ANAS Transactions Earth Sciences 2 / 2021

http://www.journalesgia.com

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ПРИОРИТЕТНЫЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Велиев Э.Ф., Алиев А.А.

НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан

AZ1122, Баку, Азербайджан, ул. Г.Зардаби, 88A: elchinf.veliyev@socar.az

INNOVATIVE TECHNOLOGIES AS A PRIORITY FACTOR OF THE OIL AND GAS INDUSTRY DEVELOPMENT

Veliyev E.F., Aliyev A.A.

Oil and Gas Research and Design Institute, SOCAR

88A, H.Zardabi str., Baku, Azerbaijan, AZ1122: elchinf.veliyev@socar.az

Keywords: *innovation, invention, Hubbert's peak, oil production, development strategy*

Summary. The petroleum and petrochemicals industry is one of the fastest growing industries of today and still remains a key factor underlying the economy of every industrialized country. However, the industry has faced many challenges in a recent period due to the drop in hydrocarbon prices, growth in production costs and increasing uncertainty associated with the changing geopolitical situation in the world arena. One of the most challenging questions for the industry today is: Has hydrocarbon production reached its peak? These questions have divided researchers into two large camps. The first group are supporters of Hubbert's theory, which proposed in the mid-1950s that hydrocarbon production in the U.S. peaked in the early 1970s and global production declined in the early 2000s and thereafter. The second group of scientists fundamentally disagrees with Hubbert's theory, or rather with the possibility of accurately predicting this peak. In a nutshell, the position of experts opposing Hubbert's theory can be expressed by stating that the date of peak oil will only be known post factum, and not immediately. Leaving aside the disagreements and arguments of specialists from both groups, it is necessary to emphasise the importance of introducing innovative technologies and the definition assigned to this mechanism depending on the approach: an effective tool for increasing hydrocarbon production or a tool for preventing negative development scenarios. The role and necessity of innovative technologies cannot be overestimated. The paper considers the role and application of innovative technologies as a tool for development of the oil and gas industry, identifies target strategies for innovation development and describes the most promising technologies from this point of view.

© 2021 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

1. Введение

Нефтяная и нефтехимическая промышленность на сегодняшний день является одной из самых бурно развивающихся отраслей (Hussain et al., 2006) и все еще остается ключевым фактором, лежащим в основе экономики каждой индустриальной страны. Однако в последнее время эта отрасль столкнулась со многими проблемами в связи с падением цен на углеводородное сырье, увеличением себестоимости добычи и ростом уровня неопределенности, связанного с изменением геополитической ситуации на мировой арене. Одним из наиболее актуальных вопросов для отрасли в условиях современной реальности является вопрос: достигнут ли пик добычи углеводородов? По сути, от бинарного ответа на него зависит как развитие, так и стабильность нефтяной индустрии. Действительно, какой смысл в больших и зачастую долгосрочных инвестициях, если добыча идет на спад и прошла максимум своей производительности? Безусловно, возникает ряд дополнительных вопросов, не менее важных по своей сути, наиболее животрепещущие из которых: а когда этот пик был пройден, и сколько времени будет длиться спад?

Данные вопросы разделили исследователей на два больших лагеря.

Первая группа является приверженцами теории Хабберта, предложенной в середине 50-х годов прошлого века о достижении пика добычи углеводородов в США в начале 1970-х годов, а в мировой добыче – в начале 2000 г. и дальнейшем ее спаде (Hubbert, 1956). Справедливости ради стоит отметить, что данный прогноз в рамках

нефтяной индустрии США полностью себя оправдал, добыча нефти в США действительно достигла своего пика в 1971 г., и вплоть до 2010 года наблюдался спад. Однако в период с 2010 по 2020 годы пик 1971 г. был пройден, а прогнозы по достижению пика мировой добычи в 2000 г. так и не осуществились по настоящее время. На сегодняшний день существует с десяток исследовательских работ, описывающих подобные сценарии развития нефтяной отрасли согласно концепции Хабберта, в них приводится различная аргументация по несостоятельности предыдущих прогнозов, выдвигаются механизмы и инструменты для прогнозирования, приводятся даты пройденных или будущих пиков добычи и т.д. Безусловно, теория Хабберта, учитывая, что углеводороды являются не возобновляемыми ресурсами, фактически является аксиомой, так как, в конце концов, в какой-то момент добыча должна достигнуть своего максимума, а интерес с научной точки зрения представляет не факт достижения пика, а возможность его определения. Вне зависимости от применяемых инструментов и методов приверженцы данного подхода считают, что рассчитать пик добычи нефти возможно.

Вторая группа ученых в корне не согласна с теорией Хабберта, а вернее, с возможностью точного прогнозирования данного явления. Сторонники данного подхода приводят два основных аргумента в противовес:

- Первый аргумент заключается в том, что почти все прогнозы пика нефтедобычи основаны на подсчете запасов традиционных источников нефти и не рассматривают нетрадиционные источники. Например, сланцевую нефть, а ее запасы превышают запасы традиционной нефти по некоторым подсчетам в 13 раз. Но представители противоположного лагеря парируют данный аргумент возросшими объемами потребления нефти (только с 1980 по 2010 эта цифра выросла с 23 до 31 млрд. баррелей в год) и считают, что данный фактор нивелируется и впредь будет нивелироваться возрастающим спросом (Mitchell et al., 2012).
- Второй аргумент заключается в том, что ни одна прогнозная модель не учитывает развитие технологий и оспорить его уже не так легко. Так, к примеру, среднее значение коэффициента извлечения нефти в 1980 г. составляло 22%, а в настоящее время благодаря внедрению инновационных методов разработки месторождений составляет 35%. Нетрудно предположить возможную разницу в полученных прогнозах даже в пределах одной математической модели. Дополнительно можно добавить, что разработка и внедрение новых технологий на протяжении последних десятилетий позволили переквалифицировать значительные объемы трудно извлекаемых запасов нефти в категорию рентабельных и перспективных. (Mitchell et al., 2012). Фактически именно инновационные технологии, лежащие в основе разработки месторождений сланцевой нефти в США, привели к самому быстрому росту добычи нефти за последние сто лет (Decker et al., 2016; Mills, 2013).

Вкратце позицию специалистов противников теории Хабберта, можно выразить утверждением, что дата достижения пика добычи нефти будет известна лишь постфактум и то не сразу.

Оставив в стороне разногласия и аргументы специалистов обоих групп, необходимо выделить важность внедрения инновационных технологий и при этом не столь важно присваиваемое в зависимости от подхода определение данного механизма: эффективный инструмент для роста добычи углеводородов или инструмент для предупреждения негативных сценариев развития. Роль и необходимость внедрения инновационных технологий переоценить сложно. Цель и задачи данной работы заключаются в анализе и классификации наиболее перспективных и многообещающих инновационных разработок для эксплуатации нефтяных месторождений.

2. Понятия изобретения и инновации

Первоначально необходимо четко провести различие между терминами «изобретение» и «инновация». Зачастую разночтение именно этих двух терминов приводит к серьезной путанице при попытке классификации новых технологий. Изобретение – это процесс создания нового устройства или продукта, а инновация – это процесс внесения изменений в уже существующий продукт при помощи новых идей или способов.

Согласно Шумпетеру, процесс инновации носит линейный характер, а вот процесс изобретения имеет прямо противоположную природу и развивается скачкообразно (Schumpeter, 1934). Теория линейной модели развития инноваций заключается в том, что наилучшим способом увеличения количества новых технологий является увеличение объема ресурсов, выделяемых на исследования и разработки, то есть согласно данной модели увеличение количества предложений неизбежно приведет к росту изобретений и инноваций (Schumpeter, 1934).

В 1950-х годах популярность приобрела теория спроса, согласно которой считалось, что спрос на товары и услуги оказывает большее влияние на стимулирование изобретений, чем прогресс в уровне знаний, а линейная модель развития инноваций была практически отброше-

на из-за высокого риска, неопределенности, временных и ресурсных требований (Sekhar and Dismukes, 2009) (рис.1). На сегодняшний день доминирующей теорией развития инноваций является концепция так называемых «открытых инноваций», представляющая собой сложную модель системной обратной связи между спросом и предложением (Hanna et al., 2015; Foxon, 2003; Grove, 1996; Chesbrough and Rosenbloom, 2002; Chesbrough, 2003; Chesbrough and Spohrer, 2006). Вкратце: данная концепция признает кооперативную природу партнеров в промышленных инновациях вместо полной зависимости от классической вертикальной интеграции всех инновационных функций в одной корпорации.

Хотя общепринятой типологии инноваций не существует, в большинстве существующих классификаций выделяют две основные группы: радикальные (прерывистые) и инкрементные (непрерывные) (Mueser, 1985; Shenhar et al., 1995; Betz, 2003; Garcia and Calantone, 2002; Dismukes, 2005).

Шумпетер (1942) и Берс и др. (2009) считают, что именно радикальные инновации приводят к технологическим революциям и выделяют три основные тенденции радикальных инноваций (Schumpeter, 1942; Bers, 2009):

- для радикальных инноваций необходимо крупное разрушительное событие, при таком подходе трудности, возникающие в нефтяной отрасли, на самом деле являются важным фактором развития;
- все крупные инновации развиваются в течение жизненного цикла технологии.

Йеррамилли и Секхар (2006) представили первую модель жизненного цикла, продукта – от изобретения до инновации (Yerramilli and Sekhar, 2006). Секхар и Дисмукес (2009) зафиксировали четырехэтапный жизненный цикл продукции: начальный этап (I), этап подъема и упадка (II), этап возрождения и быстрого роста (III) и этап выживания (IV) (рис. 1) (Sekhar and Dismukes, 2009). Коннелли и др. (2011) добавили в жизненный цикл пятую стадию, названную V (стадия окончательной смерти), чтобы обозначить конец инновации (Connell et al., 2011).

- каждая инновация основывается на предыдущих достижениях, что указывает на важность четкого учета предыдущих достижений в отрасли.

3. Почему необходимы инновации в нефтегазовой отрасли?

Необходимость внедрения инновационных технологий можно свести к решению трех актуальных вызовов в современной нефтегазовой отрасли:

1) Обеспечение конкурентоспособности с другими отраслями промышленности

Сегодня низкая цена на нефть является одной из наиболее важных причин, обуславливающих потребность в инновациях для обеспечения конкурентоспособности с другими отраслями промышленности. Следует отметить, что данный фактор, несмотря на уменьшение рентабельности многих проектов, все же является необходимым условием для развития инноваций. При высоких ценах на нефть нефтяные компании заняты поддержанием высоких темпов текущей деятельности, внедрение инновационных технологий приоритетом не является, и лишь падение цен на нефть неизбежно приводит к росту внедряемых инноваций, поскольку компаниям приходится активно конкурировать, чтобы выжить в крайне нестабильных экономических условиях (Sider and Ailworth, 2015). Хорошей иллюстрацией данного примера служит добыча сланцевой нефти в США, на которую приходится более 50% общей добычи. По первоначальным оценкам аналитиков, цена безубыточности сланцевой нефти составляла 75 долларов за баррель, но внедрение инновационных технологий позволило компаниям-операторам снизить цену безубыточности до 30-35 долларов за баррель (Mawji, 2016) и оставаться конкурентоспособными на мировом рынке.

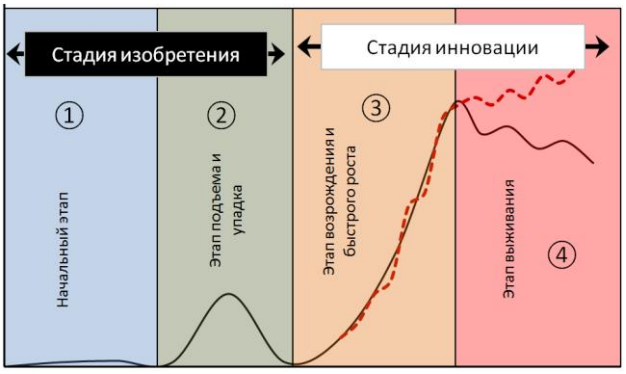


Рис. 1. Пример четырехэтапного жизненного цикла продуктов – от изобретения до инновации (Sekhar and Dismukes, 2009)

2) Автоматизация высокозатратных, опасных и склонных к ошибкам задач

Сегодня практически каждая отрасль промышленности представляет собой высокотехнологичный процесс, генерирующий огромное количество данных ежесуточно, что значительно повышает риски, связанные с ошибочными расчетами, да и просто с человеческим фактором. Процесс учета всей поступающей информации без применения современных цифровых технологий практически невозможен. Подтверждени-

ем служит неуклонно растущая доля интернет-технологий в таких отраслях, как нефтяная, металлургическая и минералодобывающая, которая по оценке компании McKinsey&Co к 2025 году превысит 100 млрд. долларов в год (PLH Group, 2015).

3) Обеспечение устойчивого развития нефтегазовой отрасли

В решении данного вопроса специалисты выделяют два основных направления:

- улучшение рентабельности существующих месторождений, так как 53,3% мировых месторождений классифицируются как трудно извлекаемые и нерентабельные (тяжелые нефти, горючие сланцы и тд.) (Demirbas et al., 2016).
- необходимость в открытии новых месторождений, которые, по мнению специалистов, будут находиться на гораздо больших глубинах и в условиях, значительно более сложных в сравнении с существующими. Инновационные технологии будут иметь огромное значение для материализации этих запасов (Kleinschmidt, 2016; Perrons, 2014). Вудди считает, что новые технологии бурения позволят в ближайшие десятилетия увеличить мировые запасы нефти в шесть раз до 10,2 триллиона баррелей (Woody, 2013).

4. Основные цели и задачи, решаемые внедрением инновационных технологий

Основные цели и задачи, решаемые внедрением инновационных технологий, можно разделить на 2 группы:

- снижение затрат и экономия времени;
- повышение эффективности существующих технологий.

Рассмотрим каждую из вышеперечисленных групп в отдельности

4.1. Снижение затрат и экономия времени

Снижение производственных затрат имеет решающее значение для нефтегазовой отрасли, поскольку, несмотря на сверхнормативные доходы, маржа прибыли крупнейших нефтегазовых компаний составляла не более 8-9% даже в годы достаточно высоких цен на углеводородное сырье (Farris, 2012). К тому же немаловажным является и факт увеличения популярности альтернативных источников энергии, что, по мнению специалистов, существенно уменьшает конкурентоспособность нефтегазовой отрасли, и увеличение рентабельности добычи путем снижения безубыточной стоимости является обязательным условием выживания отрасли. (Kleinschmidt, 2016) Учитывая, что как добыча нефти, так и эксплуатация нефтегазовых месторождений являются дорогостоящим процессом, тесно связанным с научными исследованиями, дорогостоящим оборудованием и квалифицированной рабочей силой, падение цен на нефть, несомненно, оказывает существенное негативное влияние на производственные показатели практически всех нефтяных компаний. Исключение составляют компании, широко внедряющие и использующие инновационные технологии. Например, по данным Миллса (2013), технологический прогресс привел к тому, что средняя стоимость добычи барреля сланцевой нефти снизилась до 7-15 долларов (Mills, 2013). В отчете McKinsey & Co описывается, как цифровые нефтяные месторождения позволили одной нефтяной компании сократить операционные и кадровые расходы на 10-25 % и при этом увеличить добычу на 5 % (Elatab, 2012). В более позднем исследовании McKinsey & Co отмечается, что использование цифровых технологий в нефтегазовом секторе может снизить капитальные затраты до 20% и сократить операционные расходы при геологоразведке и добыче на 3-5%, а при переработке углеводородного сырья – до 50% (Boman and Staff, 2016).

На рис. 2 графически представлено распределение долей 10 наиболее инновационных технологий нефтегазовой промышленности в 2021 году на основе данных международной цифровой платформы StartUs.

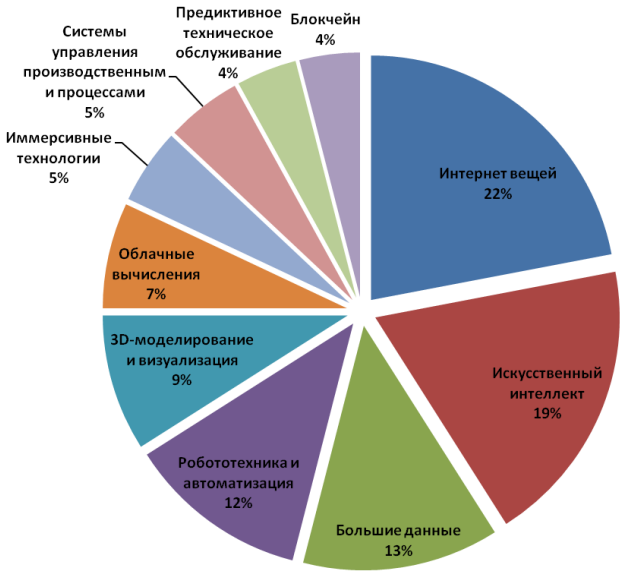


Рис. 2. 10 наиболее инновационных технологий нефтегазовой промышленности

Рассмотрим вкратце основные преимущества и механизмы работы данных технологий:

1. Интернет вещей (IoT)

Технология Интернет (IoT) вещей, представляет собой систему, состоящую из устройств или предметов, подключенных к сети (включая Интернет) или к другим устройствам, работающих автономно без вмешательства человека. Нефтега-

зовая промышленность использует IoT для повышения производительности, оптимизации оборудования, обеспечения безопасности работников и мониторинга удаленных устройств. Как пример можно привести различные датчики, установленные в скважинах, противовыбросовые устройства (ПВО), дроссельные клапаны, позволяющие собирать данные в режиме реального времени, посредством которых возможно выявить неисправности оборудования, увеличить точность прогнозных моделей и организовать более оперативное вмешательство в случае каких-либо осложнений. Решения, предлагаемые IoT, позволяют нефтегазовым предприятиям минимизировать затраты на техническое обслуживание и получить подробную информацию о своем оборудовании или процессах. Так, внедрение данной технологии компаниями General Electric (GE) и BP на 650 глубоководных нефтяных скважинах позволило сэкономить до 3 миллионов долларов в неделю (Wanasinghe et al., 2020; Khan et al., 2017; Shoja and Jalali, 2017; Prometheus Group, 2019).

2. Искусственный интеллект

Под искусственным интеллектом (ИИ) понимается способность компьютерных систем выполнять творческие и интеллектуальные функции, которые традиционно считались прерогативой исключительно человека. Данная область знаний объединяет в себе несколько научных направлений: нейронные сети, машинное обучение, обработку естественного языка, когнитивные вычисления, компьютерное зрение. Следует отметить, что, несмотря на вышеперечисленные научные направления, относящиеся к ИИ, чёткого представления, что входит в понятие искусственного интеллекта, нет, так как нет критериев разумности и соответствия человеческому интеллекту. Искусственный интеллект все чаще применяется для решения комплексных задач практически во всех сферах нефтегазовой промышленности. Платформы с поддержкой ИИ помогают принимать решения, используя инструменты и данные прогнозной, предписывающей и когнитивной аналитики (Rahmanifard and Plaksina, 2019; Choubey and Karmakar, 2021; Braswell, 2013; Veliyev et al., 2021).

3. Большие данные

Компания Oracle представила, пожалуй, наиболее доступное и всеобъемлющее определение данного термина: «*Большие данные — это разнообразные данные, которые поступают с постоянно растущей скоростью и объем которых постоянно растет. Таким образом, три основных свойства больших данных — разнообразие, высокая скорость поступления и большой объем*». Повседневные операции в нефтегазовой отрасли генерируют большие объемы неструктурированных данных, что вызывает серьезные трудности с их обработкой и анализом. Платформы для работы с большими данными помогают аналитикам отрасли извлекать информацию из данных о производстве и производительности. Используя аналитику больших данных, нефтегазовая промышленность извлекает больше пользы из повседневных решений, снижая эксплуатационные расходы (Farris, 2012; Perrons and Jensen, 2015; Feblowitz, 2013; Mohammadpoor and Torabi, 2020). Пример: Технология управления данными Dell EMC data позволила снизить на 68% расходы на ИТ-администрирование, на 40% – расходы на хранение Больших Данных и обеспечить 80% возврата инвестиций для крупной нефтегазовой компании (EMC, 2015).

4. Робототехника и автоматизация

Зачастую операторы нефтегазовой отрасли работают в сложных и труднопроходимых условиях, представляющих значительный риск для безопасности людей. Чтобы устранить этот риск, нефтяная промышленность адаптируется к робототехническим решениям, которые повышают безопасность, а также скорость выполнения операций. Роботы широко применяются для инспекции, съемки и автоматизации производства на нефтяных месторождениях и нефтеперерабатывающих заводах. Робототехника и автоматизация процессов не только ускоряют операции, но и снижают потребность в рабочей силе, что, в свою очередь, повышает эффективность и снижает количество ошибок, вызванных человеческим фактором. Фактически использование автоматизации и надежных коммуникационных сетей для удаленных месторождений позволяет снизить эксплуатационные расходы на 70%, а капитальные затраты – на 3-15% при условии, что нефтяные компании перепроектируют свои объекты с учетом более низкого уровня персонала (Markit, 2016; Shukla and Karki, 2013; Shukla and Karki, 2016).

5. 3D-моделирование и визуализация

3D-моделирование и высококачественная визуализация помогают создать реалистичное представление о внутрискважинном оборудовании, процессах, протекающих в пластах, а в сочетании с историческими данными о добыче успешно моделируют жизненный цикл месторождения. Это помогает с высокой точностью прогнозировать риски, оптимизировать планирование и текущие скважинные операции, снижая затраты и повышая производительность нефтегазовых активов (Evans et al., 2002; Lu et al., 2019).

6. Облачные вычисления (cloud computing)

Облачные вычисления представляют собой модель сетевого доступа, позволяют хранить и об-

рабатывать данные на удаленных серверах, освобождая дорогостоящую локальную память и вычислительные мощности. Нефтегазовая промышленность в своей повседневной деятельности генерирует огромные объемы данных, а облачные инструменты позволяют использовать расширенную аналитику, создавать информативные визуальные панели и получать удаленные данные в режиме реального времени (Perrons and Hems, 2013; Al-Mascati and Al-Badi, 2016; Feblowitz, 2011).

7. Иммерсивные технологии

Иммерсивные технологии включают в себя следующие основные направления: дополненную реальность (AR), виртуальную реальность (VR), смешанную реальность (MR) и расширенную реальность (XR). В нефтегазовой отрасли анимации AR/VR повышают эффективность и снижают количество ошибок, показывая в реальном времени информацию об оборудовании, инструментах и деталях. Например, компании, занимающиеся разведкой и добычей (E&P), используют решения реальности для удаленного мониторинга, визуализации скважин и виртуального обучения. Компания Siemens также проводит обучение технического персонала с применением виртуальных 3D-буровых платформ, что существенно экономит время и средства (Kleinschmidt, 2016; Prometheus Group, 2019; Higgins, 2017).

8. Системы управления производственными процессами (MES)

Система MES объединяет производственные мощности и операционные технологии, такие как диспетчерский контроль и сбор данных (SCADA), и вычислительные системы для управления производственным процессом. Поскольку процессы производства нефтегазового оборудования сложны, инженеры ищут решения для мониторинга и управления непрерывными операционными процессами. MES предлагает интеллектуальную архитектуру для производственных систем с интегрированным управлением для нефтегазовой промышленности, которая обеспечивает более быстрые, безопасные и надежные технологии добычи нефти (Fernandez and Fernandez, 2005; Bailey and Wright, 2003).

9. Предиктивное техническое обслуживание (PdM)

Предиктивное (прогнозное) обслуживание применяется в случаях, когда степень использования оборудования в производственной цепочке оценивается как высокая, а его отказ или длительный простой приводит к существенным финансовым потерям. В отличие от традиционного подхода (превентивного), оно позволяет производить ремонт не по заранее составленному плану, а когда в нем возникает необходимость, что экономит средства и время на плановое обслуживание оборудования, снижая вероятность внепланового простоя. Предиктивное техническое обслуживание включает сбор данных с датчиков на полевых установках и их интеграцию с алгоритмами машинного обучения. Это позволяет инженерам быстро оценивать состояние оборудования и предлагать своевременные решения по техническому обслуживанию. Предиктивные операции в сочетании с программными платформами позволяют визуализировать детали, что дает возможность операторам нефтегазовой отрасли прогнозировать потенциальные отказы. Более того, предиктивное техническое обслуживание находит применение во всех операциях по разведке, добыче, переработке и транспортировке углеводородного сырья. Эти решения повышают безопасность, продлевают срок службы оборудования и снижают затраты, связанные с эксплуатацией и обслуживанием.

10. Блокчейн

Блокчейн — представляет собой распределенную базу данных в виде цепочки блоков. Блокчейн все больше проникает в различные промышленные операции, включая нефтегазовую отрасль. Блокчейн позволяет нефтегазовым компаниям автоматизировать счета-фактуры, послеторговые расчеты и учет совместных предприятий. Использованием цифровых технологий можно снизить затраты до 10% за счет оптимизации моделей ценообразования и цепочек поставок (Choudhry et al., 2016; Gausdal et al., 2018).

4.2. Повышение эффективности

Снижение цен на нефть заставляет компании уделять особое внимание эффективности производственных процессов. По сути, на практике это означает увеличение добычи при наименьшем увеличении производственных затрат (Sider and Ailworth, 2015). Исследования, проведенные McKinsey & Co, показали, что повышение эффективности производства на 10% может потенциально принести дополнительно до 220-260 миллионов долларов США в год (Martinotti et al., 2014). Наиболее ярким примером увеличения эффективности служит добыча сланцевой нефти. Так, внедрение инновационных технологий повысило производительность месторождений на 200-300%, что закономерно объясняет лидерство США по темпам роста добычи в мире. На сегодня широкое применение цифровых технологий может позволить сохранить данное лидерство еще достаточно долгий период (Mills, 2013).

Применение современных технологий значительно улучшает эффективность геологоразведочных работ. Так, применяемая сегодня 4D сейсмическая визуализация, показывающая динами-

ку изменений многих компонентов пласта в виде результатов 3D сейсморазведки в зависимости от четвертого измерения – времени, позволяет, по мнению специалистов, увеличить эффективность сейсморазведки на более чем 50% (Fanchi et al., 1999; Landro, 2015).

Технология парогравитационного воздействия (SAGD), применяемая для добычи тяжелой нефти и битумов также входит в список наиболее востребованных и эффективных инновационных технологий на сегодняшний день (Dijkema, 2004; Giacchetta et al., 2015; Shen, 2013) (рис. 3). Вышеупомянутый факт о значительной доле тяжелой нефти в мировых запасах углеводорода только увеличивает актуальность данной технологии. Технологически парогравитационное воздействие заключается в бурении пары параллельно расположенных горизонтальных скважин в пласте, при этом в верхнюю скважину непрерывно закачивается пар под высоким давлением, и нагретая таким образом пластовая нефть под силой тяжести стекает в нижнюю скважину, откуда впоследствии и откачивается. Впервые данная технология была применена в Канаде и позволила увеличить КИН до 50% при паронефтяном соотношении 5:2. В 1997 г. в Венесуэле применение технологии позволило повысить КИН до 60% по сравнению с 10% при циклической закачке пара в скважину. В частности, технология SAGD позволила компании Occidental Petroleum (OXY) увеличить добычу нефти в Омане на месторождении Мухаизна в 15 раз по сравнению с уровнем 2005 года и установить рекордные показатели в 1 млн. баррелей в день (Mawji, 2016).

На сегодняшний день существует целый ряд SAGD, наиболее распространенными из которых являются:

- Vapour Extraction (VAPEX) – извлечение нефти посредством парообразного растворителя,
- Expanding Solvent SAGD (ES-SAGD) – парогравитационное воздействие (рис. 3) с добавкой растворителя,
- Solvent Aided Process (SAP) – процесс с добавкой растворителя,
- Steam Alternating Solvent (SAS) – чередование закачки пара и растворителя.

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) – одна из самых распространенных, но спорных технологий методов нефтеотдачи и интенсификации притока жидкости и газа, заключающаяся в создании высокопроводимой трещины в коллекторском пласте для обеспечения притока добываемого флюида (Woody, 2013). Инновации в данной технологии впервые были представлены в 2012 г. и первой технологией в этом списке была технология, известная как Zipper Fracking, при которой ГРП производится на одновременно двух рядом расположенных скважинах. В результате внедрения данной технологии на месторождении Барнетт (Техас, США) объем добычи сланцевой нефти вырос вдвое (Gilje et al., 2016) На сегодняшний день существует несколько разновидностей данной технологии, графически представленных на рис. 4.

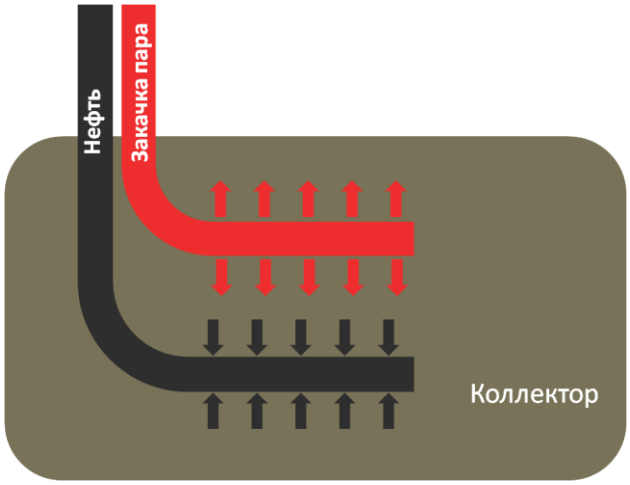


Рис. 3. Парогравитационное воздействие

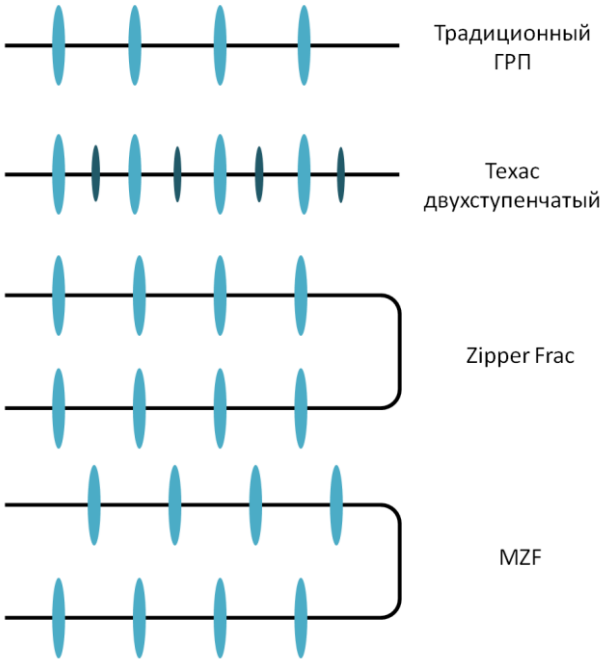
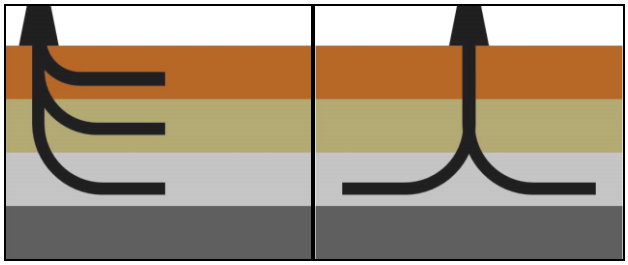


Рис. 4. Технологии проведения гидравлического разрыва пласта

Еще одной инновационной технологией является бурение многоствольных скважин, которые позволяют увеличить коэффициент охвата продуктивного пласта за счет большей протяженности и при одинаковой депрессии дают более высокие стартовые дебиты, чем одностволки (рис. 5а, б).



(а) (б)

Рис. 5. Многоствольные скважины: а) горизонтальные скважины, расположенные в вертикальной плоскости, б) две скважины, расходящиеся в противоположные стороны

Применение цифровых технологий играет не менее важную роль в увеличении эффективности производственных процессов. Многообразие высокотехнологичных решений не позволяет перечислить весь спектр инновационных решений в этой области, но рассмотрим пару примеров внедрения инновационных технологий за последние 10 лет. Применение цифровых технологий для решения логистических задач, связанных с эксплуатацией морских месторождений, позволяет сэкономить в среднем до 5% времени и обеспечивает ежедневную экономию от 30 000 до 100 000 долларов США даже для одной буровой установки (Sebastian, 2015). Уорд (2016) отмечает, что проект PLOT позволил компании ConocoPhillips увеличить производство на 30% за счет автоматизации роботизированных процессов. Вкратце, PLOT – это технология, которая копирует процессы, выполняемые инженерной командой, а затем улучшает их с помощью автоматизации и знания скрытых команд, содержащихся в каждом крупном программном инструменте (Ward, 2016).

В отдельную ветвь стоит выделить инновационные решения в области химического воздействия на пласт (Suleimanov et al., 2021; Suleimanov et al., 2020; Велиев, 2021a; Veliyev and Aliyev, 2021; Исмаилов и Велиев, 2021; Suleimanov et al., 2017; Велиев, 2021b; Нагиева, 2020). На сегодняшний день разрабатывается огромное количество новых составов для увеличения нефтедобычи, основанных на применении нано-добавок (Сулейманов и др., 2014; Suleimanov et al., 2020; Suleimanov and Veliyev, 2016; Suleimanov et al., 2013; Suleimanov et al., 2016). Как отмечалось ранее, открытие новых месторождений нефти и газа будет неизбежно сопровождаться увеличением сложности условий эксплуатации, да и самой добычи. Возникает критическая необходимость добиваться гораздо более усовершенствованных физико-химических свойств применяемых материалов, и в этой связи применение наноразмерных добавок и присадок позволяет решать широкий спектр задач: понижение межфазного натяжения, увеличение механической прочности, увеличение термической устойчивости и т.д. К примеру, применение полимерно-щелочного заводнения в Китае показало увеличение КИН на 20% по сравнению с традиционным заводнением пласта (Woody, 2013). Не менее перспективным является применение микробиологических методов увеличения нефтеотдачи. Например: опытно-промысловые испытания, проведенные в Малайзии, показали увеличение добычи на 47% .

В целом незаменимую роль в повышении эффективности МУН сыграло именно широкое применение инновационных технологий, позволившее значительно расширить границы применимости существующих технологий и их производительность (Veliyev, 2020; Сулейманов и Велиев, 2016; Алієв, 2021; Алиев, 2020; Нагиева, 2020; Велиев, 2020; Suleimanov et al., 2019; Veliyev et al., 2019; Сулейманов и др., 2021; Suleimanov et al., 2015).

5. Заключение

Современные инновационные технологии, безусловно, являются приоритетным инструментом развития нефтегазовой отрасли. На сегодняшний день можно выделить две наиболее ярко выраженные целевые стратегии развития инновационных технологий:

- снижение производственных затрат и экономия времени,
- повышение эффективности существующих технологий.

В статье представлены практические примеры реализации каждой стратегии и рассмотрены наиболее значимые и приоритетные на сегодняшний день.

ЛИТЕРАТУРА

Al-Mascati H., Al-Badi A.H. Critical success factors affecting the adoption of cloud computing in oil and gas industry in Oman. In 2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC), IEEE, Oman, Muscat, 2016, pp. 187-193.

Bailey D., Wright E. Practical SCADA for industry. Elsevier Linacre House. Jordan Hill, Oxford, UK. 2003.

REFERENCES

Aliyev A.A. Improvement of rheological properties of alkali activated geopolymers by using process dry fluids. Prospecting and Development of Oil and Gas Fields, No. 3 (80), 2021, pp. 60-67 (in Russian).

Aliyev A.A. Polyvinylpyrrolidone – based gels for water inflow isolation in wells. Ashirov Readings, Vol. I, 2020, pp. 5-11 (in Russian).

Bers J.A., Dismukes J.P., Miller L.K., Dubrovensky A. Accelerated radical innovation: Theory and application. Technological Forecasting and Social Change, Vol. 76. No. 1, 2009, pp. 165-177.

Betz F. Managing technological innovation: competitive advantage from change. John Wiley & Sons. 2003, 387 p.

Boman K., Staff R. Digital tenacity key to implementing technology in oil, gas industry. 2016, http://www.downstreamtoday.com /(X(1)S(wlydaq55svg2ty55bhiyhsqp))/news/article.aspx?a_id= 53301&AspxAutoDetectCookieSupport=1.

Braswell G. Artificial intelligence comes of age in oil and gas. Journal of Petroleum Technology, Vol. 65, No.1, 2013, pp. 50-57.

Chesbrough H., Rosenbloom R.S. The role of the business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation's technology spin-off companies. Industrial and corporate change, Vol. 11, No. 3, 2002, pp. 529-555.

Chesbrough H., Spohrer J. A research manifesto for services science. Communications of the ACM, Vol. 49, No.7, 2006, pp. 35-40.

Chesbrough H.W. Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology. Harvard Business Press. Boston, 2003, 10 p.

Choubey S., Karmakar G.P. Artificial intelligence techniques and their application in oil and gas industry. Artificial Intelligence Review, Vol. 54, No. 5, 2021, pp. 3665-3683.

Choudhry H., Mohammad A., Tan K.T., Ward R. The next frontier for digital technologies in oil and gas. 2016, https:// www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/the-next-frontier-for-digital-technologies-in-oil-and-gas.

Connelly M.C., Dismukes J.P., Sekhar J.A. New relationships between production and patent activity during the high-growth life cycle stage for materials. Technological Forecasting and Social Change, Vol. 78, No. 2, 2011, pp. 303-318.

Decker R., Flaaen A., Tito M. Unraveling the oil conundrum: productivity improvements and cost declines in the us shale oil industry FEDS Notes from Board of Governors of the Federal Reserve System (U.S.), No 2016-03-22, 2016.

Demirbas A., Bafail A., Nizami A.S. Heavy oil upgrading: Unlocking the future fuel supply. Petroleum Science and Technology, Vol. 34, No. 4, 2016, pp. 303-308.

Dijkema G.P.J. Process system innovation by design, towards a sustainable petrochemical industry. Thesis › Dissertation, Delft University of Technology, 2004.

Dismukes J.P. Information accelerated radical innovation from principles to an operational methodology. Industrial Geographer, Vol. 3, No. 1, 2005, pp. 19-42.

Elatab M. 5 trends in oil and gas technology, and why you should care. 2012, https://venturebeat.com/2012/03/28/5-trends-in-oil-gas-technology-and-why-you-should-care/

EMC executive briefing. Oil and gas operational efficiency: making better decisions faster. Reducing Cost, 2015, www.emc.com.

Evans F., Volz W., Dorn G., Fröhlich B., Roberts D.M. Future trends in oil and gas visualization. In: Proceedings of the 13th IEEE Visualization Conference, (VIS-02), 2002, pp. 567-570.

Fanchi J.R., Pagano T.A., Davis T.L. State of the art of 4D seismic monitoring: the technique, the record, and the future. Oil and Gas Journal, Vol. 97, No. 22, 1999, pp. 38-43.

Farris A. How big data is changing the oil & gas industry. Analytics Mag., in Oil and Gas Industry, Dec. 2012.

Feblowitz J. Analytics in oil and gas: the big deal about Big Data. In: Proceedings of the SPE Digital Energy Conference and Exhibition, Paper No. SPE 163717, March 5-7, 2013, The Woodlands, Texas, USA.

Feblowitz J. Oil and gas: into the cloud? Journal of Petroleum Technology, Vol. 63, No. 5, 2011, pp. 32-33.

Fernandez J.D., Fernandez A.E. SCADA systems: vulnerabilities and remediation. Journal of Computing Sciences in Colleges, Vol. 20, No. 4, 2005, pp. 160-168.

Al-Mascati H., Al-Badi A.H. Critical success factors affecting the adoption of cloud computing in oil and gas industry in Oman. In 2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC), IEEE, Oman, Muscat, 2016, pp. 187-193.

Bailey D., Wright E. Practical SCADA for industry. Elsevier Linacre House. Jordan Hill, Oxford, UK. 2003.

Bers J.A., Dismukes J.P., Miller L.K., Dubrovensky A. Accelerated radical innovation: Theory and application. Technological Forecasting and Social Change, Vol. 76. No. 1, 2009, pp. 165-177.

Betz F. Managing technological innovation: competitive advantage from change. John Wiley & Sons. 2003, 387 p.

Boman K., Staff R. Digital tenacity key to implementing technology in oil, gas industry. 2016, http://www.downstreamtoday.com /(X(1)S(wlydaq55svg2ty55bhiyhsqp))/news/article.aspx?a_id=53301&AspxAutoDetectCookieSupport=1.

Braswell G. Artificial intelligence comes of age in oil and gas. Journal of Petroleum Technology, Vol. 65, No.1, 2013, pp. 50-57.

Chesbrough H., Rosenbloom R.S. The role of the business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation's technology spin-off companies. Industrial and corporate change, Vol. 11, No. 3, 2002, pp. 529-555.

Chesbrough H., Spohrer J. A research manifesto for services science. Communications of the ACM, Vol. 49, No.7, 2006, pp. 35-40.

Chesbrough H.W. Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology. Harvard Business Press. Boston, 2003, 10 p.

Choubey S., Karmakar G.P. Artificial intelligence techniques and their application in oil and gas industry. Artificial Intelligence Review, Vol. 54, No. 5, 2021, pp. 3665-3683.

Choudhry H., Mohammad A., Tan K.T., Ward R. The next frontier for digital technologies in oil and gas. 2016, https:// www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/the-next-frontier-for-digital-technologies-in-oil-and-gas.

Connelly M.C., Dismukes J.P., Sekhar J.A. New relationships between production and patent activity during the high-growth life cycle stage for materials. Technological Forecasting and Social Change, Vol. 78, No. 2, 2011, pp. 303-318.

Decker R., Flaaen A., Tito M. Unraveling the oil conundrum: productivity improvements and cost declines in the us shale oil industry FEDS Notes from Board of Governors of the Federal Reserve System (U.S.), No 2016-03-22, 2016.

Demirbas A., Bafail A., Nizami A.S. Heavy oil upgrading: Unlocking the future fuel supply. Petroleum Science and Technology, Vol. 34, No. 4, 2016, pp. 303-308.

Dijkema G.P.J. Process system innovation by design, towards a sustainable petrochemical industry. Thesis › Dissertation, Delft University of Technology, 2004.

Dismukes J.P. Information accelerated radical innovation from principles to an operational methodology. Industrial Geographer, Vol. 3, No. 1, 2005, pp. 19-42.

Elatab M. 5 trends in oil and gas technology, and why you should care. 2012, https://venturebeat.com/2012/03/28/5-trends-in-oil-gas-technology-and-why-you-should-care/

EMC executive briefing. Oil and gas operational efficiency: making better decisions faster. Reducing Cost, 2015, www.emc.com.

Evans F., Volz W., Dorn G., Fröhlich B., Roberts D.M. Future trends in oil and gas visualization. In: Proceedings of the 13th IEEE Visualization Conference, (VIS-02), 2002, pp. 567-570.

Fanchi J.R., Pagano T.A., Davis T.L. State of the art of 4D seismic monitoring: the technique, the record, and the future. Oil and Gas Journal, Vol. 97, No. 22, 1999, pp. 38-43.

Farris A. How big data is changing the oil & gas industry. Analytics Mag., in Oil and Gas Industry, Dec. 2012.

Feblowitz J. Analytics in oil and gas: the big deal about Big Data. In: Proceedings of the SPE Digital Energy Conference

Foxon T.J. Inducing innovation for a low carbon future: drivers, barriers and policies. The Carbon Trust. London, 2003.

Garcia R., Calantone R. A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review. Journal of Product Innovation Management: An international publication of the product development and management association, Vol. 19, No. 2, 2002, pp. 110-132.

Gausdal A.H., Czachorowski K.V., Solesvik M.Z. Applying blockchain technology: evidence from Norwegian companies. Sustainability, Vol. 10, No. 6, 2018, pp. 1-16.

Giacchetta G., Leporini M., Marchetti B. Economic and environmental analysis of a Steam Assisted Gravity Drainage (SAGD) facility for oil recovery from Canadian oil sands. Applied Energy, Vol. 142, No. C, 2015, pp. 1-9.

Gilje E., Ready R., Roussanov N. Fracking, drilling, and asset pricing: Estimating the economic benefits of the shale revolution NBER Working papers, No. 22914, National Bureau of Economic Research, Inc., 2016.

Grove A.S. Only the paranoid survive: How to exploit the crisis points that challenge every company and career. Currency/Doubleday, New York, 1996, 210 p.

Hanna R., Gross R., Speirs J., Heptonstall P., Gambhir A. Innovation timelines from invention to maturity. UK Energy Research Centre. 2015, 88 p.

Higgins V. Augmented and virtual reality: The future of work, not just play. Professional Safety, Vol. 62, No. 6, 2017, pp. 86-87.

Hubbert M.K. Nuclear energy and the fossil fuels, American Petroleum Institute drilling and production practice. In: Proceedings of Spring Meeting, San Antonio, Texas, 1956, pp. 7-25.

Hussain R., Assavapokee T. Khumawala B. Supply chain management in the petroleum industry: challenges and opportunities. International Journal of Global Logistics and Supply Chain Management, Vol. 1, No. 2, 2006, pp. 90-97.

Khan W.Z., Aalsalem M.Y., Khan M.K., Hossain M.S., Atiquzzaman M. A reliable Internet of Things based architecture for oil and gas industry. In: 2017 19th International conference on advanced communication Technology (ICACT), 2017, February, pp. 705-710.

Kleinschmidt A. The Future of oil and gas: why we will still need oil and gas in the future. 2016). Available via: http:// www.siemens.com/innovation/en/ home/pictures- of- the-future/energy- andefficiency/the- future- of- oil- and- gas-trends.html, [Accessed: 9.10.2019].

Landrø M. 4D Seismic. In: Petroleum Geoscience, Springer. Berlin, Heidelberg, 2015, pp. 489-514.

Lu H., Guo L., Azimi M., Huang K. Oil and gas 4.0 era: A systematic review and outlook. Computers in Industry, Vol. 111, 2019, pp. 68-90.

Markit IHS. Technology and innovation key to cost reduction and capital efficiency as companies strive to meet future energy demand, IHS Says. 2016.

Martinotti S., Nolten J., Steinsbo J.A. Digitizing oil and gas production. McKinsey & Company, 2014.

Mawji O. The crude crash has created oil's technological superpowers. 2016, https://oilprice.com/Energy/Crude-Oil/The-Crude-Crash-Has-Created-Oils-Technological-Superpowers.html.

Mills M.P. Big Data and microseismic imaging will accelerate the smart drilling oil and gas revolution. 2013. Available via: http://www.forbes.com/sites/markpmills/2013/05/08/ big-data-and-microseismic-imaging-will-accelerate-the-smart-drilling-oil-and#6f6e6e9548b2. [Accessed: 14.10.2016].

Mitchell J.V., Marcel V., Mitchell B. What next for the oil and gas industry? Chatham House. London, 2012, 128 p.

Mohammadpoor M., Torabi F. Big Data analytics in oil and gas industry: An emerging trend. Petroleum, Vol. 6, No. 4, 2020, pp. 321-328.

and Exhibition, Paper No. SPE 163717, March 5-7, 2013, The Woodlands, Texas, USA.

Feblowitz J. Oil and gas: into the cloud? Journal of Petroleum Technology, Vol. 63, No. 5, 2011, pp. 32-33.

Fernandez J.D., Fernandez A.E. SCADA systems: vulnerabilities and remediation. Journal of Computing Sciences in Colleges, Vol. 20, No. 4, 2005, pp. 160-168.

Foxon T.J. Inducing innovation for a low carbon future: drivers, barriers and policies. The Carbon Trust. London, 2003.

Garcia R., Calantone R. A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review. Journal of Product Innovation Management: An international publication of the product development and management association, Vol. 19, No. 2, 2002, pp. 110-132.

Gausdal A.H., Czachorowski K.V., Solesvik M.Z. Applying blockchain technology: evidence from Norwegian companies. Sustainability, Vol. 10, No. 6, 2018, pp. 1-16.

Giacchetta G., Leporini M., Marchetti B. Economic and environmental analysis of a Steam Assisted Gravity Drainage (SAGD) facility for oil recovery from Canadian oil sands. Applied Energy, Vol. 142, No. C, 2015, pp. 1-9.

Gilje E., Ready R., Roussanov N. Fracking, drilling, and asset pricing: Estimating the economic benefits of the shale revolution NBER Working papers, No. 22914, National Bureau of Economic Research, Inc., 2016.

Grove A.S. Only the paranoid survive: How to exploit the crisis points that challenge every company and career. Currency/Doubleday, New York, 1996, 210 p.

Hanna R., Gross R., Speirs J., Heptonstall P., Gambhir A. Innovation timelines from invention to maturity. UK Energy Research Centre. 2015, 88 p.

Higgins V. Augmented and virtual reality: The future of work, not just play. Professional Safety, Vol. 62, No. 6, 2017, pp. 86-87.

Hubbert M.K. Nuclear energy and the fossil fuels, American Petroleum Institute drilling and production practice. In: Proceedings of Spring Meeting, San Antonio, Texas, 1956, pp. 7-25.

Hussain R., Assavapokee T. Khumawala B. Supply chain management in the petroleum industry: challenges and opportunities. International Journal of Global Logistics and Supply Chain Management, Vol. 1, No. 2, 2006, pp. 90-97.

Ismailov R.G., Veliyev E.F. Emulsifying composition for increasing oil recovery ratio of viscous oils. Azerbaijan Oil İndustry. No. 5, 2021, pp. 22-28 (in Russian).

Khan W.Z., Aalsalem M.Y., Khan M.K., Hossain M.S., Atiquzzaman M. A reliable Internet of Things based architecture for oil and gas industry. In: 2017 19th International conference on advanced communication Technology (ICACT), 2017, February, pp. 705-710.

Kleinschmidt A. The Future of oil and gas: why we will still need oil and gas in the future. 2016). Available via: http://www.siemens.com/innovation/en/ home/pictures- of-the- future/energy- andefficiency/the- future- of- oil- and-gas- trends.html, [Accessed: 9.10.2019].

Landrø M. 4D Seismic. In: Petroleum Geoscience, Springer. Berlin, Heidelberg, 2015, pp. 489-514.

Lu H., Guo L., Azimi M., Huang K. Oil and gas 4.0 era: A systematic review and outlook. Computers in Industry, Vol. 111, 2019, pp. 68-90.

Markit IHS. Technology and innovation key to cost reduction and capital efficiency as companies strive to meet future energy demand, IHS Says. 2016.

Martinotti S., Nolten J., Steinsbo J.A. Digitizing oil and gas production. McKinsey & Company, 2014.

Mawji O. The crude crash has created oil's technological superpowers. 2016, https://oilprice.com/Energy/Crude-Oil/The-Crude-Crash-Has-Created-Oils-Technological-Superpowers.html.

Mueser R. Identifying technical innovations. IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 32, No. 4, 1985, pp. 158-176.

Perrons R.K. How innovation and R&D happen in the upstream oil and gas industry: Insights from a global survey. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol.124, 2014, pp. 301-312.

Perrons R.K., Hems A. Cloud computing in the upstream oil & gas industry: A proposed way forward. Energy Policy, Vol. 56, 2013, pp. 732-737.

Perrons R.K., Jensen J.W. Data as an asset: What the oil and gas sector can learn from other industries about "Big Data". Energy Policy, Vol. 81, 2015, pp. 117-121.

PLH Group. Four ways mobile technology affects oil and gas industry. 2015. http://plhgroupinc.com/mobile-technology-affects-oil-and-gasindustry/

Prometheus Group. 5 Innovative Technologies Changing Maintenance Management in the Oil and Gas Sector. 2019, https://www.prometheusgroup.com/posts/5-innovative-technologies-changing-maintenance-management-in-the-oil-and-gas-sector

Rahmanifard H., Plaksina T. Application of artificial intelligence techniques in the petroleum industry: a review. Artificial Intelligence Review, Vol. 52, No. 4, 2019, pp. 2295-2318.

Schumpeter J. The theory of economic development. Harvard University Press. Cambridge, MA, 1934, 255 p.

Schumpeter J.A. Capitalism, socialism and democracy. Harper & Row. New York, 1942, 381 p.

Sebastian J. Optimizing operational efficiency. Oil and Gas Financial Journal, Vol. 12, No. 9, 2015, pp. 1-4.

Sekhar J.A., Dismukes J.P. Generic innovation dynamics across the industrial technology life cycle: Platform equation modeling of invention and innovation activity. Technological Forecasting and Social Change, Vol. 76, No.1, 2009, pp. 192-203.

Shen C. SAGD for heavy oil recovery. In: Enhanced oil recovery field case, Gulf Professional Publishing. 2013, pp. 413-445.

Shenhar A.J., Dvir D., Shulman Y. A two-dimensional taxonomy of products and innovations. Journal of Engineering and Technology Management, Vol. 12, No. 3, 1995, pp. 175-200.

Shoja S., Jalali A. A study of the Internet of Things in the oil and gas industry. In 2017 IEEE 4th International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI), 2017, December, pp. 0230-0236.

Shukla A., Karki H. A review of robotics in onshore oil-gas industry. In 2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation 2013, August, pp. 1153-116.

Shukla A., Karki H. Application of robotics in offshore oil and gas industry – A review. Part II. Robotics and Autonomous Systems, Vol. 75, 2016, pp. 508-524.

Sider A., Ailworth E. Oil companies tap new technologies to lower production costs. Wall Street Journal, Sept. 2015.

Suleimanov B.A., Dyshin O.A., Veliyev E.F. Compressive strength of polymer nanogels used for enhanced oil recovery EOR. Paper Number SPE-181960-MS. In: SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, 2016, October.

Suleimanov B.A., Ismailov F.S., Veliyev E.F., Dyshin O.A. The influence of light metal nanoparticles on the strength of polymer gels used in oil industry. SOCAR Proceedings, Vol. No. 2, 2013, pp. 24-28.

Suleimanov B.A., Latifov Y.A., Veliyev E.F. Softened water application for enhanced oil recovery. SOCAR Proceedings, Vol. 1, 2019, pp. 19-29.

Suleimanov B.A., Latifov Y.A., Veliyev E.F., Frampton H. Low salinity and low hardness alkali water as displacement agent for secondary and tertiary flooding in sandstones. Paper Number SPE-188998-MS. In: SPE Annual Caspian Technical Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, 2017, November.

Mills M.P. Big Data and microseismic imaging will accelerate the smart drilling oil and gas revolution. 2013. Available via: http://www.forbes.com/sites/markpmills/2013/05/08/big-data-and-microseismic-imaging-will-accelerate-the-smart-drilling-oil-and#6f6e6e9548b2. [Accessed: 14.10.2016].

Mitchell J.V., Marcel V., Mitchell B. What next for the oil and gas industry? Chatham House. London, 2012, 128 p.

Mohammadpoor M., Torabi F. Big Data analytics in oil and gas industry: An emerging trend. Petroleum, Vol. 6, No. 4, 2020, pp. 321-328.

Mueser R. Identifying technical innovations. IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 32, No. 4, 1985, pp. 158-176.

Nagiyeva N.N. Colloido-dispersion gels for conformance control of injection wells. SOCAR Proccedings, No. 2, 2020, pp. 67-77 (in Russian).

Nagiyeva N.V. Application of preliminary-formed gel-forming particles for water inflow isolation in well. Ashirov Readings, No. 1(1), 2020, pp. 12-18 (in Russian).

Perrons R.K. How innovation and R&D happen in the upstream oil and gas industry: Insights from a global survey. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol.124, 2014, pp. 301-312.

Perrons R.K., Hems A. Cloud computing in the upstream oil & gas industry: A proposed way forward. Energy Policy, Vol. 56, 2013, pp. 732-737.

Perrons R.K., Jensen J.W. Data as an asset: What the oil and gas sector can learn from other industries about "Big Data". Energy Policy, Vol. 81, 2015, pp. 117-121.

PLH Group. Four ways mobile technology affects oil and gas industry. 2015. http://plhgroupinc.com/mobile-technology-affects-oil-and-gasindustry/

Prometheus Group. 5 Innovative Technologies Changing Maintenance Management in the Oil and Gas Sector. 2019, https://www.prometheusgroup.com/posts/5-innovative-technologies-changing-maintenance-management-in-the-oil-and-gas-sector

Rahmanifard H., Plaksina T. Application of artificial intelligence techniques in the petroleum industry: a review. Artificial Intelligence Review, Vol. 52, No. 4, 2019, pp. 2295-2318.

Schumpeter J. The theory of economic development. Harvard University Press. Cambridge, MA, 1934, 255 p.

Schumpeter J.A. Capitalism, socialism and democracy. Harper & Row. New York, 1942, 381 p.

Sebastian J. Optimizing operational efficiency. Oil and Gas Financial Journal, Vol. 12, No. 9, 2015, pp. 1-4.

Sekhar J.A., Dismukes J.P. Generic innovation dynamics across the industrial technology life cycle: Platform equation modeling of invention and innovation activity. Technological Forecasting and Social Change, Vol. 76, No.1, 2009, pp. 192-203.

Shen C. SAGD for heavy oil recovery. In: Enhanced oil recovery field case, Gulf Professional Publishing. 2013, pp. 413-445.

Shenhar A.J., Dvir D., Shulman Y. A two-dimensional taxonomy of products and innovations. Journal of Engineering and Technology Management, Vol. 12, No. 3, 1995, pp. 175-200.

Shoja S., Jalali A. A study of the Internet of Things in the oil and gas industry. In 2017 IEEE 4th International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI), 2017, December, pp. 0230-0236.

Shukla A., Karki H. A review of robotics in onshore oil-gas industry. In 2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation 2013, August, pp. 1153-116.

Shukla A., Karki H. Application of robotics in offshore oil and gas industry – A review. Part II. Robotics and Autonomous Systems, Vol. 75, 2016, pp. 508-524.

Suleimanov B.A., Veliyev E.F. Nanogels for deep reservoir conformance control. In: SPE Annual Caspian Technical Conference & Exhibition, Astana, Kazakhstan, 2016, November.

Suleimanov B.A., Veliyev E.F., Azizagha A.A. Colloidal dispersion nanogels for in-situ fluid diversion. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 193, 2020, 107411.

Suleimanov B.A., Veliyev E.F., Dyshin O.A. Effect of nanoparticles on the compressive strength of polymer gels used for enhanced oil recovery (EOR). Petroleum Science and Technology, Vol. 33, No.10, 2015, pp. 1133-1140.

Suleimanov B.A., Veliyev E.F., Naghiyeva N.V. Colloidal dispersion gels for in-depth permeability modification. Modern Physics Letters B, Vol. 35, No. 01, 2021, pp. 2150038.

Suleimanov B.A., Veliyev E.F., Naghiyeva N.V. Preformed particle gels for enhanced oil recovery. International Journal of Modern Physics B, Vol. 34, No. 28, 2020, pp. 2050260.

Veliyev E.F. Mechanisms of polymer retention in porous media. SOCAR Proceedings, Vol. 3, 2020, pp. 126-134.

Veliyev E.F., Aliyev A.A. Propagation of nano sized CDG deep into porous media. In: SPE Annual Caspian Technical Conference, Paper Number: SPE-207024-MS, 2021, October.

Veliyev E.F., Aliyev A.A., Guliyev V.V., Naghiyeva N.V. Water shutoff using crosslinked polymer gels. In: SPE Annual Caspian Technical Conference, Paper 198351, 2019, October.

Veliyev E.F., Aliyev A.A., Mammadbayli T.E. Machine learning application to predict the efficiency of water coning prevention. SOCAR Proceedings, Vol. 1, 2021, pp. 104-113.

Wanasinghe T.R., Gosine R.G., James L.A., Mann G.K., De Silva O., Warrian P.J. The Internet of Things in the oil and gas industry: A systematic review. IEEE Internet of Things Journal, Vol. 7, No. 9, 2020, pp. 8654-8673.

Ward R. A billion-dollar digital opportunity for oil companies. New York, USA, McKinsey & Company, March 2016.

Woody T. New drilling technologies could give us so much oil, the climate won't stand a chance. 2013, https://qz.com/117504/new-drilling-technologies-could-give-us-so-much-oil-the-climate-wont-stand-a-chance/

Yerramilli C., Sekhar J.A. A common pattern in long-term metals production. Resources Policy, Vol. 31, No. 1, 2006, pp. 27-36.

Алиев А.А. Улучшение реологических свойств геополимеров щелочной активации с применением технологических жидкостей на безводной основе. Prospecting and Development of Oil and Gas Fields, No. 3(80), 2021, с. 60-67.

Алиев А.А. Гели на основе поливинилпирролидона для изоляции водопритока в скважинах. Ашировские чтения, Т.1, No.1, 2020, с. 5-11.

Велиев Э.Ф. Обзор современных методов увеличения нефтеотдачи пласта с применением потокоотклоняющих технологий. Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР, No. 2, 2020, pp. 50-66.

Велиев Э.Ф. Полимерно-дисперсная система для изменения фильтрационных потоков в пласте. Prospecting and Development of Oil and Gas Fields, No. 1(78), 2021а, с. 61-72.

Велиев Э.Ф. Применение амфифильных блок-полимерных систем для эмульсионного заводнения пласта. Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР, No. 3, 2021б, с. 78-86.

Исмаилов Р.Г., Велиев Э.Ф. Эмульсирующий состав для повышения коэффициента нефтеизвлечения вязких нефтей. Азербайджанское нефтяное хозяйство, No. 5, 2021, с. 22-28.

Нагиева Н.В. Коллоидно-дисперсные гели для выравнивания профиля приемистости нагнетательных скважин. Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР, No. 2, 2020, с. 67-77.

Нагиева Н.В. Применение предварительно сформированных гелеобразующих частиц для изоляции водопритока в скважине. Ашировские чтения, No. 1(1), 2020, с. 12-18.

Sider A., Ailworth E. Oil companies tap new technologies to lower production costs. Wall Street Journal, Sept. 2015.

Suleimanov B.A., Dyshin O.A., Veliyev E.F. Compressive strength of polymer nanogels used for enhanced oil recovery EOR. Paper Number SPE-181960-MS. In: SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, 2016, October.

Suleimanov B.A., Ismailov F.S., Veliyev E.F., Dyshin O.A. The influence of light metal nanoparticles on the strength of polymer gels used in oil industry. SOCAR Proceedings, Vol. No. 2, 2013, pp. 24-28.

Suleimanov B.A., Latifov Y.A., Veliyev E.F. Softened water application for enhanced oil recovery. SOCAR Proceedings, Vol. 1, 2019, pp. 19-29.

Suleimanov B.A., Latifov Y.A., Veliyev E.F., Frampton H. Low salinity and low hardness alkali water as displacement agent for secondary and tertiary flooding in sandstones. Paper Number SPE-188998-MS. In: SPE Annual Caspian Technical Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, 2017, November.

Suleimanov B.A., Veliyev E.F. Nanogels for deep reservoir conformance control. In: SPE Annual Caspian Technical Conference & Exhibition, Astana, Kazakhstan, 2016, November.

Suleimanov B.A., Veliyev E.F., Azizagha A.A. Colloidal dispersion nanogels for in-situ fluid diversion. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 193, 2020, 107411.

Suleimanov B.A., Veliyev E.F., Dyshin O.A. Effect of nanoparticles on the compressive strength of polymer gels used for enhanced oil recovery (EOR). Petroleum Science and Technology, Vol. 33, No.10, 2015, pp. 1133-1140.

Suleimanov B.A., Veliyev E.F., Naghiyeva N.V. Colloidal dispersion gels for in-depth permeability modification. Modern Physics Letters B, Vol. 35, No. 01, 2021, pp. 2150038.

Suleimanov B.A., Veliyev E.F., Naghiyeva N.V. Preformed particle gels for enhanced oil recovery. International Journal of Modern Physics B, Vol. 34, No. 28, 2020, pp. 2050260.

Suleymanov B.A., Ismailov F.S., Veliyev E.F. About impact of nanoparticles of metal on stability of polymer gels based on CMC used during oil production. Oil Industry, No. 1, 2014, pp. 86-88 (in Russian).

Suleymanov B.A., Veliyev E.F. Influence of granulometric composition and nanosized admix on quality of annular space isolation in cementing process of wells. SOCAR Proceedings, No. 4, 2016, pp. 4-10 (in Russian).

Suleymanov B.A., Veliyev E.F., Nagiyeva N.V. Patent №038656. Eurasian Patent Office, 2021 (in Russian).

Veliyev E.F. Application of amphiphilic block polymer systems for emulsive reservoir flooding. SOCAR Proceedings, No. 3, pp.78-66 (in Russian).

Veliyev E.F. Mechanisms of polymer retention in porous media. SOCAR Proceedings, Vol. 3, 2020, pp. 126-134.

Veliyev E.F. Overview of advanced enhanced oil recovery methods by use of flow deviation technology. SOCAR Proceedings, No.2, 2020, pp. 50-66 (in Russian).

Veliyev E.F. Polymer dispersion system for filtration flow change in situ. Prospecting and Development of Oil and Gas Fields, No. 1(78), 2021, pp. 61-72 (in Russian).

Veliyev E.F., Aliyev A.A. Propagation of nano sized CDG deep into porous media. In: SPE Annual Caspian Technical Conference, Paper Number: SPE-207024-MS, 2021, October.

Veliyev E.F., Aliyev A.A., Guliyev V.V., Naghiyeva N.V. Water shutoff using crosslinked polymer gels. In: SPE Annual Caspian Technical Conference, Paper 198351, 2019, October.

Veliyev E.F., Aliyev A.A., Mammadbayli T.E. Machine learning application to predict the efficiency of water coning prevention. SOCAR Proceedings, Vol. 1, 2021, pp. 104-113.

Сулейманов Б.А., Велиев Э.Ф. О влиянии гранулометрического состава и наноразмерных добавок на качество изоляции затрубного пространства в процессе цементирования скважин. Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР, (4), 2016, с. 4-10.

Сулейманов Б.А., Велиев Э.Ф., Нагиева Н.В. (2021). Способ выравнивания профиля приемистости нагнетательной скважины. (ЕА Патент № 038656). Евразийское патентное ведомство.

Сулейманов Б.А., Исмайлов Ф.С., Велиев Э.Ф. О влиянии наночастиц металла на прочность полимерных гелей на основе КМЦ, применяемых при добыче нефти. Нефтяное хозяйство, No. 1, 2014, с. 86-88.

Wanasinghe T.R., Gosine R.G., James L.A., Mann G.K., De Silva O., Warrian P.J. The Internet of Things in the oil and gas industry: A systematic review. IEEE Internet of Things Journal, Vol. 7, No. 9, 2020, pp. 8654-8673.

Ward R. A billion-dollar digital opportunity for oil companies. New York, USA, McKinsey & Company, March 2016.

Woody T. New drilling technologies could give us so much oil, the climate won't stand a chance. 2013, https://qz.com/117504/new-drilling-technologies-could-give-us-so-much-oil-the-climate-wont-stand-a-chance/

Yerramilli C., Sekhar J.A. A common pattern in long-term metals production. Resources Policy, Vol. 31, No. 1, 2006, pp. 27-36.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ПРИОРИТЕТНЫЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Велиев Э.Ф, Алиев А.А.
НИПИ «Нефтегаз», SOCAR
AZ1122, Баку, Азербайджан, ул. Г.Зардаби, 88A: elchinf.veliyev@socar.az

Резюме. Нефтяная и нефтехимическая промышленность на сегодняшний день является одной из самых бурно развивающихся отраслей и все еще остается ключевым фактором, лежащим в основе экономики каждой индустриальной страны. Однако в последнее время эта отрасль столкнулась со многими проблемами в связи с падением цен на углеводородное сырье, увеличением себестоимости добычи и ростом уровня неопределенности, связанного с изменением геополитической ситуации на мировой арене. Одним из наиболее актуальных вопросов для отрасли в условиях современной реальности является вопрос: достигнут ли пик добычи углеводородов? Данный вопрос разделил исследователей на два больших лагеря. Первая группа является приверженцами теории Хабберта, предложенной в середине 50-х годов прошлого века, о достижении пика добычи углеводородов в США в начале 1970-х годов, а в мировой добыче – в начале 2000 г. и дальнейшем ее спаде. Вторая группа ученых в корне не согласна с теорией Хабберта, а вернее с возможностью точного прогнозирования данного явления. Вкратце позицию специалистов противников теории Хабберта можно выразить утверждением, что дата достижения пика добычи нефти будет известна лишь постфактум и то не сразу. Оставив в стороне разногласия и аргументы специалистов обоих групп, необходимо выделить важность внедрения инновационных технологий, и при этом не столь важно присваиваемое в зависимости от подхода определение данного механизма: эффективный инструмент для роста добычи углеводородов или инструмент для предупреждения негативных сценариев развития. Роль и необходимость внедрения инновационных технологий переоценить сложно. В работе рассмотрены роль и применение инновационных технологий в качестве инструмента развития нефтегазовой промышленности, выявлены целевые стратегии развития инноваций и описаны наиболее перспективные с этой точки зрения технологии.

Ключевые слова*: инновация, изобретение, пик Хабберта, добыча нефти, стратегия развития*

İNNOVATİV TEXNOLOGİYALAR: NEFT-QAZ SƏNAYESİNİN İNKİŞAFININ PRİORİTET AMİLİ KİMİ

Vəliyev E.F., Əliyev Ə.A.
"Neftqazelmitədqiqatlayihə" İnstitutu, SOCAR
AZ1122, Bakı, Azərbaycan, H.Zərdabi küç., 88A: elchinf.veliyev@socar.az

Xülasə. Neft və neft-kimya sənayesi günümüzün ən sürətlə inkişaf edən sənaye sahələrindən biridir və hələ də bütün sənaye ölkələrinin iqtisadiyyatının əsasını təşkil edən əsas amil olaraq qalır. Bununla belə, karbohidrogen qiymətlərinin aşağı düşməsi, hasilat xərclərinin artması və dünya arenasında dəyişən geosiyasi vəziyyətlə bağlı yüksılın qeyri-müəyyənlik səbəbindən sənaye son dövrdə bir çox problemlərlə üzləşmişdir. Müasir dövrdə neft sənayesinin ən aktual suallarından biri karbohidrogen hasilatının öz pikinə (maksimumuna) çatıb-çatmadığıdır. Bu sual tədqiqatçıları iki böyük qrupa ayırmışdır. Birinci qrup Habbertin keçən əsrin ortalarında təklif etdiyi nəzəriyyənin tərəfdarlarıdır. Bu nəzəriyyə ABŞ-də karbohidrogen hasilatının 1970-ci illərdə, dünyada isə 2000-ci illərdə öz pikinə çatacağını və daha sonra hasilatın getdikcə azalacağını qeyd edir. İkinci qrup tədqiqatçılar Habbert nəzəriyyəsi ilə fundamental olaraq razı deyildirlər, onlar karbohidrogen hasilatının pikini yalnız sonradan – postfaktum – müəyyən oluna biləcəyini vurğulayırlar. Hər iki qrupdan olan mütəxəssislərin fikir ayrılıqlarını və arqumentlərini bir kənara qoyaraq, innovativ texnologiyaların tətbiqinin vacibliyi və sadalanan yanaşmalardan asılı olaraq bu mexanizmə verilən tərif dəqiqləşdirilməlidir: karbohidrogen hasilatının artırılması üçün effektiv vasitə, yoxsa mənfi inkişaf ssenarilərinin qarşısını alacaq bir vasitə? İnnovativ texnologiyaların neft sənayesinin inkişafında rolunu və zəruriliyini inkar etmək mümkün deyil. Məqalədə neft-qaz sənayesinin inkişaf strategiyasında innovativ texnologiyaların rolu və tətbiqi nəzərdən keçirilir, innovasiyaların inkişafı üçün hədəf strategiyalar müəyyən edilir və bu baxımdan ən perspektivli texnologiyalar təsvir olunur.

Açar sözlər: i*nnovasiya, ixtira, Habbert piki, neft hasilatı,inkişaf strategiya*