

Вестник НГУЭУ. 2022. № 4. С. 30–43
Vestnik NSUEM. 2022. No. 4. P. 30–43

Научная статья
УДК 338.27;332.1;622
DOI: 10.34020/2073-6495-2022-4-030-043

ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО СЕКТОРА В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

Ефимов Валерий Сергеевич¹, Лаптева Алла Владимировна²

^{1,2} *Сибирский федеральный университет*

¹ efimov.val@gmail.com

² avlapteva@yandex.ru

Аннотация. Предмет исследования – перспективы технологического развития нефтегазовой промышленности в Красноярском крае в период до 2030 г. Проанализированы прогнозы развития нефтегазового сектора, выделены группы значимых технологий. Проведен анкетный опрос экспертов, на основе экспертных оценок выделены технологии, перспективные для модернизации существующих и развертывания новых производств в крае; это технологии сейсморазведки, исследования скважин, прогнозной оценки продуктивности пластов, 3D-моделирования осадочных бассейнов; технологии, обеспечивающие эффективное природопользование и защиту окружающей среды.

Ключевые слова: нефтегазовая промышленность, Красноярский край, перспективные технологии

Для цитирования: Ефимов В.С., Лаптева А.В. Перспективы технологического развития нефтегазового сектора в Красноярском крае // Вестник НГУЭУ. 2022. № 4. С. 30–43. DOI: 10.34020/2073-6495-2022-4-030-043.

Original article

PROSPECTS FOR THE TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF THE OIL AND GAS SECTOR IN THE KRASNOYARSK REGION

Efimov Valery S.¹, Lapteva Alla V.²

^{1,2} *Siberian Federal University*

¹ efimov.val@gmail.com

² avlapteva@yandex.ru

Abstract. The study is focused on the prospects for the technological development of the oil and gas industry in the Krasnoyarsk Territory in the period up to 2030. The forecasts for the development of the oil and gas sector are analyzed, and groups of significant technologies are identified. A survey of experts was conducted; based on expert assessments, technologies were identified that are promising for the modernization of existing and

© Ефимов В.С., Лаптева А.В., 2022

deployment of new industries in the region; these are technologies for seismic exploration, well research, predictive assessment of reservoir productivity, 3D modeling of sedimentary basins; technologies that ensure efficient nature management and environmental protection.

Keywords: oil and gas industry, Krasnoyarsk Territory, promising technologies

For citation: Efimov V.S., Lapteva A.V. Prospects for the technological development of the oil and gas sector in the Krasnoyarsk region. *Vestnik NSUEM*. 2022; (4): 30–43. (In Russ.). DOI: 10.34020/2073-6495-2022-4-030-043.

1. Введение

Добыча углеводородов является одним из значимых секторов экономики множества стран (США, Россия, Саудовская Аравия, Ирак, Китай, ОАЭ, Канада и др.), она создает сырьевую базу энергетики, производства топлив, нефте- и газохимии. Доля углеводородов в топливно-энергетическом балансе промышленно развитых стран, включая Россию, составляет около 50 % [2]. В России нефтегазовый сектор важен как источник формирования доходов федерального и региональных бюджетов. Соответственно, перспективы технологического развития данного сектора являются предметом пристального внимания исследователей и консалтинговых компаний. Проводится анализ состояния и перспектив развития сектора, ситуации на рынках углеводородов, тенденций технологического развития [1, 3–11].

НИУ «Высшая школа экономики» подготовил ряд докладов, в которых представлены глобальные тренды нефтегазовой промышленности [5], приоритетные области прикладных исследований и разработок, которые станут основой новых технологий [3, 4].

В докладе [5] обсуждаются глобальные тренды в секторе добычи углеводородов. Ключевой тренд – усиление конкуренции между странами за надежный доступ к ископаемым энергоресурсам и рынки сбыта. Страны-импортеры стремятся к энергетической самодостаточности и диверсификации типов энергоресурсов и поставщиков. Добывающие страны совершенствуют технологии повышения нефтеотдачи и разработки нетрадиционных углеводородов. Одновременно ужесточаются природоохранные нормативы и ограничения по выбросам CO_2 , требования к качеству моторных топлив (перспектива – переход к водородным и электродвигателям). «Окнами возможностей» для России являются: смещение экспорта на страны АТР (прежде всего Китай и Индию); снижение издержек разведки и добычи углеводородов на основе новых методов и технологий, повышение нефтеотдачи; развитие сервисных компаний; повышение эффективности сектора на основе цифровой трансформации; рост доли продукции высоких переделов; развитие технологий улавливания и использования углерода.

В отношении будущего нефтегазового сектора проводится сравнительно немного технологических форсайтов и прогнозов (при многочисленности прогнозов, которые относятся к динамике рынков – [11] и др.). Имеющиеся исследования связывают его будущее с изменениями скорее не базовых процессов, а с развитием «сервисных технологий» – геологоразведки, проектирования процессов разработки и эксплуатации месторождений, моде-

лирования производственной и транспортной логистики, управления технологическими и бизнес-процессами.

Основным вызовом, который определяет направленность развития базовых технологий нефтегазового сектора, является истощение запасов «легкой нефти» и доступного газа. По оценке консалтинговой компании Deloitte, в результате истощения месторождений глобальная добыча углеводородов снижается в среднем на 6–7 % ежегодно [9, с. 3]; при этом снижается коэффициент загрузки нефтеперерабатывающих заводов (например, в США – более чем с 90 до 70 %) [9, с. 7].

В этих условиях требуется переход к добыче, транспортировке, переработке углеводородов, находящихся в сложных геологических и природно-климатических условиях (включая добычу и переработку «тяжелой» нефти и битума, добычу из низкопроницаемых коллекторов, разработку месторождений в труднодоступных районах Севера и на арктическом шельфе). В перспективе до 2030 г. продолжится добыча и разработка нетрадиционных видов углеводородного сырья: битумов, нефтяных песков, сланцевого газа, метана угольных пластов, что потребует разработки новых технологий. В России обсуждаются перспективы добычи трудноизвлекаемой нефти баженовской свиты (аналог сланцевой нефти в США), запасы которой оцениваются до 170 млрд т [1, с. 10–18].

Ограниченность разведанных запасов углеводородов обуславливает актуальность совершенствования нефтегазовых технологий в направлении максимально полного извлечения запасов нефти и газа при соблюдении экологических требований и жестком контроле себестоимости добычи. В Норвегии достигнут коэффициент извлечения нефти на уровне 70 %, в США – более 50 %, а в России – менее 30 % [2, с. 63]. Компании разрабатывают высокотехнологические решения во всех методах повышения нефтеотдачи и интенсификации добычи – тепловых, газовых, химических, гидродинамических и методах увеличения дебита скважин [1, с. 76–89].

Другим вызовом является ужесточение экологических требований – переход к низкоуглеродной экономике, переход от «грязных» технологических процессов к природосберегающим, экономным в отношении используемых ресурсов (энергосбережение, «зеленая химия» и др.). Крупные компании, такие как BP и Shell, нацелились на сокращение добычи нефти и газа и соответствующих инвестиций на 40 % в течение следующего десятилетия, одновременно используя свои технологии и компетенции для перехода от «углеводородной» бизнес-модели к улавливанию, утилизации и хранению углерода (CCU) и хранению энергии на основе водорода. Растущие с начала 2021 г. цены на нефть позволяют компаниям инвестировать в новые и дорогостоящие технологические решения. Также давление на компании оказывают механизмы оценки активов, учитывающие их ESG-профили. Приоритетом таких компаний становится «обнуление» собственного «углеродного следа». Нефтесервисные компании (Baker Hughes и др.) также перенастраивают бизнесы и переходят к разработке процессов и технологий по всей цепочке создания стоимости улавливания углерода [8, 9].

Магистральным направлением технологического развития нефтегазового сектора будет широкое использование технологий 5-го и 6-го техно-

логических укладов – «цифровая революция» и «революция материалов». Цифровые технологии являются основой моделирования нефтегазоносных слоев, проектирования производственных процессов, установок и оборудования и др., их эффективной эксплуатации. Новые материалы будут использоваться для создания нового поколения буровых инструментов, катализаторов, нефтегазового оборудования.

В докладе, подготовленном под научным руководством И.Г. Дежиной [1], обсуждаются направления применения цифровых технологий в нефтегазовом секторе и ожидаемые эффекты. Использование цифровых моделей существенно повысит эффективность технологий гидроразрыва пласта (ГРП), применяемых при добыче углеводородов низкопроницаемых коллекторов. Длительное время технологии ГРП развивались благодаря накоплению практического опыта дорогостоящим путем проб и ошибок. При этом возможности моделирования значительно отставали от развития самих технологий. Ситуация изменится при подключении технологий «Больших Данных» (систем сбора и хранения технологических данных), прогнозной аналитики, самообучающихся алгоритмов оптимизации процессов – они должны стать неотъемлемой компонентой функционирования разведочных, буровых и добычных комплексов. Новым уровнем технологий добычи станет создание искусственных коллекторов, при этом нефтесодержащие отложения рассматриваются как «сырье», которое подлежит преобразованию с помощью самых современных способов стимуляции притоков нефти.

Значимое направление использования цифровых технологий – улучшение взаимодействий компаний с клиентами и собственными работниками. Интернет (включая Интернет вещей), робототехника и искусственный интеллект используются для выстраивания внешних и внутренних операций компании с целью обеспечить приятное путешествие потребителя по различным точкам соприкосновения с компанией («умные» заправочные станции и др.). Эти же технологии позволяют создавать гибкие структуры рабочей силы (удаленные, гибридные и трансграничные команды), позволяющие конкурировать за наиболее компетентных и талантливых специалистов на узком рынке труда [8].

В докладе Deloitte Center for Energy Solutions [10] представлена модель целостной цифровой трансформации нефтедобывающей компании, которая охватывает все ее внутренние процессы и, в конечном счете, всю экосистему компании, включая цепочку поставок и внешних стейкхолдеров. Наибольший потенциал создания стоимости имеют технологии цифровой визуализации данных сейсморазведки и разведочного бурения, оценки потенциала месторождений, трехмерного моделирования, оптимизации размещения скважин, разработки стратегии извлечения нефти, исключающей появление низкодебитовых скважин. При этом будут использоваться технологии высокопроизводительных вычислений – квантовые компьютеры, облачные вычисления; технологии виртуальной реальности; машинное обучение; цифровые двойники (последние требуют стандартизации форматов данных и методов их интеграции). Далее, автоматизированные си-

системы мониторинга, проактивной корректировки работы оборудования; системы автономного бурения и робототехника (особенно на оффшорных месторождениях). Использование облачных технологий и платформ для аккумуляции, анализа данных и выработки решений делает остроактуальными технологии кибербезопасности.

В мире основными «двигателями» технологического развития нефтегазового сектора являются малые и средние нефтесервисные компании. Для России характерно доминирование небольшого числа вертикально-интегрированных компаний-монополистов, которые в течение десятилетий ограничивались закупкой новых технологий у международных нефтесервисных компаний [1, с. 131]. Введение санкций и необходимость импортозамещения могут создать новую ситуацию, в которой крупные компании инвестируют в развитие собственных технологий.

Предмет данной публикации – перспективы технологического развития нефтегазовой промышленности в Красноярском крае.

Актуальность исследования для региона обусловлена формированием в Красноярском крае полноценного нефтегазового кластера, который включает компании, осуществляющие добычу нефти и газа (АО «Ванкорнефть», ООО «Славнефть-Красноярскнефтегаз», АО «Восточно-Сибирская нефтегазовая компания», АО «Норильскгазпром», ряд малых и средних нефтегазовых компаний), их транспортировку (ОАО «Транснефть-Восток», РН-Ванкор, АО «Норильсктрансгаз»); переработку углеводородного сырья (ООО «Ачинский НПЗ», заводы по производству СПГ). Кластер включает также сервисные компании (буровые подрядчики, компании, которые занимаются обустройством месторождений), производителей нефтепромыслового оборудования (ОКБ «Зенит»), научно-исследовательские, проектные и образовательные организации (ООО «РН-Красноярскнипинефть», Институт нефти и газа Сибирского федерального университета, Красноярский научно-исследовательский институт минерального сырья и др.). На территории края разворачиваются крупные инвестиционные проекты: Восток Ойл (объединение арктических месторождений нефти Ванкор, Пайях и др.; строительство порта в бухте Север на полуострове Таймыр для вывоза нефти с этих месторождений и строительство нефтепровода к этому порту); освоение Ванкорской группы месторождений (запасы газа составляют более 580 млрд м³, нефти – около 600 млн т); модернизация АО «Ачинский нефтеперерабатывающий завод Восточной нефтяной компании» (Красноярский край).

Исследование включило: 1) концептуальный анализ совокупности традиционных и перспективных технологий, используемых в секторе добычи и переработки нефти и газа; 2) оценку экспертами различных групп технологий с точки зрения перспективности для модернизации существующих и для развертывания новых производств в регионе.

Исследование выполнено в рамках гранта № КФ-877 «Разработка Концепции промышленной политики Красноярского края в условиях цифровой трансформации до 2030 года» при поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

2. Методология исследования

Для выделения групп технологий, подлежащих оценке, применены методы: концептуальный анализ структуры деятельности в нефтегазовом секторе; анализ публикаций и выявление технологий, которые обсуждаются профессиональным сообществом как перспективные для сектора. Основными источниками послужили «Прогноз научно-технологического развития России: 2030» [4], «Стратегическая программа исследований Технологической платформы “Технологии добычи и использования углеводородов”» [7], «Стратегическая программа исследований технологической платформы “Глубокая переработка углеводородного сырья”» [6]. Сверхзадачей концептуальной работы является достижение полноты видения «поля» перспективных технологий и решений.

Для оценки и сравнения перспективности различных технологий в контексте развития нефтегазового сектора Красноярского края был применен стандартизированный опрос экспертов с использованием специально разработанной анкеты. В опросе приняли участие 32 эксперта – сотрудники и преподаватели университетов, представители органов власти и консалтинговых компаний. Им предлагалось оценить перспективность 63 групп технологий в период до 2030 г., используя пятибалльную шкалу: 5 баллов – очень высокая перспективность; 4 балла – высокая; 3 балла – средняя; 2 балла – низкая; 1 балл – очень низкая перспективность. При обработке данных опроса рассчитывались средние баллы оценки экспертами каждой технологии, далее построена «карта» технологий в координатах «оценка перспективности технологий для модернизации существующих производств в Красноярском крае» и «оценка перспективности технологий для развертывания новых производств в Красноярском крае» (рисунок).

3. Результаты исследования

3.1. Результаты концептуального анализа и анализа публикаций

В обобщенном виде структура деятельности в нефтегазовом секторе содержит: геологоразведку, добычу и транспортировку углеводородов, первичную и глубокую переработку углеводородов, организацию производственного процесса и обеспечение его эффективности на всех стадиях, от геологоразведки до глубокой переработки добытого сырья.

Соответственно перспективные технологии включают большие группы [4, 6, 7]:

1) технологии геологоразведочных работ и исследования скважин [4, с. 162, 199; 7, с. 41];

2) новые технологии, материалы, реагенты для бурения, строительства и эксплуатации скважин, включая технологии разработки трудноизвлекаемых углеводородов (низкопроницаемые коллекторы, высоковязкие нефти и др.) [7, с. 41];

3) технологии транспортировки углеводородов; технологии защиты окружающей среды [7, с. 36–37];

4) процессы и катализаторы переработки тяжелых нефтей и нефтяных фракций [6, с. 126];

5) технологии производства эффективных и экологически чистых моторных топлив и сырья для нефтехимии [6, с. 126–127];

6) процессы переработки природного и попутного газа, получения водорода [6, с. 127–128];

7) процессы и катализаторы производства мономеров для нефтехимии, производства продуктов нефтехимического основного и тонкого органического синтеза [6, с. 128–129];

8) процессы и катализаторы производства полимерных материалов, в том числе для экстремальных условий и производства композиционных материалов [6, с. 129–130].

Каждая большая группа содержит множество включенных групп технологий; всего в рамках исследования рассматривались 63 группы, которые для краткости далее обозначаются как «технологии».

3.2. Карта перспективных технологий нефтегазового сектора в Красноярском крае – результаты экспертного опроса

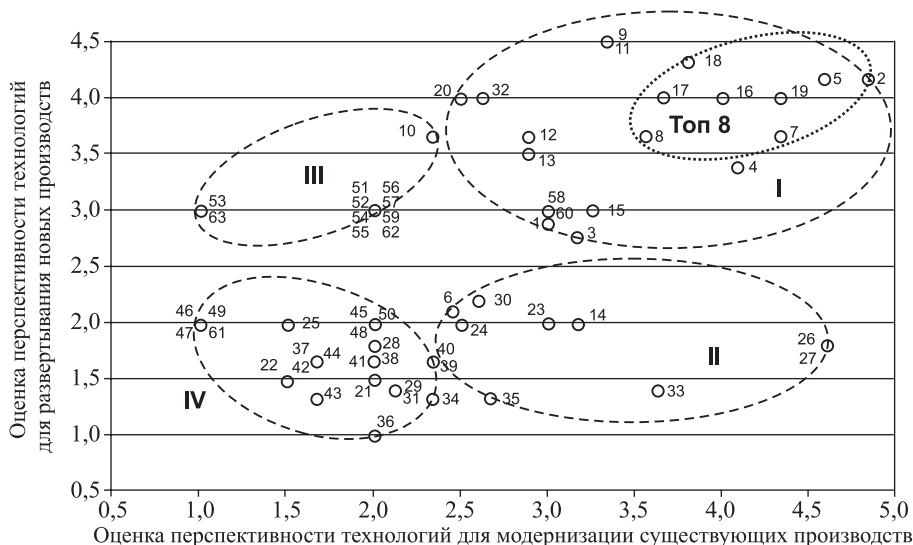
На основе средних баллов экспертных оценок перспективности технологий в период до 2030 г. построена «карта» (рисунок). Технологии отмечены на карте кружками, расположение которых на координатной плоскости отражает «оценку перспективности для модернизации существующих производств в Красноярском крае» и «оценку перспективности для развертывания новых производств в Красноярском крае».

На карте можно выделить четыре группы технологий.

Группа I – технологии, которые одновременно получили высокие оценки экспертов (средний балл выше 2,5) по двум параметрам – перспективность использования для модернизации существующих производств и для развертывания новых производств в регионе. Внутри группы I выделена подгруппа «Топ 8», это восемь технологий, получивших средние оценки 3,5 и более по обоим параметрам.

В группу I вошли практически все предложенные экспертам для рассмотрения технологии разведочных работ, исследования скважин, 3D-моделирования осадочных бассейнов и прогнозирования месторождений углеводородов. Следует отметить, что технологии сейсморазведки, исследования скважин, прогнозной оценки продуктивности пластов, 3D-моделирования осадочных бассейнов вошли в «Топ 8». Также в группу I вошли многие технологии, используемые при бурении, строительстве, эксплуатации скважин, необходимые для работы в сложных геологических и климатических условиях, для интенсификации добычи углеводородов и повышения отдачи пластов, для обеспечения ресурсосбережения и энергоэффективности при разработке и эксплуатации месторождений.

Высоко оценены экспертами и вошли в группу I технологии и оборудование, обеспечивающие надежную и энергоэффективную транспортировку углеводородов, уменьшение воздействия нефтегазового производства на окружающую среду, переработку и уничтожение отходов. Все технологии,

**ТЕХНОЛОГИИ:**

1 – геологоразведки с использованием беспилотных летательных аппаратов
 2 – сейсморазведки
 3 – разведки шельфовых месторождений
 4 – разведки в сложных геологических условиях
 5 – прогнозной оценки продуктивности нефте- и газоносных пластов
 6 – программные комплексы для повышения точности прогнозов
 7 – исследования скважин, в том числе наклонных, горизонтальных и разветвленных
 8 – 3D-моделирования осадочных бассейнов для прогнозирования месторождений полезных ископаемых
 9 – бурения в сложных геологических и климатических условиях
 10 – насосное оборудование для добычи нефти, энергоэффективные установки для добычи и транспорта нефти, газа, многофазных систем
 11 – реагенты, оборудование, матем. алгоритмы процессов интенсификации добычи нефти, газа и газоконденсата, в том числе гидроразрывы пласта
 12 – реагенты, оборудование, матем. алгоритмы процессов повышения отдачи пластов, в том числе истощенных
 13 – процессов разработки и добычи нефти и газа на шельфе
 14 – добычи углеводородов из нетрадиционных источников (высоковязкие нефти, сланцевый и угольный газ, газогидраты)
 15 – системы утилизации попутного нефтяного газа
 16 – обеспечения энергоэффективности и ресурсосбережения при разработке и эксплуатации месторождений
 17 – обеспечения энергоэффективности и надежности транспортировки углеводородов
 18 – снижения экологической нагрузки нефтегазового производства на окружающую среду
 19 – переработки и уничтожения отходов нефтеперерабатывающей отрасли
 20 – глубокой переработки нефти и тяжелых остатков на наноразмерных катализаторах в сырье для нефтехимии и моторные топлива
 21 – производства катализаторов гидрокрекинга различных нефтяных фракций
 22 – производства катализаторов гидроочистки газойлей и мазута
 23 – производства коксов специального вида
 24 – производства битумов

25 – производства сажи
 26 – получения моторных топлив Евро-5, Евро-6 (легкий гидрокрекинг, гидроочистка бензинов каталитического крекинга, глубокая гидроочистка дизельных топлив)
 27 – получения зимних и арктических дизельных топлив
 28 – каталитического крекинга и глубокого каталитического крекинга для получения моторных топлив и сырья для нефтехимии
 29 – производства высококачественных масел
 30 – получения высокооктанового компонента автобензинов Евро-4 и Евро-5 алкилированием
 31 – гидроароматизации и гидродепарафинизации базовых масел
 32 – производства октаноповышающих добавок
 33 – производства катализаторов: крекинга, в том числе глубокого каталитического крекинга; риформинга, в том числе в движущемся слое катализатора; изомеризации легких бензиновых фракций C5–C8; процессов алкилирования; гидроизомеризации высших углеводородов; деароматизации
 34 – получения синтез-газа, водорода
 35 – переработки попутного нефтяного газа в легкий газовый конденсат
 36 – производства этилена и пропилена из природного (попутного) газа
 37 – переработки природного газа в высокооктановый бензин (дизельное топливо, керосин)
 38 – ароматизации «жирного газа»
 39 – получения нанотрубок из попутного газа
 40 – сероочистки газов
 41 – мембранные для выделения этана и жирных газов
 42 – производства катализаторов для указанных процессов
 43 – энергосберегающие для производства аммиака, метанола, диметилового эфира
 44 – производства катализаторов азотной промышленности, паровой конверсии природного газа, конверсии оксида углерода (CO), синтеза метанола
 45 – получения мономеров на базе продуктов глубокой переработки нефти, в том числе на основе алкилбензолов (этилбензола, изопропилбензола и др.)
 46 – получения этилена пиролизом тяжелых фракций нефти
 47 – получения фенола
 48 – дегидрирования для синтеза мономеров
 49 – получения высших олефинов

50 – получения эпоксидов
 51 – селективного гидрирования для получения продуктов нефтехимического синтеза и продуктов органического синтеза
 52 – получения продуктов нефтехимии и органического синтеза с заменой гомогенных катализаторов на гетерогенные (процессы алкилирования ароматических соединений, синтеза эфиров, гидратации и дегидратации и др.)
 53 – гидроформилирования олефинов и получения высших аминов, карбонилирования, в том числе с использованием альтернативных растворителей
 54 – производства катализаторов для получения мономеров – сырья для производства фенолформальдегидных смол, полимерных синтетических нитей, конструкционных пластиков, в том числе поликарбонатных и т.д. – для дегидрирования широкого спектра углеводородов
 55 – производства катализаторов окисления и гидрирования для получения растворителей технических масел, спиртов, карбоновых кислот, альдегидов, кетонов (сырья для производства экологически чистой пищевой продукции, медпрепаратов, средств защиты растений)
 56 – получения полимеров, в том числе специальных и функциональных (в частности, на основе пентадиена, норборнена, синтетического гуттаперчи, СМГЭ, полимеров медицинского назначения и др.)
 57 – получения полиакрилонитрила – прекурсора высококачественных углеволокон
 58 – разработка широкого спектра полимерных композиционных материалов, в том числе гибридных и модифицированных наноматериалами
 59 – получения полимерных материалов и изделий из них принципиально новыми методами, в том числе фронтальной полимеризации
 60 – получения полимерных композиционных материалов нового поколения, в том числе на основе препрегов
 61 – получения специальных полимеров для производства мембран
 62 – производства катализаторов: полимеризации олефинов; получения синтетических каучуков
 63 – прямого превращения углеводородов в нефтехимику, минуя производство промежуточных продуктов

Карта перспективных технологий для модернизации существующих и развертывания новых производств в нефтегазовом секторе Красноярского края

Map of promising technologies for the modernization of existing and deployment of new industries in the oil and gas sector of the Krasnoyarsk Territory

связанные с эффективным природопользованием и защитой окружающей среды, вошли в «Топ 8».

Далее, в группу I включены: часть технологий глубокой переработки нефти (в сырье для нефтехимии, моторные топлива, полимерные композиционные материалы); технологии производства октаноповышающих добавок.

Группа II – технологии, которые высоко оценены с точки зрения использования при модернизации существующих производств в регионе (средний балл оценок выше 2,5), и при этом оценены как сравнительно малоперспективные для развертывания новых производств (средний балл оценок менее 2,5).

В группу II вошли технологии добычи углеводородов из нетрадиционных источников; переработки попутного нефтяного газа в легкий газовый конденсат; производства коксов и битумов; моторных топлив (легкий гидрокрекинг, гидроочистка бензинов каталитического крекинга, глубокая гидроочистка дизельных топлив); производства высокооктанового компонента автобензинов Евро-4 и Евро-5; зимних и арктических дизельных топлив; производства катализаторов (для крекинга, риформинга, изомеризации легких бензиновых фракций C5–C8; процессов алкилирования; гидроизомеризации высших углеводородов; деароматизации).

Группа III – технологии, которые оценены как высоко перспективные для развертывания новых производств в регионе (средний балл оценок выше 2,5), но малоперспективные при модернизации существующих производств (средний балл оценок находится в диапазоне от 1 до 2,5).

В данную группу вошли технологии получения продуктов нефтехимического и органического синтеза; гидроформилирования олефинов и получения высших аминов, карбонилирования; производства катализаторов для получения мономеров (сырья для фенолформальдегидных смол, синтетических нитей, конструкционных пластиков и т.д.); производства катализаторов окисления и гидрирования; катализаторов полимеризации олефинов, получения синтетических каучуков; получения специальных и функциональных полимеров, полиакрилонитрила (прекурсора углеволокна); технологии прямого превращения углеводородов в нефтехимикаты; новые методы получения полимерных материалов и изделий (в том числе метод фронтальной полимеризации).

Группа IV – технологии, которые одновременно получили низкие оценки (средний балл находится в диапазоне от 1 до 2,5) по двум параметрам – перспективность использования для модернизации существующих производств и для развертывания новых производств в регионе.

В данную группу вошли многие технологии переработки тяжелых нефтей и нефтяных фракций; каталитического крекинга и глубокого каталитического крекинга для получения моторных топлив и сырья для нефтехимии; производства высококачественных масел; гидроароматизации и гидродепарафинизации базовых масел. Почти все технологии переработки природного и попутного газа оценены экспертами как малоперспективные для региона и вошли в группу IV.

В группу IV вошла часть предложенных для оценки технологий нефтехимии: получения мономеров на базе продуктов глубокой переработки нефти; этилена посредством пиролиза тяжелых фракций нефти; фенола; технологии дегидрирования для синтеза мономеров; технологии получения высших олефинов; получения эпоксидов.

4. Выводы

Магистральным направлением технологического развития нефтегазового сектора в мире будет широкое использование технологий 5-го и 6-го технологических укладов – «цифровая революция» и «революция материалов». Новые материалы будут использоваться для создания нового поколения буровых инструментов, катализаторов, нефтегазового оборудования. Цифровые технологии являются основой моделирования нефтегазоносных слоев, проектирования производственных процессов, установок и оборудования и др., их эффективной эксплуатации; улучшения взаимодействий компаний с клиентами и собственными работниками, создания гибких структур рабочей силы.

Наибольший потенциал создания стоимости имеют технологии цифровой визуализации данных сейсморазведки и разведочного бурения, оценки потенциала месторождений, трехмерного моделирования, оптимизации размещения скважин, разработки стратегии извлечения нефти. Будут использоваться технологии высокопроизводительных вычислений (квантовые компьютеры, облачные вычисления), технологии виртуальной реальности, машинное обучение, цифровые двойники. Актуальны автоматизированные системы мониторинга, проактивной корректировки работы оборудования, системы автономного бурения и робототехника. Использование облачных технологий и платформ требует развития технологий кибербезопасности.

В России технологическое развитие нефтегазового сектора нацелено на снижение издержек разведки и добычи углеводородов, повышение нефтеотдачи; на цифровую трансформацию как основу повышения эффективности сектора; на рост доли продукции высоких переделов. В рамках климатической повестки актуально развитие технологий улавливания и использования углерода. Введение санкций и необходимость импортозамещения создали ситуацию, в которой крупные компании должны будут перейти от закупки новых технологий у международных нефтесервисных компаний к инвестициям в развитие собственных технологий.

В Красноярском крае в настоящее время формируется нефтегазовый кластер, который включает компании, добывающие нефть и газ, транспортирующие и перерабатывающие углеводороды; сервисные фирмы, научно-исследовательские, проектные и образовательные организации. Разворачиваются крупные инвестиционные проекты: Восток Ойл, освоение Ванкорской группы месторождений; модернизация АО «Ачинский нефтеперерабатывающий завод Восточной нефтяной компании».

Проведенное исследование направлено на определение перспектив технологического развития нефтегазовой промышленности в Красноярском

крае в период до 2030 г. Исследование включило: концептуальный анализ и определение структуры «поля» традиционных и перспективных технологий; оценку экспертами различных групп технологий с точки зрения перспективности для модернизации существующих и для развертывания новых производств в Красноярском крае (экспертный опрос).

На основе экспертных оценок выделены четыре группы технологий: I – наиболее перспективные для модернизации существующих и для развертывания новых производств в крае; II – технологии, которые высоко оценены экспертами как перспективные при модернизации существующих производств в регионе, но сравнительно малоперспективные для развертывания новых производств; III – перспективные для развертывания новых производств, но малоперспективные при модернизации существующих производств в регионе; IV – технологии, которые одновременно получили низкие оценки по двум параметрам.

В группу I (наиболее перспективных) вошли технологии и оборудование разведочных работ – сейсморазведки, разведки с помощью беспилотных летательных аппаратов, исследования скважин, прогнозной оценки продуктивности нефте- и газоносных пластов; 3D-моделирования осадочных бассейнов. Также в группу наиболее перспективных включены технологии бурения в сложных геологических и климатических условиях; новые технологии интенсификации добычи углеводородов, повышения отдачи пластов; системы утилизации попутного нефтяного газа. Высоко оценены экспертами и вошли в группу I технологии, обеспечивающие энергоэффективность и ресурсосбережение при разработке и эксплуатации месторождений и все технологии транспортировки углеводородов и защиты окружающей среды.

Также в группу I включена часть технологий глубокой переработки нефти в сырье для нефтехимии и моторные топлива; производства октаноповышающих добавок. Перспективна разработка широкого спектра полимерных композиционных материалов, включая гибридные и модифицированные наноматериалами.

Внутри группы I выделена группа технологий «Топ 8», получивших наивысшие оценки. В «Топ 8» вошли технологии сейсморазведки, исследования скважин, прогнозной оценки продуктивности пластов, 3D-моделирования осадочных бассейнов и все рассмотренные экспертами технологии, связанные с эффективным природопользованием и защитой окружающей среды.

В группу II (перспективные для модернизации существующих производств в регионе, но сравнительно малоперспективные для развертывания новых производств) вошли технологии добычи углеводородов из нетрадиционных источников; переработки попутного нефтяного газа; новые технологии получения моторных топлив; получения высокооктанового компонента автобензинов; зимних и арктических дизельных топлив; катализаторов (для крекинга, риформинга, изомеризации легких бензиновых фракций и др.).

В группу III (перспективные для развертывания новых производств, но малоперспективные при модернизации существующих производств) вошел ряд технологий получения продуктов нефтехимии и органического

синтеза (в том числе производства катализаторов для них); прямого превращения углеводов в нефтехимикаты; принципиально новые методы получения полимерных материалов и изделий.

В группу IV (малоперспективные для развертывания новых производств и для модернизации существующих производств) вошли многие технологии переработки тяжелых нефтей и нефтяных фракций, часть предложенных для оценки технологий нефтехимии. Почти все технологии переработки природного и попутного газа оценены экспертами как малоперспективные для региона и вошли в группу IV.

Полученная структура оценок перспективности технологий отражает специфику развития нефтегазового сектора Красноярского края до 2030 г.: инвестиционные проекты в регионе связаны в основном с разведкой, добычей и транспортировкой углеводов, с расширением возможностей переработки нефти и получения полимерных материалов.

Список источников

1. Актуальные технологические направления в разработке и добыче нефти и газа. Публичный аналитический доклад / науч. ред. И.Г. Дежина, А.В. Мясников, Д.А. Коротеев. М.: Битуби, 2017. 153 с.
2. Дмитриевский А.Н., Комков Н.И., Кротова М.В. Проблемы инновационного развития нефтегазового комплекса // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2015. Т. 6, № 3. С. 62–77.
3. Долгосрочные приоритеты прикладной науки в России / под ред. Л.М. Гохберга. М.: НИУ «Высшая школа экономики», 2013. 120 с.
4. Прогноз научно-технологического развития России: 2030 / под ред. Л.М. Гохберга. М.: Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014. 244 с.
5. Технологическое будущее российской экономики: докл. к XIX Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 10–13 апр. 2018 г. / гл. ред. Л.М. Гохберг. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2018. 193 с.
6. Стратегическая программа исследований технологической платформы «Глубокая переработка углеводородного сырья». [Электронный ресурс]. URL: http://techplatforma.ru/images/docs/%D0%A1%D0%9F%D0%98_2015.pdf (дата обращения: 05.09.2022).
7. Стратегическая программа исследований Технологической платформы «Технологии добычи и использования углеводородов». [Электронный ресурс]. URL: <https://drive.google.com/file/d/1FO8M6auatYDLLHWfMCLow9KKjH8bDJWL/view> (дата обращения: 05.09.2022).
8. Deloitte (2021). 2022 oil and gas industry outlook. Available at: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/energy-and-resources/articles/oil-and-gas-industry-outlook.html> (accessed: 05.09.2022).
9. Deloitte (2020). 2021 oil and gas industry outlook. Available at: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/energy-resources/us-eri-ogc-report-2021.pdf> (accessed: 05.09.2022).
10. Deloitte Center for Energy Solutions (2017). From bytes to barrels. The digital transformation in upstream oil and gas. Available at: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/oil-and-gas/digital-transformation-upstream-oil-and-gas.html> (accessed: 05.09.2022).
11. McKinsey & Company (2021). Global gas outlook to 2050. Summary report. February 2021. Available at: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-gas-outlook-to-2050> (accessed: 05.09.2022).

References

1. Aktual'nye tehnologicheskie napravlenija v razrabotke i dobyche nefi i gaza [Current technological trends in the development and production of oil and gas]. Publichnyj analiticheskij doklad. Nauch. red. I.G. Dezhina, A.V. Mjasnikov, D.A. Koroteev. Moscow, Bitubi, 2017. 153 p.
2. Dmitrievskij A.N., Komkov N.I., Krotova M.V. Problemy innovacionnogo razvitija neftegazovogo kompleksa [Problems of innovative development of the oil and gas complex], *MIR (Modernizacija. Innovacii. Razvitie)* [*MIR (Modernization. Innovations. Development)*], 2015, vol. 6, no. 3, pp. 62–77.
3. Dolgosrochnye priority prikladnoj nauki v Rossii [Long-term priorities of applied science in Russia]. Pod red. L.M. Gohberga. Moscow, NIU «Vysshaja shkola jekonomiki», 2013. 120 p.
4. Prognoz nauchno-tehnologicheskogo razvitija Rossii: 2030 [Forecast of scientific and technological development of Russia: 2030]. Pod red. L.M. Gohberga. Moscow, Ministerstvo obrazovanija i nauki Rossijskoj Federacii, Nacional'nyj issledovatel'skij universitet «Vysshaja shkola jekonomiki», 2014. 244 p.
5. Tehnologicheskoe budushhee rossijskoj jekonomiki [Technological future of the Russian economy]: dokl. k XIX Apr. mezhdunar. nauch. konf. po problemam razvitija jekonomiki i obshhestva, Moscow, 10–13 apr. 2018 g. / gl. red. L.M. Gohberg. Moscow, Izd. dom Vyshej shkoly jekonomiki, 2018. 193 p.
6. Strategicheskaja programma issledovanij tehnologicheskoy platformy «Glubokaja pererabotka uglevodorodnogo syr'ja» [Strategic research program for the technological platform “Deep processing of hydrocarbon raw materials”]. [Electronic resource]. Available at: http://techplatforma.ru/images/docs/%D0%A1%D0%9F%D0%98_2015.pdf (accessed: 05.09.2022).
7. Strategicheskaja programma issledovanij Tehnologicheskoy platformy «Tehnologii dobychi i ispol'zovanija uglevodorodov» [Strategic research program of the Technological platform “Technologies for the production and use of hydrocarbons”]. [Electronic resource]. Available at: <https://drive.google.com/file/d/1FO8M6auatYDLLHWfMCLOw9KKjH8bDJWL/view> (accessed: 05.09.2022).
8. Deloitte (2021). 2022 oil and gas industry outlook. Available at: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/energy-and-resources/articles/oil-and-gas-industry-outlook.html> (accessed: 05.09.2022).
9. Deloitte (2020). 2021 oil and gas industry outlook. Available at: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/energy-resources/us-eri-ogc-report-2021.pdf> (accessed: 05.09.2022).
10. Deloitte Center for Energy Solutions (2017). From bytes to barrels. The digital transformation in upstream oil and gas. Available at: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/oil-and-gas/digital-transformation-upstream-oil-and-gas.html> (accessed: 05.09.2022).
11. McKinsey & Company (2021). Global gas outlook to 2050. Summary report. February 2021. Available at: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-gas-outlook-to-2050> (accessed: 05.09.2022).

Сведения об авторах:

В.С. Ефимов – кандидат физико-математических наук, доцент, директор Центра стратегических исследований и разработок, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация.

А.В. Лаптева – специалист Центра стратегических исследований и разработок, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация.

Information about the authors:

V.S. Efimov – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Director of the Center for Strategic Research and Development, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation.

A.V. Lapteva – Specialist, Center for Strategic Research and Development, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

<i>Статья поступила в редакцию</i>	<i>28.09.2022</i>	<i>The article was submitted</i>	<i>28.09.2022</i>
<i>Одобрена после рецензирования</i>	<i>20.10.2022</i>	<i>Approved after reviewing</i>	<i>20.10.2022</i>
<i>Принята к публикации</i>	<i>02.11.2022</i>	<i>Accepted for publication</i>	<i>02.11.2022</i>