

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В ПЛАНИРОВАНИИ РАЗРАБОТКИ
НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ
ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ НЕФТИ**

П.П. Повжик
(РУП «ПО «Белоруснефть»)
Н.А. Демяненко, А.О. Чекан, П.В. Шамбир
(БелНИПИнефть)

Многолетний опыт по созданию, подбору, адаптации и внедрению технологий повышения эффективности разработки и нефтеотдачи трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) нефти показал, что широкий спектр геолого-физических условий залежей углеводородов, постоянное изменение их во времени при разработке, требует постоянной адаптации и внедрения все более совершенных и эффективных методов воздействия на продуктивные пласты и призабойную зону скважин – создание арсенала эффективных технологий для широкого спектра геолого-физических условий залежей. При этом, планируя применение, адаптацию и внедрение новых технологий, необходимо понимать, какие проблемы в разработке залежей нефти сможет решить та или иная технология, в каких граничных условиях геолого-геофизических свойств она может быть эффективна. С учетом распространения широкого спектра геолого-физических условий залежей и арсенала технологий, необходима разработка системно-адресного подхода к созданию и применению комплекса инновационных технологий повышения эффективности выработки трудноизвлекаемых запасов.

В последние годы этому вопросу в научно-технической литературе уделяется все больше внимания. Для доизвлечения остаточных ресурсов нефти (ТРИЗ) в условиях поздних стадий разработки залежей и достижения максимального КИН авторами [1] создана принципиальная схема планирования ГТМ, разработан механизм оценки успешности мероприятий, составлена классификация причин не успешности мероприятий. Схема включает построение карт плотности остаточных извлекаемых запасов (ОИЗ) с использованием геоинформационных систем, оценку геолого-промысловых условий и технического состояния скважин в зонах повышенной плотностью ОИЗ, оценку ожидаемой экономической эффективности ГТМ. Для выбора наиболее оптимального ГТМ осуществляется анализ ранее выполненных ГТМ и условий их эффективного применения. Эта схема определяет условия планирования эффективных мероприятий среди внедряемых в регионе (на месторождении) для доизвлечения ТРИЗ.

Для обоснованного системного подхода к выбору вида ГТМ, соответствующего текущему состоянию разработки месторождения, предлагается [2] рассматривать динамику разработки нефтяного месторождения

как состоящую из 4 этапов, описывающих его полный жизненный цикл: «юность» – «молодость» – «зрелость» – «старость». Каждый этап жизненного цикла месторождения может быть разбит на стадии, каждой из которых соответствует свой набор ГТМ. По мере перехода от одной стадии разработки к другой вводится в действие подходящий ей комплекс ГТМ и ограничивается область применения ГТМ предыдущей стадии. При этом требуется разработка диагностических критериев, обеспечивающих своевременный ввод в действие ГТМ, соответствующих каждой стадии текущего состояния разработки месторождения.

С целью повышения эффективности опытно-промысловых работ (ОПР) в области методов интенсификации добычи нефти (ИДН) и повышения нефтеотдачи пластов (ПНП), авторами [3] предложен и реализован методический системный подход к планированию ГТМ и ОПР на примере добывающего фонда скважин группы месторождений Соликамской депрессии. В рамках этого подхода при формировании стратегической программы ОПР предлагается выполнять актуализацию реестра осложненного фонда скважин и реестра требуемых технологий. Выбор технологий для включения их в годовую программу ОПР будет осуществляться из заявок, полученных на информационном портале от разработчиков технологий. Авторы [3] считают, что реализация данного подхода в конечном итоге позволит перейти от процесса «перебора» технологий ИДН и ПНП к управлению процессом формирования реестра технологий, эффективных в условиях месторождений Пермского края.

Комплексный подход по подбору скважин-кандидатов для проведения ГТМ, состоящий из нескольких этапов формирования процесса планирования ГТМ, предложен в работе [4]. Процесс планирования ГТМ включает следующие этапы: геолого-промысловый анализ разработки по залежам и участкам; формирование альбома геологических карт; поиск перспективных для ГТМ участков; анализ работы фонда скважин и их технического состояния; анализ энергетического состояния участков залежей; выбор скважин-кандидатов для выполнения ГТМ; расчет ожидаемой технологической эффективности; технико-экономическая оценка планируемого ГТМ. Авторы [4] считают, что такой подход при планировании дает понимание критериев подбора скважин для проведения эффективных мероприятий.

Ряд исследователей решает вопросы системно-адресного подхода эффективного планирования одного вида ГТМ для региона или даже для одного месторождения. В работе [5] предложен подход для планирования бурения боковых стволов (БС), который выполняется комплексом из нескольких этапов, каждый из которых включает в себя ряд задач, их решение позволяет более детально и комплексно подходить к оценке возможных рисков, тем самым повышая успешность бурения боковых стволов и сокращая неэффективные затраты. Выполненные в комплексе исследования помогают определять целесообразность, возможные риски, экономическую рентабельность бурения БС.

В работе [6] приведена схема для обоснования газового и водогазового воздействия на залежах нефти Выинтойского месторождения. Обоснова-

ние эффективного варианта реализации технологии основано на повариантных расчетах на цифровой гидродинамической модели с целью определения оптимального технологического режима и способа воздействия.

В ТатНИПИнефть в последние годы системное воздействие на пласт также исследуется на основе гидродинамического моделирования [7].

Для карбонатных коллекторов Пермского края предложены многомерные зависимости [8] для прогнозирования технологической эффективности водоизоляционных работ в конкретных геолого-технологических условиях. Использование зависимостей позволит повысить эффективность выбора конкретной технологии.

Автор [9] разработал методику выбора проблемно-потенциальных скважин для проведения работ по ограничению водопритоков и восстановлению добывающего фонда на залежи нефти. Выбор скважин-кандидатов основан на ранжировании скважин по потенциалу текущей продуктивности, приходящимся на них остаточным извлекаемым запасам, расположению скважин в системе ППД, ожидаемому технологическому и экономическому эффекту.

В работе [10] предложен алгоритм выбора технологии соляно-кислотной обработки (СКО), который совмещает этапы геологического и технологического выбора на основе ретроспективного анализа эффективности СКО и получения представления об успешной обработке. Используя данный алгоритм при анализе обработок на конкретном объекте, можно определить эффективность СКО при соблюдении геологических и технологических критериев.

Для планирования циклического или нестационарного заводнения (НЗ) [11] применяют алгоритм, состоящий из трех основных этапов:

- 1) выбор объектов и участков на месторождении;
- 2) классификация участков по степени ожидаемой эффективности НЗ;
- 3) разработка адресной программы практической реализации НЗ.

Системная технология воздействия на пласт [12] основывается на единовременной и массовой обработке призабойных зон (ПЗП) нагнетательных и добывающих скважин.

В ПАО «Газпромнефть» для адресного применения методов увеличения нефтеотдачи (МУН) создается система поиска, отбора и адаптации комплекса технологий по повышению эффективности разработки действующих месторождений [13]. Для этого специалисты компании ведут скрупулезный поиск передовых и новых технологий, охватывающий весь современный технологический мир, научно-техническое пространство, в рамках которого возможно присутствие инновационных идей, принципов и методов, которые были опробованы мировым нефтяным сообществом. Осуществляется постоянный анализ мировой практики применения технологий. Для всех существующих на рынке технологий повышения нефтеотдачи проводится скрининг применимости по параметрам пластов и условиям их залегания.

Все рассмотренные выше подходы направлены на планирование эффективного применения уже адаптированных к конкретным условиям технологий, имеющихся в арсенале предприятий. Они не рассматривают, каким

образом подходить к планированию и выбору направлений разработки новых технологических решений под ТриЗ с новыми геолого-физическими особенностями, образовавшиеся в результате разработки месторождений или возникшие в результате геолого-разведочных работ. Некоторые идеи решения этого вопроса рассмотрены в работе [14]. В ней показано, что для выбора эффективных технологий увеличения нефтеотдачи пластов следует детально изучать геологию эксплуатируемых месторождений (в том числе на нано уровне), что позволит понять трудности выработки разных категорий запасов. Поскольку нет даже двух идентичных месторождений, новые технологии увеличения нефтеотдачи должны создаваться адресно для каждого месторождения и эксплуатационного объекта. Это позволит целенаправленно разрабатывать и применять новые МУН с учетом конкретных геолого-физических условий, даст возможность повысить эффективность их внедрения, обеспечивая максимальный эффект.

Из приведенного обзора видно, что все авторы считают применение системно-адресного подхода наиболее предпочтительным в разрабатываемых и используемых методах подбора эффективных технологий. Однако при разработке методов планирования упор, в основном, делается на сборе информации по выполненным ГТМ, анализе и ранжировании внедряемых технологий по фактически достигнутой эффективности. Практически ни в одной работе не рассматриваются геолого-физические критерии, граничные условия эффективного применения технологий. Большинство методик адресного планирования ГТМ решают узкий круг задач. Практически не рассматриваются подходы в вопросах планирования разработки новых технологий для изменяющихся во времени геолого-физических свойств залежей. Исключением является работа [14], в которой предлагается при планировании к разработке адресно учитывать трудности выработки разных категорий запасов и их конкретные геолого-физические особенности.

Многолетний опыт разработки и внедрения новых технологий на нефтяных месторождениях Припятского прогиба показал, что решение тех или иных проблем в разработке месторождений целесообразно связывать с соответствующей категорией запасов, имея в виду традиционные и трудноизвлекаемые запасы. Широкий спектр геолого-физических условий и изменение их во времени, при разработке залежей, требует постоянной разработки и внедрения все более совершенных и эффективных методов воздействия на продуктивные пласты и призабойную зону скважин – расширение арсенала эффективных технологий для изменившихся геолого-физических условий залежей. Однако при этом необходимо понимать, какие требования должны предъявляться к новой технологии, чтобы она обеспечивала технико-экономический эффект при последующем внедрении.

Анализируя проблемы выработки ТриЗ, сосредоточенных на различных залежах нефти, решение которых позволит в значительной степени положительно повлиять на повышение эффективности их разработки, пришли к необходимости создания системно-адресного подхода, как на

стадии выделения и группирования этих проблем, так и на стадии их практического решения. Системно-адресный подход – это планомерная системная работа над расширением спектра технологий, учитывающих геолого-физические свойства, проблемы разработки каждого из обоснованных классов ТРИЗ. Системный подход должен показывать путь к созданию и применению комплекса инновационных технологий повышения эффективности выработки трудноизвлекаемых и нетрадиционных запасов. Он заключается в разработке научно-методического подхода (последовательности действий) по установлению структурных связей между геолого-физическими свойствами ТРИЗ, проблемами их разработки и граничными условиями эффективного применения технологий.

Системно-адресный подход предполагает выполнение следующего алгоритма (последовательности действий) (рисунок 1):

1) Определение основных геолого-физических характеристик (ГФХ) и проблем, не позволяющих эффективно вырабатывать трудноизвлекаемые запасы.

2) Разделение трудноизвлекаемых запасов на классы (группы) с учетом текущих геолого-физических характеристик коллекторов и технологических проблем разработки.

3) Анализ обеспеченности классов ТРИЗ имеющимися эффективными технологиями из традиционных, внедряемых в регионе (на месторождении).

4) Обоснование направлений поиска под ГФХ и проблемы ТРИЗ, в которых традиционные технологии низкоэффективны или не эффективны.

5) Обоснование по проблемам ТРИЗ требований к новым технологиям, планируемым к разработке, для достижения максимального эффекта и устранения существующих проблем разработки.

6) Применение при обосновании эффективных технологий научного подхода по поиску, обоснованию, отбору, опробованию и адаптации комплекса технологий по повышению эффективности разработки каждого из классов ТРИЗ, включающего:

– теоретическое обоснование направлений исследований;

– подготовка программы лабораторных, фильтрационных и цифровых экспериментов;

– обоснование путем лабораторных, фильтрационных исследований и моделирования на постоянно действующих геолого-гидродинамических моделях решений, позволяющих рентабельно вырабатывать ТРИЗ.

7) Обобщение результатов исследований и выбор объекта ОПР.

8) Разработка программы ОПР.

9) Оценка ожидаемой технико-экономической эффективности новой технологии на объекте ОПР.

10) Опробование новой технологии (реализация программы ОПР) для условий конкретного объекта (класса ТРИЗ).

11) Анализ полученных результатов и разработка на их основе численных критериев эффективного внедрения разработанной технологии.

12) Обобщение численных критериев эффективного внедрения нескольких разработанных новых технологий, создание системы (матрицы) выбора, на основе численных критериев эффективного внедрения, технологий для наиболее эффективного воздействия на ТриЗ.

Применение этого алгоритма позволило для месторождений Припятского прогиба разделить ТриЗ по ГФХ и проблемам разработки на классы [15]. Анализ обеспеченности классов ТриЗ имеющимися эффективными технологиями из традиционных, внедряемых в регионе, показал [16], что для ТриЗ, сосредоточенных в заводненных залежах и низкопроницаемых коллекторах, спектр опробованных и адаптированных технологий недостаточен для охвата эффективным воздействием всего интервала текущих геолого-физических свойств пластов. Кроме того, установлено, что для промышленно внедряемых технологий на рассматриваемых залежах, по мере выработки запасов, при их многократном применении на одних и тех же объектах, характерно снижение эффективности и рентабельности в 3-5 раза для 4-5 повторной операции. Поэтому необходим поиск инновационных технологий, соответствующих изменившимся геолого-физическим условиям залежей. Для классов ТриЗ в залежах с начальными геологическими запасами менее 300 тыс. т, вскрытых одиночными скважинами, представленными подклассами низкопроницаемых, неоднородных и засоленных коллекторов, а также для подгазовых залежей и нетрадиционных коллекторов рентабельные технологии разработки и воздействия на пласт отсутствуют.

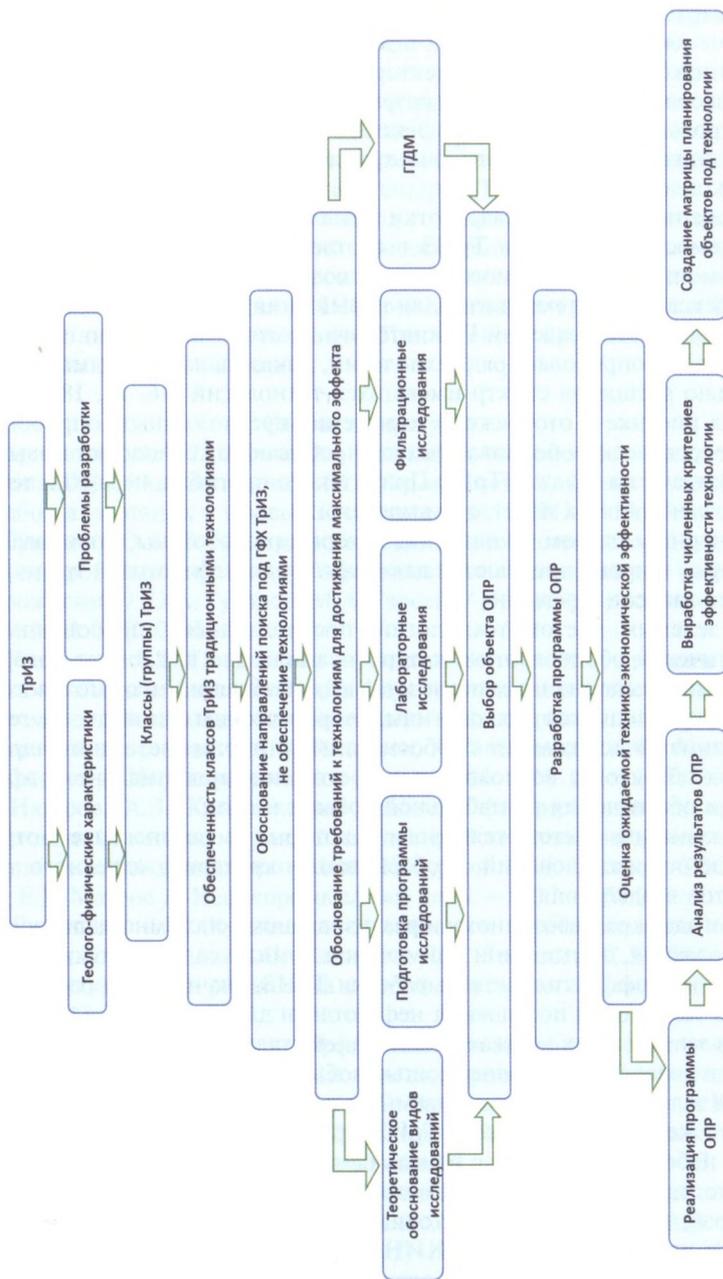
Сопоставление классов ТриЗ с наличием промышленно внедряемых технологий показывает, что имеющийся арсенал технологий не может обеспечить рентабельной выработки ТриЗ. Поэтому весьма актуальной задачей является расширение спектра технологий с учетом геолого-физических свойств и проблем разработки каждого из обоснованных классов ТриЗ. В связи с этим для выше названных классов ТриЗ обоснованы направления исследований и требования к новым технологиям. Эти требования сформулированы следующим образом.

Для нетрадиционных коллекторов в связи с их весьма низкой проницаемостью разрабатываемые технологии должны быть направлены на увеличение зон дренирования (охват пластов дренированием) и на повышение эффективности вытеснения нефти.

Для класса ТриЗ, включающего залежи с начальными геологическими запасами менее 300 тыс. т и вскрытыми одиночными скважинами, разрабатываемые технологии должны обеспечивать рентабельную добычу одиночными скважинами с целью обеспечения обустройства только одной скважины, чтобы максимально снизить затраты на капитальное строительство. В случае наличия на залежах засоленных коллекторов, технологии также должны обеспечивать интенсификацию притока за счет их рассоления.

Для класса ТриЗ в заводненных залежах на последней стадии разработки разрабатываемые и адаптируемые технологии должны обеспечи-

Рисунок 1. – Алгоритм системно-адресного планирования разработки новых технологий для повышения эффективности разработки ТРИЗ



вать выработку мало дренируемых или не дренируемых целиков, а также увеличение КИН за счет ПНП в зонах с рассеянными запасами.

В низкопроницаемых коллекторах повысить рентабельность выработки запасов планируется путем разработки технологий для увеличения зон дренирования, повышения эффективности вытеснения пластовых флюидов и снижения активности фильтрационных процессов по пропласткам суперколлекторов.

Решение проблемы разработки новых технологий для повышения эффективности разработки ТриЗ в соответствии с разработанным «Алгоритмом системно-адресного подхода создания, адаптации и применения комплекса новых технологий для повышения эффективности выработки ТриЗ для месторождений Припятского прогиба» позволило предложить, обосновать, опробовать ряд технологий, доказать их эффективность, значительно расширив спектр имевшихся технологий [16, 17, 18]. В работе [16] на рисунке 3 отображено положение предложенных, опробованных или теоретически обоснованных к опробованию технологий повышения нефтеотдачи на залежах ТриЗ Припятского прогиба в иерархии технологий воздействия на пласт, где выделены:

- черным цветом технологии, которые разработаны, опробованы ранее и уже широко внедряются для повышения нефтеотдачи трудноизвлекаемых запасов в регионе;

- зеленым цветом технологии, предложенные, опробованные или теоретически обоснованные к опробованию, для каждой из которых на основании выполненных исследований, обобщения промышленного опыта по внедрившимся технологиям, теоретическим расчетам на геолого-гидродинамических моделях обоснованы критерии системного адресного выбора объектов с возможностью достижения максимального эффекта, КИН и обеспечения рентабельной добычи нефти;

- красным цветом технологии, которые в перспективе потребуют проведения исследований и обоснования критериев адресного выбора объектов воздействия.

Благодаря разработанному и реализованному системно-адресному подходу создания, адаптации и применения комплекса новых технологий для повышения эффективности выработки ТриЗ, значительно расширен диапазон технологий повышения нефтеотдачи для ТриЗ, сосредоточенных:

- в заводненных залежах на последней стадии разработки с выработкой запасов более 0,7 и обводненностью добываемой продукции выше 80 %;

- в залежах с низкопроницаемыми коллекторами.

В то же время для классов ТриЗ Припятского прогиба: сосредоточенных в небольших залежах с начальными геологическими запасами менее 300 тыс. т, вскрытыми одиночными скважинами; в нетрадиционных коллекторах, для которых до настоящего времени технологии рентабельной добычи нефти и повышения КИН отсутствовали, предложен, уже опробован или теоретически обоснован к опробованию комплекс технологий

системного адресного воздействия. Для каждой технологии определены численные граничные критерии ее эффективного применения.

На основании обобщения численных граничных значений критериев эффективного применения создана матрица планирования технологий под условия объектов (участков залежей, скважин) [19], которая стала основой для разработки программного обеспечения по цифровому планированию методов повышения нефтеотдачи ТРИЗ.

Разработанный «Алгоритм и подход создания, адаптации и применения комплекса новых технологий для повышения эффективности выработки ТРИЗ» является универсальным. Его можно распространить и адаптировать для увеличения КИН и рентабельности разработки ТРИЗ с условиями, аналогичными условиям Припятского прогиба, других нефтегазодобывающих провинций.

Список литературы

1. Артамонов, А.А. Практическая реализация современных подходов планирования ГТМ / А.А. Артамонов, М.А. Альмухаметов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013. – № 6. – С. 44-48.
2. Гуторов, Ю.А. О возможности реализации системного подхода при решении проблемы повышения эффективности эксплуатации нефтяных месторождений / Ю.А. Гуторов, М.А. Гареев // Нефтепромысловое дело. – 2013. – № 2. – С. 27-29.
3. Распопов, А.В. Повышение эффективности опытно-промышленных работ за счет изменения подхода к выбору технологий воздействия на пласт (на примере действующего добывающего фонда группы месторождений Соликамской депрессии) / А.В. Распопов, А.С. Казанцев, А.Ю. Карманов, В.А. Жигалов // Нефтепромысловое дело. – 2016. – № 11. – С. 31-39.
4. Натаров, А.Л. Комплексный подход к формированию программы геолого-технических мероприятий по довыработке запасов и реанимации фонда на месторождениях республики Удмуртия / А.Л. Натаров, С.Ю. Борхович, Е.Г. Матрос // Нефтепромысловое дело. – 2017. – № 3. – С. 32-36.
5. Распопов, А.В. Комплексный подход к планированию боковых стволов / А.В. Распопов, А.С. Казанцев, Д.В. Леонтьев, С.В. Летунова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 12. – С. 52-55.
6. Валеев, А.С. Повышение эффективности выработки остаточных запасов нефти из низкопроницаемых коллекторов с использованием газового и водогазового воздействия / А.С. Валеев, Ю.А. Котенев, А.Ю. Котенев, В.Ш. Мухаметшин, Ш.Х. Султанов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2019. – № 7. – С. 59-64.
7. Насыбуллин, А.В. Развитие технологий системного воздействия на пласт с применением гидродинамического моделирования / А.В. Насыбуллин, М.Н. Ханипов, Р.З. Саттаров // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 7. – С. 36-39.

8. Поплыгина, И.С. Экспресс-прогнозирование эффективности водоизоляционных работ в карбонатных коллекторах / И.С. Поплыгина // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2019. – № 7. – С. 86-89.

9. Куликов, А.Н. Методика выбора скважин для проведения работ по ограничению водопритока и восстановлению добывающего фонда / А.Н. Куликов // Нефтепромысловое дело. – 2012. – № 7. – С. 19-23.

10. Ганиев, Ш.Р. Разработка алгоритма выбора скважин и технологической солянокислотного воздействия на карбонатные пласты Республики Башкортостан / Ш.Р. Ганиев, А.В. Лысенков, Ш.А. Гафаров // Нефтяное хозяйство. – 2021. – № 2. – С. 77-81.

11. Гуляев, В.Н. Исследование влияния нестационарного заводнения на эффективность разработки месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» / В.Н. Гуляев, Н.П. Захарова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2019. – № 9. – С. 48-51.

12. Жданов, С.А. Системная технология воздействия на пласт / С.А. Жданов, Д.Ю. Крянев, А.М. Петраков // Нефтяное хозяйство. – 2006. – № 5. – С. 84-86.

13. Шульев, Ю.В. Системное внедрение новых технологий в ОАО «Газпром нефть» / Ю.В. Шульев // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 12. – С. 4-7.

14. Муслимов, Р.Х. Проблемы модернизации и развития инновационных технологий разработки нефтяных месторождений в связи с существенным изменением ресурсной базы / Р.Х. Муслимов // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 5. – С. 72-76.

15. Повжик, П.П. Классификация трудноизвлекаемых запасов углеводородов Припятского прогиба и основные проблемы их разработки / П.П. Повжик, А.В. Халецкий, В.Г. Седач, Н.А. Демяненко // Недропользование XXI век. – 2017. – № 6 (69). – С. 38-45.

16. Повжик, П.П. Современные подходы в планировании разработки новых технологий повышения нефтеотдачи трудноизвлекаемых запасов нефти / П.П. Повжик, Н.А. Демяненко, А.О. Чекан, П.В. Шамбир // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2022. – № 2 (128). – С. 57-65.

17. Повжик, П.П. Системный подход к разработке трудноизвлекаемых запасов в РУП «ПО «Белоруснефть» на основе применения адресных технологий воздействия / П.П. Повжик, И.В. Жук, Д.В. Сердюков, И.Ю. Мармылев, Н.А. Демяненко // Недропользование XXI век. – 2018. – № 4. – С. 148-159.

18. 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. 134-141.

19. Повжик, П.П. Алгоритм системного подхода создания и планирования комплекса инновационных технологий для повышения эффективности выработки ТРИЗ / П.П. Повжик // Недропользование XXI век. – 2019. – № 6. – С. 42-53.