, сопротивления деформации и параметров сечения устанавливаются соотношения для расчета осевых и тангенциальных остаточных напряжений. Теорема разгрузки предполагает, что при снятии нагрузки материал подвергается лишь упругому восстановлению, что

позволяет определить поле остаточных напряжений через разность напряжений.

Экспериментальные методы включают механические и физические способы. Механические методы заключаются в послойном удалении материала и измерении деформации для обратного расчета распределения напряжений, например, метод Куракуцкого применим для прутков большого диаметра. Физические методы включают рентгеноструктурный анализ, ультразвуковой контроль и голографическую интерферометрию. В частности, голографическая интерферометрия в сочетании с лазерным сканированием и цифровой записью позволяет динамически контролировать изменения поверхностных напряжений и успешно применяется для контроля качества втулок железнодорожных подшипников.

Технологии устранения остаточных напряжений в основном делятся на термическую и механическую обработку. Термическая обработка путем нагрева и быстрого охлаждения изменяет распределение напряжений и при определенных условиях может создавать благоприятные сжимающие напряжения на поверхности. Механическая обработка включает знакопеременный изгиб [5], вибростарение и многопроходную прокатку. Например, японские компании используют вращающиеся втулки для осуществления знакопеременного изгиба, эффективно снижая остаточные напряжения в трубах из медных сплавов; украинские исследователи применяют высоковольтные гидроимпульсные воздействия для интенсификации процесса релаксации напряжений с одновременным удалением окалины.

Технологические параметры оказывают существенное влияние на остаточные напряжения. При степени деформации около 0,9 % поверхностные напряжения близки к нулю; увеличение угла конусности матрицы приводит к росту растягивающих напряжений в 1,5–3 раза; при содержании углерода 0,40–0,45 % поверхностные напряжения максимальны. Кроме того, высокоскоростное волочение и качественная смазка снижают трение и температурный градиент, тем самым уменьшая неравномерность напряжений.

**Заключение.** Теоретические методы, такие как метод конечных разностей, при учете неоднородности деформации и температурного поля позволяют эффективно моделировать распределение остаточных напряжений, предлагая возможные пути оптимизации технологических процессов. Хотя экспериментальные методы имеют свои ограничения, в сочетании с теоретическими моделями они позволяют осуществлять поэтапный анализ и управление полем напряжений. Будущие исследования должны быть сосредоточены на точном описании граничных условий и анализе многополярных связанных полей для развития технологий производства подшипников из GCR15 в направлении снижения напряжений и повышения производительности.

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, кандидату технических наук, доценту Мартьянову Ю.В. за поддержку в процессе исследования и написания работы.

### **Список литературы**

1. Биргер И. А. Остаточные напряжения. — М.: Машиностроение, 1963. — 232 с.
2. Buhler H., Schmitt F. I. Применение методов размерного анализа для расчета остаточных напряжений при холодной деформации // Draht. — 1966. — № 2. — С. 57–61.
3. Бобарикин, Ю. Л. Новый подход в определении оптимального диаметра деформирующего ролика канатной машины для улучшения технологических свойств металлокorda / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартьянов, О. Ю. Ходосовская // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. / редкол.: В. Г. Залесский [и др.]. — Минск, 2022. — С. 29–38.
4. Бобарикин, Ю. Л. Перспективные направления совершенствования метизного производства в Республике Беларусь / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартьянов // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем : сб. науч. тр. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Ун-т им. Аджинкья Д. Я. Патила ; под ред. М. Н. Андриянчиковой. — Гомель, 2023. — С. 138–140.
5. Томило, В. А. Исследование влияния знакопеременного изгиба металлокorda на формирование эквивалентных напряжений в поперечном сечении / В. А. Томило, Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартьянов // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сборник научных трудов : в 2 книгах / Физико-технический институт НАН Беларуси ; редкол. : В. Г. Залесский [и др.]. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2025. — Книга 1. — С. 304–311.

УДК 621.78

## **НОВЫЕ ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ДИФфуЗИОННО-БОРИРОВАННОЙ СТАЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

**Чернецкий С.И. (аспирант)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О.Сухого,  
Республика Беларусь*

**Введение и актуальность проблемы.** В условиях интенсивной эксплуатации сельскохозяйственной техники особую роль играет

износостойкость рабочих органов, таких как лопатки культиваторов, ножи соломоизмельчителей, окучники, элементы косилок и других почвообрабатывающих узлов [1]. Эти детали подвергаются воздействию абразивных частиц почвы, песка и растительных остатков, что приводит к быстрому изнашиванию режущих и рабочих поверхностей [2, 3]. В результате снижается качество агротехнологических операций, увеличивается частота замены комплектующих и возрастают эксплуатационные расходы. В данном исследовании предложено использовать диффузионно-борированную стальную проволоку в качестве нового типа электродного материала [4].

### **Методика исследований**

Для получения электродного материала использовалась проволока из низкоуглеродистой стали диаметром 1–2 мм. Проволока подвергалась диффузионному борированию в твёрдой насыщающей среде при температуре 900–1000 °С с выдержкой от 2 до 6 часов. В результате на поверхности формировались боридные слои толщиной 100–150 мкм, состоящие преимущественно из фаз FeB и Fe<sub>2</sub>B.

Нанесение покрытий осуществлялось на модельные образцы из стали 65Г (микротвёрдость в исходном состоянии 250–300 HV) с использованием установки ЭЛИ-52. Режимы ЭИЛ (энергия импульса, частота разрядов, скорость перемещения электрода) оптимизировались с целью достижения максимальной производительности при сохранении качества покрытия.

Комплексный анализ полученных покрытий включал: Металлографическое исследование микроструктуры (микроскоп МИМ-10); измерение микротвёрдости по шкале Виккерса (прибор ПМТ-3) с шагом 0,05 мм по глубине сечения; рентгенофазовый анализ для идентификации фаз (дифрактометр ДРОН-7); испытания на абразивный износ по стандартной методике на приборе СМЦ-2.

**Основные результаты и обсуждение.** Микроструктурный анализ (рис. 1) показал, что электроискровое покрытие представляет собой металлическую матрицу, в которую равномерно диспергированы мелкие включения боридов железа. Светлые участки на микрофотографии соответствуют фазам FeB и Fe<sub>2</sub>B. Отмечена неоднородность толщины покрытия, что обусловлено импульсно-взрывным характером переноса материала при ЭИЛ.

Испытания на абразивный износ выявили, что износостойкость упрочнённых образцов в 3–4 раза выше, чем у необработанных. Покрытие демонстрирует высокую адгезию к подложке — при механических и термоциклических нагрузках не наблюдается отслоения или растрескивания.

**Заключение.** Разработан и экспериментально апробирован новый тип электродного материала для электроискрового упрочнения — диффузионно-

борированная стальная проволока. Полученные на её основе покрытия содержат высокотвёрдые бориды железа, обеспечивают микротвёрдость до 1800 HV и повышают износостойкость в 3–4 раза. Технология отличается высокой адгезией, энергоэффективностью и экономической доступностью.

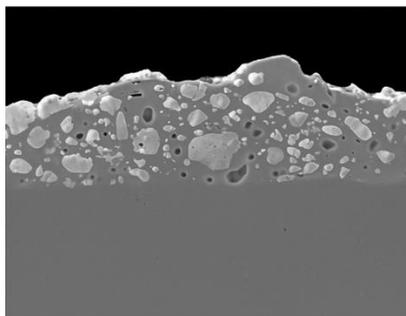


Рисунок 1. Микроструктура электрохромового покрытия ( $\times 500$ )

Практическое внедрение данной методики на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения и в ремонтных службах позволит продлить срок службы режущих элементов, снизить затраты на замену и техническое обслуживание, а также повысить общую эффективность агротехнологических процессов.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Петришину Григорию Валентиновичу, кандидату технических наук, доценту за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

1. Петришин, Г. В. Диффузионно-легированный стальной порошок для магнитно-электрического упрочнения / Г. В. Петришин, Е. Ф. Пантелеенко, А. Ф. Пантелеенко // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. – № 4(16). – С. 26-31.

2. Пантелеенко Е.Ф., Петришин Г.В. Функциональные покрытия из дисперсных металлических отходов / Е.В. Пантелеенко, Г.В. Петришин // Инновации В Машиностроении (Инмаш-2015) : Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции. Кемерово, 23–25 сентября 2015 года – Кемерово, 2015. С.355–360.

3. Петришин, Г.В. Износостойкие гетерогенные покрытия из борированных наплавочных материалов на основе отходов стальной дроби, нанесенные магнитно-электрическим методом: дисс. ... канд.техн.наук: 05.02.01 / Г.В. Петришин; ГГТУ им. П.О. Сухого. – Гомель, 2006. – 178 с.

Невзоров, М. В. Анализ размеров и формы частиц модифицированных металлических порошков для термического напыления [Электронный ресурс] / М. В. Невзоров ; науч. рук. Г. В. Петришин // Студенческий научный движ :

материалы научно-технической конференции аспирантов, магистрантов, студентов, Гомель, 25 марта 2025 г. / под общ. ред. д.т.н., проф. А. Б. Невзоровой. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 13–14.

УДК 621

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРИВОДА ПЛОЩИЛЬНЫХ ВАЛЬЦЕВ КОСИЛКИ-ПЛОЩИЛКИ РОТАЦИОННОЙ ТРЁХСЕКЦИОННОЙ НАВЕСНОЙ КНР-9**

**Чирков А.В. (инженер-конструктор II категории),  
Секач А.Д., (инженер-конструктор II категории)**

*Научно-технический центр комбайностроения, ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ»  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** В настоящее время все более важным является не только обеспечение сельского хозяйства современной высокопроизводительной и надежной техникой для заготовки кормов, но и максимальное сбережение сырьевых, топливных и энергетических ресурсов, как в процессе производства машин, так и во время их эксплуатации [2]. Достижению этой цели способствует снижение металлоемкости и трудоемкости изготовления выпускаемых машин, что в конечном итоге влечет за собой снижение себестоимости уборки урожая [3, 4].

Одной из машин для обеспечения двухфазной уборки трав является выпускаемая холдингом «Гомсельмаш» косилка-плющилка ротационная КНР–9 [1]. Косилка может иметь два варианта плющильного аппарата: с бильным устройством и с плющильными вальцами. Первый вариант предпочтителен при уборке злаковых трав, плохо поддающихся расплющиванию. Проходя через бильное устройство, злаковые стебли надламываются в нескольких местах, что способствует их быстрой сушке. Второй вариант предпочтителен при уборке бобовых трав. Прорезиненные шевронные вальцы расплющивают стебли, тем самым обеспечивая быстрое провяливание травяной массы, при этом максимально сохраняя питательные вещества.

**Цель работы** - упрощение конструкции плющильного аппарата, снижение металлоемкости и повышение надежности косилки-плющилки ротационной трёхсекционной навесной КНР-9 за счет замены цепного привода вальцев на зубчатый

Зубчатый привод (рисунок 1) представляет собой два рычага 1 и 2, на **каждом** из которых установлены по два зубчатых колеса, входящих друг с другом в зацепление. Ведущие колеса 3 верхнего и нижнего рычагов так же входят друг с другом в зацепление. При этом, для обеспечения синхронности

вращения валцов, ведущие зубчатые колеса обоих рычагов имеют одинаковое число зубьев, и зубчатые передачи верхнего и нижнего рычагов имеют одинаковое передаточное отношение. На валу ведущего колеса верхнего рычага установлен шкив 4 привода плющильного аппарата.

Ведомое зубчатое колесо 5 каждого рычага связано с плющильным валцом. Рычаги шарнирно связаны между собой щеками 6.

Привод верхнего вальца осуществляется через зубчатую передачу верхнего рычага. Привод нижнего вальца осуществляется через зубчатые колеса 3 и зубчатую передачу нижнего рычага.

Зубчатый привод устанавливается в боковину плющильного аппарата взамен имеющегося цепного привода. Привод плющильного аппарата осуществляется ременной передачей. На противоположной боковине отсутствуют какие-либо приводные элементы.

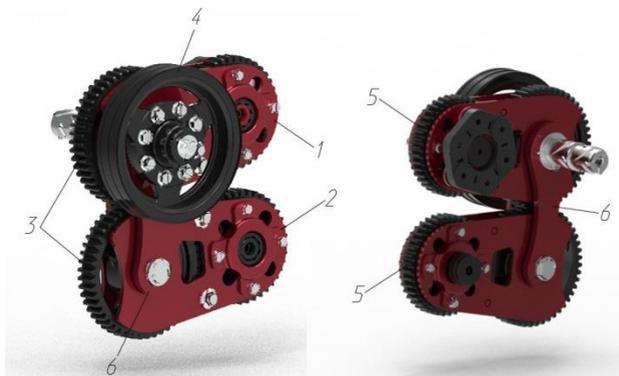


Рисунок 1 – Зубчатый привод плющильного аппарата  
1 – зубчатый привод; 2 – боковина; 3 – ременная передача

**Заключение.** Такая конструкция является компактной, позволяет вращать валцы в противоположном направлении и позволяет верхнему рычагу поворачиваться вокруг оси ведущего зубчатого колеса, обеспечивая изменение зазора между плющильными валцами под действием растительной массы.

Преимуществом данной конструкции является: повышение надежности за счет использования зубчатого привода; снижение металлоемкости и трудоемкости за счет отсутствия синхронизирующего вала, упрощение обслуживания за счет исключения цепных передач.

#### **Список литературы**

1. ОАО «Гомсельмаш». Руководство по эксплуатации косилки-плющилки ротационной трёхсекционной навесной КПР-9 «ПАЛЕССЕ СН90»/ ПО «Гомсельмаш» 2009.

2. Попов, В. Б. Оптимизация параметров механизма плющения растительной массы косилки-плющилки прицепной КПП-4,2 / В. Б. Попов // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого: научно - практический журнал. - 2008. - № 1. - С.12-20.

3. Повышение надежности работы косилки КПр-9 : дис. на соиск. академ. степ. магистра техн. наук / А. В. Усс; Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. - Гомель, 2018. - 61 с.

4. Джасов, Д. В. Обеспечение работоспособности пассивной системы копирования и подъема адаптеров / Д. В. Джасов, В. Б. Попов, Ю. В. Чупрынин // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2025. – № 1. – С. 32–39.

УДК 621.65

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВОК ТИПА УЭЦН С ПЧ

**Чернушевич А.Г. (студент, гр. НР-51)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Объем добычи углеводородного сырья, стабильность и результативность работы нефтегазодобывающих предприятий в настоящий период во многом связаны с эксплуатацией месторождений на поздней стадии их разработки [1, 2]. Большинство скважин эксплуатируются с помощью электроцентробежных насосов (ЭЦН), но несмотря на многообразие имеющихся методик и программных комплексов подбора ЭЦН к скважине, известных на настоящее время, не всегда удается обосновать типоразмер насоса из-за того, что в расчетах не учитывается изменение многих из факторов во времени [3].

**Цель работы** – увеличение добычи нефти и обеспечение стабильности работы добывающих скважин на месторождениях в поздней стадии разработки.

**Анализ полученных результатов.** В настоящее время в нефтедобывающей отрасли все большее применение находит частотно-регулируемый привод. Это дает возможность повысить адаптивность установки к возможностям пласта и значительно снизить отрицательный эффект, вызванный несоответствием выбранного типоразмера оборудования требуемому в каждом конкретном случае. При этом из анализа информации поступающей с нефтепромыслов установлено, что использование ПЧ не дает какого-либо прироста межремонтного периода (МРП), потому что существующие методы и алгоритмы управления не учитывают интенсивность расходования ресурса оборудования и не ставят одной из

целей управления его экономию и продление срока службы установки, в то время как увеличение МРП, особенно на высокодебитных скважинах, должно дать значительный экономический эффект. Таким образом, требуется разработка принципиально новых методов и алгоритмов управления установками типа УЭЦН с ПЧ, учитывающих указанные факторы. Это особенно актуально для месторождений с высоким уровнем солеотложений на рабочих органах насоса и их абразивного износа, где происходит более интенсивное расходование ресурса оборудования.

Солеотложения приводят к изменению со временем величины момента статического сопротивления насоса  $M_{ст}$ . Основной причиной этого является подклинивание рабочих колес из-за отложения на их поверхностях содержащихся в пластовой жидкости солей. Все это происходит на фоне процесса регулирования скорости вращения насоса, которое так же приводит к изменению рабочей точки, при этом момент статического сопротивления насоса на интервале управления имеет тенденцию к увеличению.

Если допустить, чтобы он сравнялся или превысил максимальный момент, развиваемый двигателем, произойдет заклинивание насоса и выход УЭЦН из строя. Поэтому на нефтепромыслах практикуется увеличение величины питающего напряжения ПЭД, что позволяет увеличить максимальный момент, развиваемый двигателем, и тем самым, его перегрузочную способность, снизив этим риск заклинивания. Отрицательным эффектом в данном случае является увеличение тепловых потерь в двигателе.

Исследовав характер протекания процесса солеотложения, можно сделать вывод, что подклинивание рабочих органов насоса происходит в момент пуска установки после ее простоя при циклическом режиме работы скважины или после аварийной остановки [4]. То есть поддержание необходимой перегрузочной способности двигателя необходимо только на время вывода скважины на установившийся режим [5]. В остальное время перегрузочную способность двигателя можно снижать до минимально необходимого уровня, который определяется величиной момента статического сопротивления насоса и требованиями оптимального режима работы двигателя с точки зрения потерь электроэнергии в нем.

При этом возникает необходимость в определении момента статического сопротивления насоса, которая в данном случае представляет собой сложную техническую задачу, так как непосредственное измерение невозможно.

Для организации согласованного управления по частоте и величине питающего напряжения с учетом указанных выше факторов предлагается использовать математическую модель системы «УЭЦН-скважина». Она включает в себя уравнения асинхронного двигателя, насоса и преобразователя частоты, а также уравнения, описывающие темп солеотложения и абразивного износа и учитывающие влияние длинного кабеля и трансформатора.

Уравнения определяют технологический оптимум работы установки УЭЦН и нацелены на согласование производительности установки с возможностями пласта с одной стороны и экономное расходование ресурса насоса и двигателя, с другой. Величина потерь дебита и электроэнергии на выбранном интервале управления определяет экономическую целесообразность принятой стратегии управления и имеет ключевое значение при принятии окончательного решения.

**Заключение.** Описанная методика отличается от применяемой сейчас на практике. Она обеспечивает увеличение продолжительности МРП за счет экономии ресурса УЭЦН в начальный период эксплуатации, с возможностью последующего его использования на конечном периоде, когда насос работает при повышенных нагрузках.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Невзоровой Алле Брониславовне, д.т.н., профессор, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

### **Список литературы**

1. Фролов, В. В. Оптимизация режима работы глубинно-насосного оборудования на основе цифровых моделей / В. В. Фролов, А. В. Серебренников, А. Б. Невзорова // Нефтегазовый инжиниринг. – 2024. – № 1. – С. 33–40.

2. Фролов, В. В. Цифровой анализ работы механизированного фонда скважин / В. В. Фролов, А. Б. Невзорова // Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Часть 2. – С. 167–170.

3. Фролов, В. В. Обеспечение надежности работы подземного оборудования [Электронный ресурс] / В. В. Фролов ; науч. рук. А. Б. Невзорова // МИТРо 2023 – Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника : тезисы докл. науч.-техн. конф. студентов и молодых ученых / Гомель, 6 декабря 2023 г. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 104.

4. Фролов, В. В. Эффективности эксплуатации насосного оборудования нефтяных скважин в условиях повышенного солеотложения / В. В. Фролов, А. Б. Невзорова // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем : сб. науч. тр. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Ун-т им. Аджинкья Д. Я. Патила ; под ред. М. Н. Андриянчиковой. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 166–169.

УДК 621.865.8

## **ЛИТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОБОТОВ**

**Чуешов М.А. (студент гр. РТ-41)**

**Актуальность.** Микроробототехника является перспективной областью, находящей применение в космосе, медицине и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Решение задач, связанных с миниатюризацией и повышением функциональности микророботов, особенно актуально в условиях, где традиционная робототехника неэффективна. Данное исследование предлагает новый подход к анализу патентного ландшафта, выделяя ключевые тенденции в области конструкций и принципов управления микророботами.

**Цель работы** - проведение литературно-патентного анализа микророботов, выявление их конструктивных особенностей, принципов управления и областей применения, а также обобщение современных тенденций в их разработке.

**Анализ полученных результатов.** В ходе исследования были проанализированы патенты и научные публикации, посвященные микророботам. Основное внимание уделялось их конструкциям, системам мобильности и принципам активации. Среди рассмотренных устройств – микророботы для инспекции космических аппаратов, внутритрубные микророботы с пьезоактюаторами, медицинские микророботы для доставки лекарств и внутрисосудистой терапии.

Было установлено, что современные микророботы характеризуются высокой степенью миниатюризации, использованием интеллектуальных материалов (таких как МЭМС, пьезоактюаторы) и возможностью функционирования в экстремальных условиях. Например, микроробот-инспектор RU2771501C1 демонстрирует повышенную точность позиционирования, а микроробот для внутрисосудистой терапии KR101083345B1 обеспечивает эффективное лечение сосудов за счет внешнего магнитного управления.

Апробация результатов проводилась путем сравнения патентных решений, что позволило выявить общие тенденции, такие как функциональная специализация, использование термомеханических и пьезоэлектрических актюаторов, а также интеграция систем беспроводного управления.

**Заключение.** В результате проведенного анализа были систематизированы современные разработки в области микроробототехники, выявлены ключевые конструктивные и функциональные особенности микророботов, а также определены перспективные направления их дальнейшего развития. Установлено, что основными трендами являются миниатюризация, повышение автономности и адаптивности микророботов к различным условиям эксплуатации.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Михайлову Михаилу Ивановичу, доктору технических наук, профессору, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

Патент RU 2771501 С1. Ползающий космический микроробот-инспектор / Болотник Н. Н., Черноусько Ф. Л., Жуков А. А.; – № 2021112740; заявл. 22.04.2021; опубл. 06.06.2022, Бюл. № 16. – 12 с.

Патент RU 2690258 С1. Внутритрубный упругий микроробот с управляемой пьезоактюатором формой / Устинов В. Ф., Степанов А. С., Иванов А. И.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ». – № 2018113194; заявл. 12.04.2018; опубл. 02.06.2019, Бюл. № 16. – 14 с.

Патент KR 101083345 В1. Микроробот для внутрисосудистой терапии и микророботизированная система на его основе / KIM JONG-ON, PARK SUKHO; патентообладатель KOREA INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY. – № 10-2009-0040992; заявл. 11.05.2009; опубл. 10.11.2011. – 28 р.

УДК 621.65

## **ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТИ, ПЕРЕКАЧИВАЕМОЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ НАСОСОМ, НА ПОЛОЖЕНИЕ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ**

**Шатон Д.А., (студент, гр. ГА-31)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** На практике насосы часто работают с жидкостями, плотность которых отличается от плотности воды, для которой сняты паспортные характеристики, поэтому важно знать, как изменяется рабочий режим насоса в составе установки при реальных эксплуатационных условиях.

**Целью** данного исследования является выявление и анализ взаимосвязи между плотностью перекачиваемой жидкости и положением рабочей точки центробежного насоса, а также оценка последствий этого влияния для безопасной и эффективной эксплуатации насосного оборудования.

**Анализ полученных результатов.** Определение рабочей точки позволяет: узнать фактические параметры работы насоса ( $Q$ ,  $H$ ) в конкретной системе; проверить, работает ли насос в зоне максимального КПД; определить

потребляемую мощность и избежать перегрузки электродвигателя; спрогнозировать возможность возникновения кавитации [1].

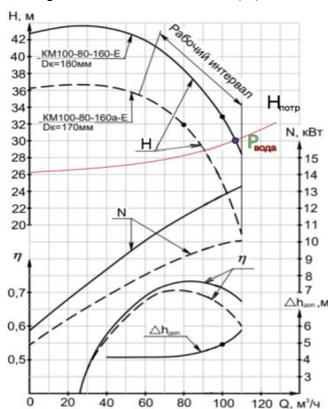
При расчете трубопроводной системы выбран центробежный насос КМ100-80-160Е. Однако в технической документации данного центробежного насоса содержатся рабочие характеристики, полученные при перекачивании воды. [2]. Рекомендуемый диапазон работы для насоса КМ100-80-160Е по расходу от 17 до 33 м<sup>3</sup>/ч, по напору - от 29 до 41 м. Рекомендуемый диапазон работы по плотности - от 800 до 1000 кг/м<sup>3</sup>. Пренебрежение этим может привести к работе насоса в неоптимальном или аварийном режиме.

Экспериментально установлено, что при увеличении плотности перекачиваемой жидкости в  $\beta$  раз напорная характеристика центробежного насоса  $Q-H$  не меняется, а потребляемая мощность увеличивается во столько же раз [3].

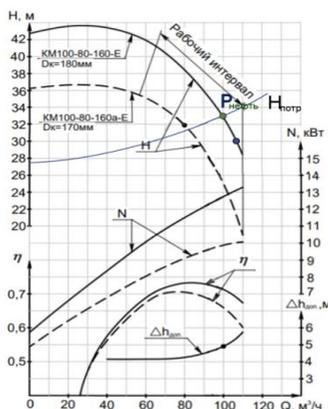
Для того, чтобы определить расположение рабочей точки нужно совместить характеристики насоса  $H = f(Q)$  и сети  $H_{\text{потр}} = f(Q)$  на одном графике. Точка пересечения этих характеристик и будет являться рабочей точкой насоса, проецируя её на оси координат можно определить напор насоса и его подачу при работе в данной трубопроводной системе (рисунок 1).

Для заданных эксплуатационных условий при работе на воде рабочий режим характеризуется положением рабочей точки  $P_{\text{вода}}$  (рисунок 1, а). При перекачивании легкой нефти с плотностью 884 кг/м<sup>3</sup> происходит смещение характеристики сети и соответственно рабочей точки  $P_{\text{нефть}}$  (рисунок 1, б).

При использовании жидкости со слишком большой плотностью, насос будет работать с перегрузкой, которая выведет оборудование из строя гораздо быстрее. Если использовать со слишком маленькой плотностью, у насоса будет уменьшаться КПД.



а)



б)

Рисунок 1 - Совмещение характеристик насоса и установки: а) при работе на воде с плотностью 998,2 кг/м<sup>3</sup>; б) при работе на легкой нефти с плотностью 884 кг/м<sup>3</sup>

**Заключение.** Установлено, что при переходе на жидкость с плотностью, отличающейся от плотности воды происходит смещение рабочей точки. При переходе на жидкость с плотностью, отличной от плотности воды, обязателен пересчёт не только мощности электродвигателя, но и ожидаемых рабочих параметров (подачи и напора) для предотвращения перегрузок, снижения эффективности и выхода оборудования из строя.

**Благодарность.** *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Андрееву Ю. А., старшему преподавателю кафедры «Нефтегазоразработка и гидронневоавтоматика» за консультацию и помощь при проведении данного исследования.*

#### **Список литературы:**

1. Андреев, Ю. А. Лопастные машины и передачи: пособие для студентов специальности 1-36 01 07 "Гидроннемосистемы мобильных и технологических машин" дневной формы обучения / Ю. А. Андреев - Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. - 166 с.
2. Руководство по эксплуатации Н49.924.000 РЭ. Электронасосы центробежные консольные моноблочные типа КМ-Е. ОАО "ГМС Насосы".
3. Фролов, В. В. Оптимизация режима работы глубинно-насосного оборудования на основе цифровых моделей / В. В. Фролов, А. В. Серебренников, А. Б. Невзорова // Нефтегазовый инжиниринг. – 2024. – № 1. – С. 33–40.
4. Фролов, В. В. Цифровой анализ работы механизированного фонда скважин / В. В. Фролов, А. Б. Невзорова // Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Часть 2. – С. 167–170.

УДК 621.785.532

## **СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО КАБИНЕТА ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ**

**Шах А.В., Шапович Е.Г. Макаревич А.С.**

*Барановичский государственный университет,  
г. Барановичи, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Актуальность проекта обусловлена развитием цифровых технологий и необходимостью их интеграции в образование. Виртуальные учебные пространства повышают доступность и гибкость обучения, включая

дистанционные форматы, особенно при работе с дорогим или опасным оборудованием. Виртуальный кабинет позволяет безопасно изучать устройство и принципы работы оборудования, что важно для подготовки студентов [1]. Кроме того, цифровые среды способствуют инклюзивности, позволяя обучающимся с ограниченными возможностями участвовать в учебном процессе.

**Цель работы.** Целью данного проекта является создание виртуального кабинета ионно-плазменного азотирования, предназначенного для использования в образовательных и научных целях. Проект направлен на разработку интерактивной 3D-модели помещения, максимально приближенной к реальному объекту, с возможностью свободного перемещения по пространству и взаимодействия с элементами виртуальной сцены.

**Анализ полученных результатов.** Разработанный виртуальный кабинет ионно-плазменного азотирования представляет собой интерактивную цифровую среду, способную обеспечить реалистичное и наглядное взаимодействие с учебным пространством. Благодаря использованию графического редактора Blender для моделирования и движка Unreal Engine 4 для реализации интерактивного приложения, удалось достичь высокой степени визуального соответствия и обеспечить полноценную функциональность виртуального кабинета [2].

Созданная виртуальная лаборатория открывает широкие возможности для реализации как дистанционных, так и смешанных форм обучения. Она позволяет проводить предварительное знакомство с оборудованием без необходимости физического доступа к нему, что особенно важно при обучении в условиях ограниченного бюджета, отсутствия необходимого оснащения или при работе с потенциально опасными установками. Использование виртуальной модели способствует повышению безопасности учебного процесса, исключая возможность повреждения оборудования и снижая риски, связанные с неосторожным обращением в реальной лаборатории.



Рисунок 1 — Вид кабинета при входе в программу

**Заключение.** Проект имеет значительный потенциал для дальнейшего развития. Возможна реализация функций работы в виртуальном пространстве, добавление новых объектов с возможностью детального взаимодействия, а также внедрение элементов геймификации для повышения вовлеченности студентов [3]. Одним из перспективных направлений является интеграция технологий виртуальной реальности, что позволило бы создать еще более глубокий эффект присутствия и максимально приблизить виртуальный опыт к реальной работе в лабораторных условиях. Это особенно актуально в рамках подготовки специалистов, чья будущая деятельность связана с использованием сложного технического оборудования и высокоточных установок.

### **Литература**

1. Шапович Е. Г. Виртуальная экскурсия как средство повышения имиджа учреждения высшего образования / Е. Г. Шапович, Ю. Е. Горбач, А. В. Шах / Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IX Международной научно-практической конференции / под общ. ред. М. Н. Краснянского ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ» — С. 154–159.

2. Шах, А. В. Создание трехмерной модели учебных корпусов университета с использованием аддитивных технологий / А. В. Шах, А. В. Тукай, Д. А. Литвинко // Инновационное станкостроение, технологии и инструмент : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 28–29 нояб. 2024 г. / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. М. И. Михайлова. — Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. — С. 52–53.

3. Грушевский, К. Н. Создание виртуальной лаборатории аддитивных технологий в Unity / К. Н. Грушевский, А. Н. Коваль, А. В. Шах // Наука – практике : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Барановичи, 17 мая 2024 г. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т ; редкол.: В. В. Климук (гл. ред.) [и др.]. – Барановичи : БарГУ, 2024. — Ч. 1. — С. 194-196.

УДК 622.24

## **БУРЕНИЕ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСЦИЛЛЯТОРА**

**Шемлей А.Р. (студент гр.НР-31)**

*Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Актуальность.** Развитие наклонно-направленного и горизонтального бурения привело к значительному усложнению профилей скважин и росту протяжённости участков с большим отходом от вертикали. В таких условиях

бурильная колонна испытывает повышенные силы трения, что приводит к ухудшению передачи осевой нагрузки на долото, увеличению крутящего момента и риску возникновения различных технологических осложнений, включая дифференциальные прихваты и ухудшение управляемости компоновки [1, 2]. Поэтому важным направлением совершенствования технологий бурения является применение оборудования, способного снижать силы трения и стабилизировать работу компоновки. Одним из наиболее эффективных решений является использование осцилляторов вибрационного действия [3].

**Цель работы** - анализ конструкции, принципа работы и технологической эффективности осциллятора и связанного с ним генератора импульсов при строительстве наклонно-направленных скважин, а также оценка перспектив внедрения данной технологии в серийное буровое производство.

Технология применения осциллятора основана на создании малоамплитудных продольных вибраций, способствующих снижению сил трения между колонной и стенками ствола. Осциллятор представляет собой устройство объёмного действия, работающее за счёт энергии потока промывочной жидкости. Его конструкция включает силовую секцию, клапанно-подшипниковую секцию и секцию иницирования колебаний — генератор импульсов. Силовая секция служит для создания вращательного движения ротора, который взаимодействует с клапанной парой. Последняя обеспечивает периодическое перекрытие проходного сечения промывочной жидкости, создавая пульсации давления. Эти пульсации передаются генератору импульсов, где посредством подпружиненного сердечника превращаются в механические продольные колебания, распространяющиеся вдоль бурильной колонны. Клапанная пара, являющаяся одним из ключевых узлов системы, состоит из подвижного и неподвижного клапанов. За счёт циклического смещения проходных отверстий поток жидкости периодически сужается, и давление возрастает до максимального значения. Затем, при совпадении отверстий, давление падает до минимума. Частота данного процесса достигает 16–17 Гц при оптимальных расходах жидкости. В результате формируется устойчивая вибрация, которая обеспечивает снижение статического и динамического трения [4]. Генератор импульса, установленный над осциллятором, воспринимает изменения давления и преобразует их в севое перемещение сердечника. Таким образом вибрации передаются всей компоновке низа бурильной колонны.

Применение осциллятора оказывает комплексное воздействие на процесс бурения. В первую очередь снижается трение, благодаря чему повышается эффективность передачи осевой нагрузки на долото. Это особенно важно при бурении в режиме скольжения, когда отклонитель фиксирован и изменение траектории осуществляется за счёт управления нагрузкой и углом инструмента. В условиях плотного контакта колонны со стенками ствола передача веса на долото затруднена, что приводит к снижению механической

скорости проходки. Использование осциллятора позволяет устранить часть сопротивлений и стабилизировать поведение компоновки. Сравнительный анализ показывает, что применение осциллятора обеспечивает значительное улучшение показателей работы по сравнению с традиционной технологией бурения без вибрационного оборудования. Повышение механической скорости проходки в режиме скольжения достигается за счёт более эффективной передачи нагрузки, снижения паразитных усилий и уменьшения времени на корректировку траектории. При этом технология остаётся относительно простой в эксплуатации и не требует изменения стандартных параметров бурового раствора, за исключением соблюдения требований по плотности и содержанию твёрдой фазы. Ограничением является необходимость поддержания оптимальной подачи буровых насосов, поскольку снижение расхода может привести к уменьшению эффективности генерации вибраций, а превышение допустимого диапазона — к риску эрозионных повреждений оборудования.

**Заключение.** По результатам анализа можно сделать вывод, что технология применения осциллятора является перспективным направлением для использования в условиях сложного наклонно-направленного бурения. Она сочетает высокую техническую эффективность, относительную простоту внедрения и значительное снижение вероятности технологических осложнений. Дальнейшие исследования могут быть направлены на совершенствование параметров генерации вибраций, повышение стабильности работы оборудования при изменяющихся гидравлических условиях и разработку адаптивных систем управления, автоматически регулирующих характеристики вибраций в зависимости от условий в стволе скважины.

**Благодарность.** *Выражаю признательность научному руководителю старшему преподавателю кафедры «НГРиГПА» Шепелевой Ирине Сергеевне, а также сотрудникам отдела бурения БелНИПИнефть за консультацию и помощь при написании данной работы.*

#### **Список литературы**

1. Абдуллин А. У., Чуктуров Г. К. Повышение эффективности строительства скважин применением осциллятора в процессе направленного бурения в составе КНБК // *Инновационная наука.* – 2024. – №. 1-2. – С. 33-36.
2. Уссаев В. Г. Технология разработки низкопроницаемых, неоднородных коллекторов с применением горизонтальных скважин // *Наука и мировоззрение.* – 2025. – Т. 1. – №. 38. – С. 280-288.
3. Байковский, Д. И. Оптимизированный подход к проектированию профилей скважин с протяженным горизонтальным окончанием / Д. И. Байковский, А. М. Жуковский, Р. Е. Гутман // *Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский государственный технический*

УДК 622.234.573

## ГИДРОРАЗРЫВ ПЛАСТА В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ

**Шестопалов В.Ю., (студент, гр. НР-21)**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** В современных условиях нефтедобычи возрастает роль трудноизвлекаемых запасов, сосредоточенных в низкопроницаемых и неоднородных коллекторах [1]. Гидравлический разрыв пласта (ГРП) является ключевым методом интенсификации притока углеводородов, однако его применение в сложных геологических условиях, особенно в горизонтальных скважинах, требует точного прогнозирования и оптимизации технологических параметров [2, 3]. Особую сложность представляет моделирование взаимодействия множественных трещин в пористой среде под напряжением, что необходимо для повышения экономической эффективности и снижения рисков [4].

**Цель работы** – анализ и обобщение результатов исследований по моделированию процесса гидроразрыва пласта и оптимизации параметров многозонного ГРП в горизонтальных скважинах для повышения эффективности разработки трудноизвлекаемых запасов.

**Анализ полученных результатов.** В качестве объекта исследования рассмотрены низкопроницаемые неоднородные коллекторы, разрабатываемые с применением горизонтальных скважин с многозонным ГРП. Для моделирования таких сложных процессов, как показано в работе Т.Т. Гарипова, необходимы комплексные математические модели, учитывающие напряженно-деформированное состояние породы (уравнения Био), фильтрацию жидкостей и определение зон разрушения по критерию Кулона-Мора. Использование метода опорных операторов позволяет проводить расчеты на нерегулярных сетках, что критически важно для адекватного описания неоднородной геологической среды.

Проведенный анализ практических данных на Приобском месторождении (Бархатов Э.А., Яркеева Н.Р.) выявил ключевые зависимости дебита скважины от числа трещин ГРП и длины горизонтального участка. Установлено, что прирост дебита существенно замедляется при числе трещин более 8-10, а график становится пологим. При большом количестве трещин влияние их размеров снижается, а доминирующим фактором становится протяженность ствола скважины.

Для сравнительного анализа геолого-технологических условий проведения ГРП рассмотрены характеристики Приобского месторождения и Припятского прогиба (Таблица 1).

*Таблица 1 – Сравнительная характеристика условий проведения ГРП*

Параметр	Приобское месторождение (Западная Сибирь)	Припятский прогиб (Беларусь)
<b>Возраст коллекторов</b>	Меловой и юрский периоды	Верхний девонский период
<b>Проницаемость</b>	Крайне низкая (1-5 мД)	Неоднородная, от низкой до средней
<b>Основная стратегия разработки</b>	Горизонтальные скважины с многозонным МГРП (8-10 трещин)	Наклонно-направленные и вертикальные скважины, требуется точечный ГРП
<b>Ключевая технология ГРП</b>	Множественный (мультистадийный) ГРП в длинном горизонтальном стволе	Точечный ГРП с учетом естественной трещиноватости карбонатов

Дополнительным аспектом является проблема неравномерного распределения притока по длине горизонтального ствола. Как отмечено В.А. Васильевым и А.Е. Верисокиным, дебит трещин, расположенных в удаленной части ствола, может быть более чем в два раза меньше дебита трещин у его начала.

**Заключение.** В ходе исследования установлено, что успешное применение многозонного ГРП в горизонтальных скважинах в особых условиях низкопроницаемых коллекторов требует интеграции точного геомеханического моделирования с анализом гидродинамической эффективности. Оптимальное количество трещин ГРП для таких условий лежит в диапазоне от 8 до 10, а ключевым параметром для максимизации добычи является длина горизонтального ствола. Для исключения неравномерной выработки запасов необходимо применять технологии, обеспечивающие равномерное формирование и продуктивность всех трещин.

**Благодарность.** Выражаю признательность и благодарность заведующей кафедрой Невзоровой А.Б., д.т.н., профессору, за консультацию и помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

1. . Войтехин, О. Л. Технологические подходы к оптимизации темпа разработки трудноизвлекаемых запасов нефтяного месторождения / О. Л. Войтехин, А. Б. Невзорова // Вестник Гомельского государственного

технического университета имени П. О. Сухого : научно-практический журнал. – 2023. – № 3. — С. 67-79.

2. Гарипов Т.Т. Моделирование процесса гидроразрыва пласта в пороупругой среде // Математическое моделирование. – 2006. – Т. 18, № 6. – С. 53-69.

3. Бархатов Э.А., Ярксеева Н.Р. Эффективность применения многозонного гидроразрыва пласта в горизонтальных скважинах // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328, № 10. – С. 50-58.

4. Войтехин, О. Л. Новые подходы к прогнозированию геометрии трещин гидроразрыва в условиях ультранизкопроницаемых карбонатных коллекторов [Электронный ресурс] / О. Л. Войтехин ; науч. рук. А. Б. Невзорова // Студенческий научный движ : материалы научно-технической конференции аспирантов, магистрантов, студентов, Гомель, 25 марта 2025 г. / под общ. ред. д.т.н., проф. А. Б. Невзоровой. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 15–16.

УДК

## **АНАЛИЗ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРИЧИНЫ ВИБРАЦИИ ТРУБОПРОВОДА НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ УСТАНОВКИ ГИДРОКРЕКИНГА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА**

**Юй Янян (аспирант)**

*Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

*Чжэцзянская нефтехимическая компания с ограниченной  
ответственностью, Китай*

**Актуальность.** С момента первого запуска установки гидрокрекинга дизельного топлива мощностью 3,5 млн тонн в год нефтехимической компанией в 2020 году вибрация трубопровода нагревательной печи в нижней части ректификационной колонны была высокой [1]. В некоторых трубопроводах значения вибрации могут достигать более  $25 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$ , что серьезно угрожает безопасной эксплуатации установки. Вибрация в нижней части трубопровода нагревательной печи может возникать из-за термического расширения/сжатия, гидродинамических факторов (например, турбулентность, кавитация), термических факторов (расширение и сжатие трубы при изменении температуры рабочей сред или окружающей сред), механических проблем (износ опор, неправильная установка) или резонанса,

при которой частота вибрации может совпадать с собственной частотой трубопровода, что приводит к резкому усилению колебаний [2,3].

**Цель работы** – провести сравнительный анализ двух схем: установки демпфера на выходном трубопроводе печи и изменения направления потока в выходном трубопроводе печи, для разработки предложений по снижению вибрации выходного трубопровода печи.

**Анализ полученных результатов.** Анализ вибрационных характеристик и принципов работы двенадцати трубопроводов на выходе из нагревательной печи позволил определить, что скорость потока среды в трубопроводе высока, наблюдается очевидный двухфазный поток среды, а компоновка выходного трубопровода является сложной. Сложность компоновки выходного трубопровода для двухфазного потока связана с необходимостью учёта нестабильного течения, раздела фаз и влияния гравитации, что требует применения специальных конструктивных решений. В таких системах часто используют вертикальные участки, сепараторы и плавные переходы для минимизации гидроударов и обеспечения раздельного сбора фаз, а также выбирают соответствующую геометрию для предотвращения образования газовых мешков или скопления жидкости.

Нестабильность потока может вызывать резкие скачки давления (гидроудары), которые могут повредить трубопровод и арматуру. Вибрация вблизи тройника часто вызвана резким изменением направления и скорости потока жидкости или газа. Воздушные карманы, турбулентность, изменения температуры и неравномерный износ труб также могут являться основной причиной чрезмерной вибрации 12 выходных труб печи.

Проанализированы вибрационные характеристики и принцип действия выходной трубы нагревательной печи. Установлено, что для решения проблемы вибрации выходной трубы нагревательной печи, необходимо на выходной трубе установить амортизирующие средства – демпферы в виде либо прослойки из амортизирующего материала, либо в виде отдельных опор, к примеру, пружинных виброизоляторов - одной или нескольких стальных винтовых пружин, гасящие вибрации трубы и преобразовать их компоновку.

После установки демпфера на выпускную трубу нагревательной печи величина вибрации трубы была значительно снижена. Максимальная величина вибрации снизилась с 25,1 мм/с до 5,7 мм/с. По сравнению с исходной выходной трубой нагревательной печи средняя величина вибрации снизилась примерно на 13,5 мм/с. После изменения расположения выходных труб нагревательной печи максимальное значение вибрации 12 выходных труб печи составило 1,9 мм/с, а среднее значение вибрации составило 1,65 мм/с, что на 16,7 мм/с ниже значения вибрации до преобразования. По сравнению с добавлением демпфирующей схемы величина вибрации

трубопровода снижается в среднем на 3,3 мм/с. После изменения схемы трубопровода уровень вибрации трубопровода находится в более безопасном рабочем состоянии.

**Заключение.** Основной причиной вибрации выходного трубопровода крупной нагревательной печи является сложная компоновка трубопровода, частые изменения направления потока, а также наличие в трубопроводе двухфазного потока газа и жидкости, что создает значительные ударные нагрузки на участках, таких как колена. Для трубопроводов с относительно небольшим превышением исходной амплитуды вибрации и относительно простой компоновкой использование демпферов для снижения вибрации трубопровода дает заметный эффект. Для полного решения проблемы вибрации выходного трубопровода нагревательной печи необходимо провести полную реконструкцию системы выходного трубопровода. Уменьшение количества колен вблизи нагревательной печи позволяет эффективно снизить сопротивление потоку среды внутри трубопровода.

**Благодарность.** Авторы выражают признательность китайской компании Zhejiang Petrochemical Co., Ltd за оказанную помощь при проведении данного исследования.

#### **Список литературы**

1. Юй, Янян Исследование характеристик механического уплотнения питательного насоса высокого давления установки гидрокрекинга [Электронный ресурс] / Янян Юй ; науч. рук. А. Б. Невзорова // Студенческий научный движ : материалы научно-технической конференции аспирантов, магистрантов, студентов, Гомель, 25 марта 2025 г. / под общ. ред. д.т.н., проф. А. Б. Невзоровой. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 20–21.

2. Corrosion Analysis and Protection of High-Efficiency Composite Air Cooler Tube Bundles / YU Yangyang, ALLA Neuzorava, CHEN Guodong, YAO Guangxiong, ZHENG Guiliang. – Liaoning Chemical Industry. –2025. – Vol.54, No. 7 July. – pp. 1178–1180.

3. Юй, Я. Анализ факторов и меры по устранению неисправностей клапанов поршневого компрессора 4M125 / Я. Юй, А. Б. Невзорова // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2025. – № 3 (102). – С. 18–27. – DOI 10.62595/1819-5245-2025-3-18-27

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОДБОРА КОМПОНОВОК НАСОСНЫХ ШТАНГ****Ясюкевич Н.И. (магистрант, гр. ЗНГИ-11)***Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Одной из наиболее распространенных причин выхода из строя погружного оборудования при эксплуатации скважины УШГН является обрыв/отворот насосных штанг (НШ). Установлено, что в среднем 49 % отказов по причине обрыва/отворота НШ приходится на слом насосных штанг по телу, что указывает на превышение фактического приведенного напряжения, возникающего в сечении ступени штанг, над допустимым приведенным напряжением с учётом условий эксплуатации [1]. Для сокращения количества отказов УШГН и увеличения средней наработки на отказ необходим комплексный подход, который включает в себя в том числе и усовершенствование текущей методики подбора компоновок насосных штанг (КНШ) [2].

**Цель работы** – создание программного продукта для повышения качества подбора компоновок насосных штанг в добывающие скважины НГДУ «Речицанефть».

С целью сокращения рисков обрыва НШ вследствие неоптимального распределения фактических приведенных напряжений по ступеням насосных штанг, было предложено модернизировать ранее применяемую методику подбора КНШ путём перехода на учёт индивидуальных особенностей каждой скважины, включая физико-химические параметры добываемого флюида, эксплуатационные показатели разработки, в том числе анализ предыдущей эксплуатации УШГН, инклинометрию и планируемые параметры станка-качалки. Кроме того, при подборе длин ступеней КНШ необходимо подбирать такие типоразмеры насосных штанг, чтобы максимальное приведенное напряжение, возникающее в сечении ступени штанг, не превышало допустимое приведенное напряжение с учетом условий эксплуатации: 98 Н/мм<sup>2</sup> для среднекоррозионной пластовой среды, 127 Н/мм<sup>2</sup> для условно некоррозионной среды. Помимо этого, необходимо обеспечивать непревышение расчётного приведенного напряжения по насосным штангам группы Б (насосные штанги, отработавшие в добывающих скважинах от 4 до 7 лет) значения в 88 Н/мм<sup>2</sup>. При этом приведенные напряжения в верхней части ступеней КНШ не должны отличаться друг от друга более чем на 10 %.

Отмечается тенденция к увеличению средней глубины спуска УШГН в НГДУ «Речицанефть» (рисунок 1), что пропорционально увеличивает риски обрыва насосных штанг.

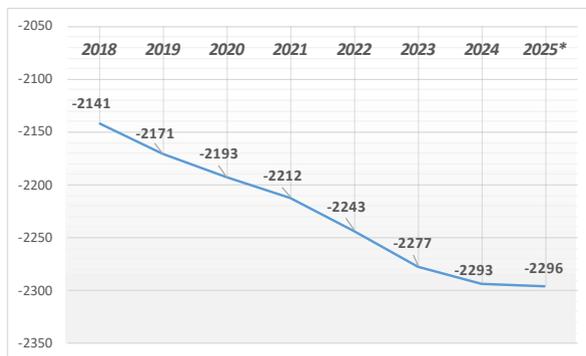


Рисунок 1 – Средняя глубина спуска УШГН в 2018-2025 гг.

С целью сокращения количества отказов УШГН по причине обрыва насосных штанг из-за превышения допустимого приведенного напряжения в условиях постепенного увеличения средней глубины спуска штанговых глубинных насосов потребуются увеличение количества применяемых ступеней НШ для более равномерного распределения приведенного напряжения по колонне штанг, что существенно увеличит время, затраченное на подбор компоновок насосных штанг.

Для решения вышеуказанных задач на языке программирования Python автором был разработан программный продукт (десктопное приложение) для расчёта оптимальной с точки зрения равенства приведенных напряжений компоновки насосных штанг в ручном или автоматическом режиме с возможностью сохранения результатов подбора в текстовом файле. Использование разработанного программного продукта позволяет произвести автоматический расчёт требуемого количества ступеней НШ и длин НШ в каждой ступени, учитывая эксплуатационные показатели разработки подбираемой скважины.

Необходимо отметить, что в настоящий момент в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» продолжается работа по исследованию ресурса и эксплуатационной надежности насосных штанг в условиях нефтяных месторождений РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», что в дальнейшем позволит при подборе колонны насосных штанг по разработанной методике сократить количество отказов погружного оборудования по причине обрыва насосных штанг [3].

**Заключение.** Разработанный автором программный продукт был интегрирован в технологический процесс подбора штанговых глубинных насосов в добывающие скважины НГДУ «Речицанефть», что позволило значительно сократить время (в среднем на 42%), затраченное инженером-

технологом, на подбор компоновки насосных штанг по методике, учитывающей индивидуальные особенности каждой скважины.

### **Список литературы**

1. Фролов, В. В. Оптимизация режима работы глубинно-насосного оборудования на основе цифровых моделей / В. В. Фролов, А. В. Серебренников, А. Б. Невзорова // Нефтегазовый инжиниринг. – 2024. – № 1. – С. 33–40.

2. Фролов, В. В. Цифровой анализ работы механизированного фонда скважин / В. В. Фролов, А. Б. Невзорова // Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : в 2 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – Часть 2. – С. 167–170.

3. Фролов, В. В. Обеспечение надежности работы подземного оборудования [Электронный ресурс] / В. В. Фролов ; науч. рук. А. Б. Невзорова // МИТРО 2023 – Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника : тезисы докл. науч.-техн. конф. студентов и молодых ученых / Гомель, 6 декабря 2023 г. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 104.

Научное издание

**МИТРО 2025**  
**«Машиностроение. Инновации.**  
**Технологии. Робототехника»**

**Материалы докладов**

Ответственный за выпуск *А. Б. Невзорова*

Редакторы *А. Б. Невзорова, Г. В. Петришин*

Компьютерная вёрстка: *О. А. Ланко, А. Б. Невзорова*

Подписано в свет 03.02.2026

Машиностроительный факультет  
Кафедра «Нефтегазозаботка и гидропневмоавтоматика»