

Василенко Н.В. ¹, Марин Е.А. ¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Повышение технологической гибкости нефтегазового сектора на основе совершенствования методов экономической оценки инженерных решений

ЦИТИРОВАТЬ СТАТЬЮ:

Василенко Н.В., Марин Е.А. Повышение технологической гибкости нефтегазового сектора на основе совершенствования методов экономической оценки инженерных решений // Креативная экономика. – 2021. – Том 15. – № 5. – С. 2181–2200. doi: [10.18334/ce.15.5.111928](https://doi.org/10.18334/ce.15.5.111928)

АННОТАЦИЯ:

Усиление ограничений экологических стандартов и ухудшение структуры запасов углеводородов с точки зрения их доступности повышает значимость инженерных решений при реализации нефтегазовых проектов. Перед российскими нефтегазодобывающими компаниями стоит задача технологической реконструкции, результатом которой должно стать повышение технико-экономической эффективности процесса добычи углеводородов в долгосрочной перспективе. Решение указанной задачи авторы связывают с совершенствованием методов экономической оценки инженерных решений при разработке месторождений углеводородов для повышения технологической гибкости российского нефтегазового сектора и увеличения нефтегазоотдачи. В качестве основной причины снижения нефтегазоотдачи российских месторождений углеводородов рассматривается применение инженерно-технологических подходов, интенсифицирующих добычу углеводородов на фоне ухудшения структуры запасов. Показано, что повышение технологической гибкости российского нефтегазового сектора может быть достигнуто стратегической переориентацией добывающих компаний на долгосрочные цели, что совпадает с задачами устойчивого развития. Для совершенствования методов экономической оценки инженерных решений для нефтегазовых проектов авторы предлагают использовать группировку, учитывающую структуру связанных с инженерным решением издержек, а также стадию разработки месторождения, на которой то или иное инженерное решение будет реализовано.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефтегазовый сектор, коэффициент извлечения нефти, инженерные решения, технологии интенсификации нефтедобычи, экономическая оценка

ОБ АВТОРАХ

Василенко Наталья Валерьевна, профессор кафедры экономики, организации и управления, доктор экономических наук, доцент (vasilenko_nv@pers.spmi.ru)

Марин Евгений Александрович, аспирант кафедры экономики, организации и управления (eugeniy.a.marin@gmail.com)



Vasilenko N.V. ¹, Marin E.A. ¹

¹ Saint-Petersburg Mining University, Russia

Improving the technological flexibility of the oil and gas sector by developing the methods of economic evaluation of engineering solutions

CITE AS:

Vasilenko N.V., Marin E.A. (2021) Povyshenie tekhnologicheskoy gibkosti neftegazovogo sektora na osnove sovershenstvovaniya metodov ekonomicheskoy otsenki inzhenernykh resheniy [Improving the technological flexibility of the oil and gas sector by developing the methods of economic evaluation of engineering solutions]. *Kreativnaya ekonomika*. 15. (5). – 2181–2200. doi: [10.18334/ce.15.5.111928](https://doi.org/10.18334/ce.15.5.111928)

ABSTRACT:

Strengthening restrictions on environmental standards and the deterioration of the hydrocarbon reserves structure in terms of their availability increases the importance of engineering solutions in the implementation of oil and gas projects. Russian oil and gas companies are faced with the task of technological reconstruction, which should result in an increase in the technical and economic efficiency of the hydrocarbon production process in the long term. The authors associate the solution of this problem with the improvement of economic evaluation methods of engineering solutions in the development of hydrocarbon deposits to increase the technological flexibility of the Russian oil and gas sector and increase oil and gas recovery. The main reason for the decline in oil and gas recovery of Russian hydrocarbon fields is the application of engineering and technological approaches that intensify the production of hydrocarbons against the background of a deterioration in the structure of reserves. It is shown that increasing the technological flexibility of the Russian oil and gas sector can be achieved by strategically reorienting mining companies to long-term goals, which coincides with the objectives of sustainable development. To improve the methods of economic evaluation of engineering solutions for oil and gas projects, the authors suggest a grouping that takes into account the structure of the costs associated with the engineering solution, as well as the stage of field development at which a particular engineering solution will be implemented.

KEYWORDS: oil and gas sector, oil recovery coefficient, engineering solutions, technologies of oil production intensification, economic assessment

JEL Classification: L71, Q35, Q55, M11

Received: 21.03.2021 / **Published:** 31.05.2021

© Author(s) / Publication: CREATIVE ECONOMY Publishers

For correspondence: Vasilenko N.V. (vasilenko_nv@pers.spmi.ru)

Введение

Нефтегазовый сектор предстает важной составляющей мировой экономики. Эффекты его деятельности – доходы, добавленная стоимость и непосредственно добытые углеводороды – представляют собой важнейшие ресурсы для прогресса народного хозяйства в странах, которые развивают индустрию. В последние годы мировая нефтегазовая отрасль сталкивается с серьезными осложнениями в процессе своей деятельности. С одной стороны, это связано с усилением ограничений экологических стандартов [17, 24] (*Cherepovitsyn, Larichkin, Ilyinova, Soloveva, 2018*), которые требуют больших издержек, с другой – это повышение труднодоступности сырьевой базы в принципе [12] (*Poddubnyy, 2011*). «Легкой» нефти традиционных месторождений, которую активно добывали на протяжении более сотни лет, в мире практически не осталось. На смену ей пришли высоковязкие, тяжелые и керогеновые углеводороды, технологии извлечения из пласта которых существенно дороже и технически не всегда реализуемы. Вместо традиционных месторождений углеводородов в настоящее время широко представлены их месторождения на шельфе, месторождения с низкой проницаемостью пород [23] (*Grushevenko, Grushevenko, 2012*), месторождения в труднодоступных условиях Арктики [18] (*Cherepovitsyn, Soloveva, 2020*). Имеющиеся реалии стимулируют нефтегазовый сектор развиваться с технологической стороны [16] (*Khaertdinova, Ponomarenko, 2017*), так как ключом к качественному извлечению необходимых ресурсов становится усложняющаяся инженерия.

Рост значимости инженерных решений при реализации нефтегазовых проектов должен повлиять на стратегию развития нефтегазодобывающих компаний, а также государственную политику в рассматриваемой области. Российская нефтегазовая отрасль занимает догоняющую позицию в области эффективности прикладной инженерии, так, в Северной Америке с низкопроницаемыми песками широкое внедрение точечных технологий привело к «сланцевой революции», а не в России с Баженовской свитой.

Изменения в устройстве мировой энергетики ставят перед российским нефтегазовым комплексом задачи обеспечения роста эффективности на базе технологической реконструкции [9, 10] (*Muslimov, 2014; Muslimov, 2017*). Целью такой реконструкции является увеличение гибкости [5] и технико-экономической эффективности процесса добычи углеводородов в долгосрочной перспективе. Если влияние колебания цен [25, 28] (*Laughton, Jacoby, 1993; Schwartz, 1997*) и прочих рисков [22, 29] (*Fermi Dwi Wicaksono, Yusri Bin Arshad, Haeryip Sihombing, 2019; Sharpe, 1964*) на нефтегазовые проекты

изучено достаточно подробно, то влияние инженерных решений на экономические показатели проекта рассмотрено фрагментарно, что и определило цель исследования.

Цель исследования состояла в обосновании необходимости совершенствования методов экономической оценки инженерных решений при разработке нетрадиционных месторождений углеводородов для повышения технологической гибкости российского нефтегазового сектора и увеличения нефте- и газоотдачи при разработке нетрадиционных месторождений углеводородов.

Методы исследования

Методическую основу исследования составили анализ и синтез, систематизация и обобщение, системный и логический анализ, сравнительный междисциплинарный подход, количественные методы обработки информации.

Результаты

Применение инженерно-технологических подходов, интенсифицирующих добычу углеводородов, ориентированных на краткосрочные интересы инвесторов, на фоне ухудшения структуры запасов является основной причиной снижения нефтегазоотдачи российских месторождений углеводородов.

Для разработки нетрадиционных месторождений углеводородов в современных условиях необходимо повышение технологической гибкости российского нефтегазового сектора, что может быть достигнуто стратегической переориентацией добывающих компаний на долгосрочные цели, что совпадает с задачами устойчивого развития.

Взаимодействие инженерно-технологических и экономических факторов в ходе перехода к новым инженерным решениям в нефтегазовых проектах определяет необходимость совершенствования их экономической оценки.

Важнейшими критериями для группировки инженерных решений в нефтегазовых проектах разработки нетрадиционных нефтегазовых месторождений являются структура связанных с ними издержек и стадия разработки месторождения, на которой то или иное инженерное решение будет реализовано.

1. Снижение коэффициента извлечения нефти в условиях развития технологий интенсификации нефтедобычи

Одним из ключевых показателей эффективности функционирования нефтегазового сектора являются коэффициенты извлечения нефти (КИН),

газа и конденсата. Несмотря на то, что в «Энергетической стратегии России до 2030 г.» предусмотрено повышение коэффициента нефти отдачи от 0,30 в 2008 г. до 0,35–0,37 в 2030 г., в РФ в последние десятилетия наблюдается снижение величины КИН [9] (*Muslimov, 2014*). В российском нефтегазовом секторе складывается парадоксальная ситуация: техника и технология добычи неуклонно развиваются, а удельная отдача снижается. Многие специалисты объясняют ситуацию эскалационным характером развития отрасли, постоянным ухудшением горно-геологических условий. В то же время США коэффициент извлечения растет, несмотря на те же проблемы с растущей труднодоступностью углеводородов.

У такой негативной российской динамики существует широкий спектр причин, предлагается рассмотреть основные из них. Первой из них следует признать внешнеэкономический фактор, а именно: высокий уровень цен на нефть большую часть рассматриваемого периода. Высокий уровень цен на рынке углеводородов подталкивал нефтегазовые компании к разработке наиболее легкоизвлекаемых запасов с низким уровнем издержек, так называемое снятие сливок. В сложившейся ситуации объемы добычи углеводородов и прибыли нефтегазодобывающих компаний возросли [6] (*Lebedeva, 2013*), но при этом также росла доля трудноизвлекаемых запасов с низкой эффективностью их разработки [3] (*Bokserman, Fomkin, Tkachuk, Zatsepin, 2012*). Такой подход вылился, с одной стороны, в положительную для экономики страны краткосрочную перспективу, но с другой, подобная интенсификация добычи привела к тому, что существенное количество углеводородов, которые могли быть извлечены при более бережном подходе к разработке коллекторов, теперь неизвлекаемы. Продолжение подобного сценария неприемлемо как с точки зрения нерационального использования национального богатства (позиция государства), так и с точки зрения мировой общественности, активно продвигающей концепцию устойчивого развития [26] (*Rifkin, 1991*).

Вследствие вышеописанного подхода получали развитие технологические процессы разработки месторождений, способствующие наращиванию текущей добычи углеводородов, но попутно и к увеличению неоднородности высокопродуктивных пластов, что создавало условия для обводнения пластов и уменьшения нефтегазоотдачи. В то же время недостаточно масштабно разрабатывались и применялись инженерные решения для увеличения объема извлечения углеводородов в разрезе всего профиля добычи. В результате у российских компаний оказалось недостаточно технологического опыта в вопросах разработки и эксплуатации истощенных месторождений с активными запасами и нетрадиционных месторождений.

Вторая причина кроется в изменении модели развития нефтегазового сектора в России. В Советском Союзе базисом нефтегазового комплекса была геология и проводимые геологоразведочные работы. Именно благодаря такому научно-прикладному фокусу удалось разведать большинство месторождений, разрабатываемых и сегодня, в том числе и уникальных традиционных месторождений.

Современной же геологоразведке, как отечественной, так и мировой, все труднее найти так называемую легкую нефть, для извлечения которой не требуется сложная инженерия в процессе разработки. Таким образом, разрешить проблему низкой отдачи коллекторов исключительно посредством обнаружения новых месторождений углеводородов в Восточной Сибири, Арктике, на континентальном шельфе и последующей их эксплуатации не представляется возможным. Развитие инфраструктуры для наращивания объемов добычи нефти и газа в труднодоступных регионах требует длительного периода времени, технической подготовки и крупных инвестиционных вложений.

Важно понимать, что снижение нефтегазоотдачи пластов объясняется не столько ухудшением структуры запасов и увеличением их трудноизвлекаемой доли, сколько применением инженерно-технологических подходов, интенсифицирующих добычу углеводородов, а не повышающих отдачу коллекторов [3] (*Bokserman, Fomkin, Tkachuk, Zatsepin, 2012*). Именно невостребованность современной инженерии технологических процессов, направленной на стратегическую, долгосрочную, а не краткосрочную разработку месторождений, является основной причиной снижения отдачи. Без развития и применения инженерно-технических решений и методов невозможно кардинально повысить отдачу углеводородов, особенно из запасов, характерных для сегодняшнего вектора развития индустрии.

2. Повышение технологической гибкости российского нефтегазового сектора при разработке нетрадиционных месторождений

Основная задача при переходе к все менее традиционным источникам углеводородов состоит в повышении технологической гибкости российского нефтегазового сектора, заключается способности разрабатывать новые типы залежей ресурсов. В настоящее время для России все еще характерна ориентация на освоение традиционных залежей, которые еще могут теоретически быть открыты, что проявляется в медленном развитии собственных подходов к масштабной добыче нетрадиционных углеводородов. На месторождениях в рамках отдельных проектов идет избирательное освоение самых технологи-

чески простых участков, что ведет к невысокому показателю извлечения из недр [5] (*Kryukov, 2016*).

Перспективы добычи нефти и газа в России и в мире связаны со следующими структурами запасов:

- арктические месторождения;
- истощенные месторождения с активными запасами;
- месторождения с низкой проницаемостью пород;
- месторождения тяжелых углеводородов;
- шельфовые месторождения.

Ключевыми факторами, оказывающими влияние на успешность реализации нефтегазовых проектов в Арктике, являются технологии непосредственно процесса добычи, учитывающие геолого-климатические особенности, создание инфраструктуры, экологическую безопасность и [21] (*Carayannis, Plinova, Chanysheva, 2020*).

Разработка арктических месторождений отличается уникальностью с точки зрения применяемых материалов, технологий, а также способов охраны окружающей среды [17] (*Cherepovitsyn, Larichkin, Ilyinova, Soloveva, 2018*). Материалы, которые широко применяются в традиционных условиях, например, стали для строительства газо- и нефтепроводов, неприемлемы для использования в условиях Арктики. Технологические процессы бурения [7] (*Litvinenko, Vasilev, 2012*) и эксплуатации месторождения также являются специально разработанными. Сложность геологического строения, мерзлотность почв, низкие температуры, все это осложняет постройку и последующую эксплуатацию проектируемого промысла. При этом необходимо применять технические достижения, чтобы не нарушить хрупкую природу арктической зоны [11] (*Pakhomova, Rikhter, Malyshkov, Bondarenko, 2015*).

Чтобы увеличить объемы добычи углеводородов на поздних стадиях разработки месторождений, характерной особенностью каковых является высокая обводненность, применяются так называемые третичные методы увеличения, чаще всего нефтеотдачи (МУН), регулирующие процесс заводнения. Для этого в скважину закачивают специальный раствор-агент. Поверхностно-активные вещества (ПАВ) и щелочи способны уменьшать силы поверхностного натяжения на границе «нефть – вода», а полимеры – увеличивать вязкость воды, которая становится более статичной, и частицам углеводорода проще двигаться по капиллярам породы [20] (*Bera, Kumar, Ojha, Mandal, 2013*).

Разработка низкопроницаемых коллекторов стала возможна благодаря сочетанию технологии многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП) и

наклонно-направленного бурения. Эти инженерные решения стали техническим базисом для осуществления «сланцевой» революции в нефтегазовой отрасли. Технологии разработки низкопроницаемых коллекторов постоянно совершенствуются, в том числе в направлении удешевления [23] (*Grushevenko, Grushevenko, 2012*). Повышение экономического эффекта многостадийного гидроразрыва пласта и наклонно-направленного бурения достигается за счет снижения стоимости бурения (многокустовое бурение) и эксплуатации скважин (удешевление расклинивающего наполнителя), комплектующих и используемых материалов, а также улучшения технологических параметров бурения и эксплуатации [30].

Для разработки месторождений тяжелых углеводородов получили широкое распространение тепловые внутрипластовые методы. С их помощью возможно извлекать больший объем высоковязких углеводородов. В настоящее время применяются следующие внутрипластовые методы [24]: методы теплового воздействия на пласт, в том числе циклическая закачка пара, парогравитационный дренаж; методы внутрипластового горения; метод холодной добычи тяжелой нефти с песком. Такие способы добычи характеризуются высокой инженерно-технологической емкостью. Например, внутрипластовое горение представляет собой сложный процесс, требующий применения комплексного подхода с привлечением физики, химии и математики [19] (*Yakupova, Seltikova, Marin, Musin, 2015*). Также в случае высокой вязкости нефтей в коллекторе используется заводнение растворами полимера. Применение высокомолекулярного соединения повышает вязкость воды, тем снижая ее подвижность, облегчая движение частиц нефти в порах пласта [1] (*Dezhina, 2017*).

Шельфовые месторождения отличаются особыми требованиями к оборудованию и инженерным технологиям из-за необходимости глубоководного бурения. Например, устье скважины Macondo находилось на глубине 1500 м, а сама скважина уходила до забоя еще на 4 км. Очевидно, что такие условия – повышенные давление и температура, соленая морская вода, открытое море и удаленность от берега – требуют, например, улучшенного качества стали для оборудования.

Можно сделать вывод, что важнейшим фактором, обеспечивающим саму возможность разработки описанных структур запасов, является инженерия и квалифицированная подготовка инженерных решений для процесса извлечения углеводородов. Безусловно, предполагается сохранение объемов проведения геологоразведочных работ.

Таким образом, повышению коэффициентов извлечения углеводородов в долгосрочной перспективе будет способствовать внедрение более совершенных технологических процессов добычи. Это предполагает расширение опыта и повышение технологической гибкости отечественных нефтегазодобывающих компаний, которые в настоящее время, как было описано выше, нарабатывали опыт по решению краткосрочных задач, таких как интенсификация добычи в легкодоступных условиях и удовлетворение интересов инвесторов в высокой прибыли.

3. Значимость инженерных решений в нефтегазовых проектах и необходимость совершенствования их экономической оценки

В ситуации решения долговременных задач и достижения желаемого результата, таких как инженерная модернизация отрасли, большую роль приобретают позиция государства, образовательная политика, развитие НИОКР и международное взаимодействие [8] (*Litvinenko, Sergeev, 2019*). Причем принципиальное значение имеет именно сочетание этих факторов. Переход к более сложным и более выработанным месторождениям углеводородов требуют расширения и смены не инженерно-технологических, но и экономических решений [12] (*Poddubnyy, 2011*). При этом существует логическое взаимодействие инженерно-технологических и экономических факторов в ходе перехода к новым инженерно-технологическим решениям, что приводит к повышению затрат и снижению рентабельности процесса добычи на первом этапе и удешевлению технологий и повышению рентабельности – на втором [4] (*Vasilenko, Marin, 2020*).

Поэтому нефтегазодобывающие компании не должны забывать об оценке прибыльности проекта, где планируется широкое применение инженерных решений. Совершенствование производственных процессов не мгновенно, оно приводит к улучшению экономического результата в будущем. Придется понести затраты сегодня, чтобы улучшить стратегическую картину не только для государства или мировой общественности, но и самой нефтегазодобывающей компании в долгосрочной перспективе. Такой подход противоречит позиции большинства инвесторов, так как инвестиции, необходимые не только для наращивания, но и, что гораздо важнее на современном этапе, качественного совершенствования производственного потенциала, не гарантируют ни возврата средств, ни скорого успеха в широком смысле слова.

Сложившаяся ситуация с растущим значением инженерии в добыче углеводородов, порождающим конфликт между краткосрочными интересами инвесторов и стратегическими интересами нефтегазодобывающих компаний

и государства, заинтересованного в наполнении бюджета, и долгосрочным повышением качества жизни населения, должна найти отражение в системе экономической оценки нефтегазовых проектов.

Основой широко распространенной модели экономической оценки проектов по разработке месторождений углеводородов является концепция денежных потоков и их дисконтирование, которая была разработана для анализа финансовых активов в середине XX века [29] (*Sharpe, 1964*), но применяется для оценки реальных активов и сегодня. Существуют расширения этой концепции, позволяющие учесть неопределенности цен на ресурсы (нефть, газ в нашей ситуации) и продуктивную мощность коллектора. Последние представляют собой классические, самые важные, факторы риска при оценке нефтегазовых проектов, которые учитываются, например, с помощью метода Монте-Карло [22] (*Fermi Dwi Wicaksono, Yusri Bin Arshad, Haeryip Sihombing, 2019*).

Растущая важность инженерии в процессе разработки месторождения делает применение и самой вышеописанной концепции, и ее дополнений еще менее релевантным. Усложнение механизма технологии добычи углеводородов ведет к еще большей «реальности» рассматриваемого актива, и финансовая концепция гарантирует еще меньшую точность. Кроме того, классический подход игнорирует как неопределенности, возникающие непосредственно с эксплуатируемым оборудованием в процессе добычи, так и неопределенности, связанные с принятием инженерных решений, которые могут подвергнуться серьезным изменениям, относительно первоначального проекта вследствие изменения условий разработки пласта. Иначе говоря, проекты по освоению нефтегазовых месторождений требуют методов оценки, которые учитывают факторы технических неопределенностей [13] (*Ponomarenko, Sergeev, 2011*).

Следует признать, что после недостаточной технологической гибкости нефтегазодобывающих компаний второй проблемой для дальнейшего развития российской нефтегазовой отрасли является несовершенство методов оценки эффективности нефтегазовых проектов. Роль и сложность инженерных решений при технико-экономическом проектировании увеличивается, а методы их экономической оценки прогрессируют недостаточными темпами.

4. Группировка инженерных решений для экономической оценки проекта разработки нефтегазового месторождения

По мнению авторов, первым шагом к совершенствованию экономической оценки инженерных решений является их группировка.

При имеющихся разнообразии и самобытности нефтегазовых месторождений, их геологических свойств, а также свойств флюидов, можно предположить, особую значимость приобретает вопрос о критериях группировки, учи-

тывающих указанные особенности. При выборе таких критериев возможно в качестве основы использовать опыт разделения методов увеличения нефтеотдачи – первичные, вторичные и третичные, которые, несомненно, являются важнейшей составляющей рассматриваемых инженерных решений [15] (*Surguchev, 1985*). Можно также применить предлагаемую авторами специализацию нефтегазовых месторождений по структуре запасов. Однако описанные варианты представляются техническими, в то время как в современных реалиях более интересен экономический подход к систематизации.

Для разработки экономической группировки инженерных решений ключевыми факторами являются следующие: фактор времени, для учета которого в инвестиционном анализе используется метод дисконтирования; действующее налогообложение в нефтегазовой индустрии России; условия рыночной конкуренции, оказывающие влияние на капитализацию и привлекательность компании в глазах инвесторов, следовательно, и максимизацию прибыли. Все эти факторы влияют на соотнесение инженерного решения со структурой затрат, учитывающей их разделение на капитальные и эксплуатационные издержки [2] (*Badretdinov, Karpov, 2014*). Таким образом, первая итерация разработки рассматриваемой группировки связана с различием в методах оценки целесообразности принятия инвестиционного и текущего инженерного решения.

Далее обратим внимание на фактор времени реализации инженерных решений в проекте. На этапе технико-экономического обоснования проекта по итогам дисконтирования [14] поздние затраты, особенно капитальные, оцениваются гораздо дешевле, чем они предстанут в момент их осуществления, и наоборот [27] (*Samis, Davis Laughton, Poulin, 2006*). Кроме того, чем позже запланировано технологическое мероприятие, тем ниже шанс его реализации, следовательно, тем ниже вероятность, что оттоки, заложенные при инвестиционном анализе как генерируемые данным мероприятием, подтвердятся в жизни. Поэтому становится важным, в какой именно момент времени на протяжении горизонта планирования будет реализовываться то или иное предполагаемое технологическое мероприятие.

Однако даже при детальном планировании крайне сложно предопределить конкретный промежуток времени принятия инженерного решения, например, применения третичных МУН. Во-первых, они, в принципе, относительно далеко располагаются от начальной точки реализации проекта по горизонту планирования. Во-вторых, разброс момента внедрения у них в зависимости от характеристик месторождения, динамики процесса разработки и даже макроэкономических условий может достигать периода в несколько лет [9]

(Muslimov, 2014). Отсюда необходимо определить некие рамки, показывающие предполагаемый период принятия инженерного решения.

В качестве основы такой демаркации предлагается рассмотреть классические стадии разработки месторождений. Типы принимаемых инженерных решений, технико-технологическое обеспечение для каждой из четырех стадий схожи даже при различности структуры запасов. При этом типы решений для разных стадий отличаются друг от друга [10] (Muslimov, 2017).

Вторая итерация разработки предлагаемой группировки предполагает разделение инженерных решений и по типам издержек, и по временному периоду их. В таблице приведены примеры инженерных решений, соответствующие разным сочетаниям двух критериев.

Таблица

Группировка инженерных решений для экономической оценки проекта разработки нефтегазового месторождения

Стадии разработки месторождения	Структура издержек внедрения инженерного решения	
	Капитальные	Эксплуатационные
I – освоение объекта	Бурение сетки скважин	Разновидности гидравлических разрывов пласта
II – максимальный уровень добычи	Бурение горизонтальных, многозабойных скважин и боковых горизонтальных стволов	Гидродинамические методы
III – падение добычи	Бурение нагнетательных скважин	Спектр методов увеличения отдачи второго поколения
IV – завершающая стадия разработки	Высокопроизводительные насосы для отбора жидкости	Спектр методов увеличения отдачи третьего поколения

Источник: составлено авторами.

Обусловлена такая группировка тем, что процесс экономической оценки и последующее определение показателей экономической эффективности проекта требуют как минимум понимания наличия существующих технических мероприятий определенного типа на определенной стадии разработки нефтегазового месторождения.

Таким образом, в условиях закономерного роста значимости инженерных решений и необходимости повышения технологической гибкости нефтегазовых компаний следует расширить существующие модели экономической оценки нефтегазовых проектов. Исследование показало, что экономические оценки становятся более эффективными при синтезе технического и экономического аспектов проекта.

Заключение

Своевременная технологическая модернизация ведущих отраслей народного хозяйства является драйвером развития экономики государства. Так или иначе именно нефтегазовая сфера будет оставаться основным источником доходов страны в ближайшем будущем. Важнейшим фактором для развития нефтегазовой отрасли в современных условиях является разработка и модернизация нефтегазовых технологий, обеспечивающих рост производительности труда и снижение себестоимости всех видов работ при разведке, добыче и транспорте углеводородов.

Актуальность внедрения технологических изменений для России определяется стратегической необходимостью, обусловленной задачей повышения технологической гибкости нефтегазодобывающих компаний. В вопросах достижений инженерии российский нефтегазовый сектор в настоящее время в мировом масштабе предстает догоняющим, что делает его зависимым от политики других стран и угрожает национальной безопасности страны.

Развитие и внедрение технологий и инженерных решений в практику нефтегазовых компаний должно сопровождаться совершенствованием методов оценки экономической эффективности проектов, где будут применяться новые технические решения. Растущее многообразие и удорожание мероприятий по разработке нефтегазовых месторождений требует более гибкого и диверсифицированного отношения к технико-экономическому обоснованию проектов и инвестиционному анализу.

ИСТОЧНИКИ:

1. Дежина И. Г. Актуальные технологические направления в разработке и добыче нефти и газа: публичный аналитический доклад. – М.: БиТуБи, 2017. – 220 с.
2. Бадретдинов И. А., Карпов В. Г. Классификация методов увеличения нефтеотдачи (экономический подход) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2014. – № 1. – с. 6.
3. Боксерман А. А., Фомкин А. В., Ткачук В. И., Зацепин В. В. О необходимости восстановления государственной программы воспроизводства сырьевой базы нефтедобычи на основе развития и внедрения современных методов увеличения нефтеотдачи // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 9. – с. 26-30.
4. Василенко Н. В., Марин Е. А. Взаимосвязь экономических и инженерно-технологических факторов развития процессов разработки месторождений углеводородного сырья // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. – 2020. – № 3(52). – с. 20-24.

5. Крюков В. А. Экономика знаний и минерально-сырьевой сектор – особенности взаимодействия в современных условиях // Вестник Омского университета. – 2016. – № 1. – с. 52-59.
6. Лебедева О. Ю. Анализ тенденций производства и потребления основных видов топливно-энергетических ресурсов на мировом и российском рынках // Записки Горного института. – 2013. – с. 43-47.
7. Литвиненко В. С., Васильев Н. Разработка породоразрушающего инструмента для бурения скважин во льду // Записки Горного института. – 2012. – с. 15-20.
8. Литвиненко В. С., Сергеев И. Б. Инновационное развитие минерально-сырьевого сектора // Проблемы прогнозирования. – 2019. – № 6(177). – с. 60-72.
9. Муслимов Р. Х. Инновации и широкая модернизация нефтегазового сектора – объективная необходимость современного развития России // Георесурсы. – 2014. – № 1(56). – с. 3-10.
10. Муслимов Р. Х. Решение фундаментальных проблем нефтяной отрасли России – основа масштабного перехода к инновационному развитию // Георесурсы. – 2017. – № 3. – с. 151-158.
11. Пахомова Н. В., Рихтер К. К., Малышков Г. Б., Бондаренко Ю. П. Формирование спроса на экологические инновации: достаточна ли институциональная поддержка? // Проблемы современной экономики. – 2015. – № 2(54). – с. 15-27.
12. Поддубный Ю. А. Повышение нефтеотдачи: несбыточные надежды. Территория действий // Нефть. Газ. Новации. – 2011. – № 7. – с. 24-34.
13. Пономаренко Т. В., Сергеев И. Б. Оценка минерально-сырьевых активов добывающей компании на основе опционного подхода // Записки Горного института. – 2011. – с. 164-175.
14. Правила подготовки технических проектов разработки месторождений углеводородного сырья. Утв. приказом Минприроды России от 20 сентября 2019 года № 639. [Электронный ресурс]. URL: <https://nangs.org/docs/minprirody-rossii-prikaz-ot-20-09-2019-g-639-ob-utverzhdanii-pravil-podgotovki-tekhnicheskikh-proektov-razrabotki-mestorozhdenij-uglevodorodnogo-syrya-pdf> / (дата обращения: 10.01.2021).
15. Сургучев М. Л. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов. – М.: «Недра», 1985. – 308 с.
16. Хаертдинова, Д. З., Пономаренко Т. В. Система оценки взаимосвязанных эффектов при реализации технологических проектов в нефтяных компаниях // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2017. – № 5 (99). – с. 26.
17. Череповицын А. Е., Ларичкин Ф. Д., Ильинова А. А., Соловьева В. М. Формирование концепции рационального природопользования на арктических территориях, способствующей их устойчивому промышленному и

- социально-экономическому развитию // Вопросы территориального развития. – 2018. – № 5 (45). – с. 1.
18. Череповицын А. Е., Соловьева В. М. Анализ сырьевого углеводородного потенциала российской Арктики // Наукосфера. – 2020. – № 11-2. – с. 257-261.
 19. Якупова Э. Р., Сельтикова Е. В., Марьин Д. Ф., Мусин А. А. Численное моделирование процесса внутрислоевого горения при закачке воздуха в пласт // Вестник Башкирского университета. – 2015. – № 3. – с. 781-785.
 20. Bera A., Kumar T., Ojha K., Mandal A. Adsorption of surfactants on sand surface in enhanced oil recovery: Isotherms, kinetics and thermodynamic studies // Applied Surface Science. – 2013. – p. 87– 99.
 21. Carayannis E., Ilinova A., Chanysheva A. Russian Arctic Offshore Oil and Gas Projects: Methodological Framework for Evaluating Their Prospects // Journal of the Knowledge Economy. – 2020. – № 11. – p. 1403–1429.
 22. Fermi Dwi Wicaksono, Yusri Bin Arshad, Haeryip Sihombing Monte Carlo net present value for techno-economic analysis of oil and gas production sharing contract // International Journal of Technology. – 2019. – № 4. – p. 829-840.
 23. Grushevenko D., Grushevenko E. Unconventional oil potential tends to change the world oil market // Energy Science and Technology. – 2012. – № 1. – p. 68-74.
 24. Jian Sun, Yi Pan, Xia Bao, Zhangxin Chen Overview of environmental protection methods in heavy oil cold production // UCALGARYRESERVOIRSIMULATION. [Электронный ресурс]. URL: <http://ucalgaryreservoirsimulation.ca/overview-of-environmental-protection-methods-in-heavy-oil-cold-production/> (дата обращения: 10.01.2021).
 25. Laughton D. G. Jacoby H. D. Reversion, Timing Options, and Long-Term Decision-Making // Financial Management. – 1993. – p. 225 -240.
 26. Rifkin J. Biosphere Politics: A New Consciousness for a New Century. - N. Y.: Crown Publishing Group [en], 1991. – 388 p.
 27. Samis M., Davis G.A., Laughton, D., Poulin R. Valuing uncertain asset cash flows when there are no options: a real options approach // Resources Policy. – 2006. – p. 285–298.
 28. Schwartz E. S. The stochastic behavior of commodity prices: implications for valuation and hedging // Journal of Finance. – 1997. – № 52 (3). – p. 923–973.
 29. Sharpe W. F. Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk // Journal of Finance. – 1964. – № 19 (3). – p. 425–442.
 30. Strategic Petroleum Reserve Annual Report for Calendar Year 2016. Report to Congress October 2018 // United States Department of Energy Washington, D.C. 20585. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/02/f59/EXEC-2017-005106%20-%202016%20SRP%20Report.pdf> (дата обращения: 10.01.2021).

REFERENCES:

- Badretdinov I. A., Karpov V. G. (2014). Klassifikatsiya metodov uvelicheniya neft-eotdachi (ekonomicheskiy podkhod) [Classification of enhanced oil recovery methods (economic approach)]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. (1). 6. (in Russian).
- Bera A., Kumar T., Ojha K., Mandal A. (2013). Adsorption of surfactants on sand surface in enhanced oil recovery: Isotherms, kinetics and thermodynamic studies *Applied Surface Science*. 284 87– 99.
- Bokserman A. A., Fomkin A. V., Tkachuk V. I., Zatsepin V. V. (2012). O neobkhodimosti vosstanovleniya gosudarstvennoy programmy vosproizvodstva syrevoy bazy neftedobychi na osnove razvitiya i vnedreniya sovremennykh metodov uvelicheniya nefteotdachi [On the necessity of re-establishment of government program intended to oil reserves replenishment on the base of development and implementation of modern eor methods]. *Neftyanoe khozyaystvo*. (9). 26-30. (in Russian).
- Carayannis E., Ilinova A., Chanysheva A. (2020). Russian Arctic Offshore Oil and Gas Projects: Methodological Framework for Evaluating Their Prospects *Journal of the Knowledge Economy*. (11). 1403–1429.
- Cherepovitsyn A. E., Larichkin F. D., Ilyinova A. A., Soloveva V. M. (2018). Formirovanie kontseptsii ratsionalnogo prirodopolzovaniya na arkticheskikh territoriyakh, sposobstvuyushchey ikh ustoychivomu promyshlennomu i sotsialno-ekonomicheskomu razvitiyu [Formation of the concept of rational environmental management in the arctic territories contributing to their sustainable industrial and socio-economic development]. *Territorial development issues*. (5 (45)). 1. (in Russian).
- Cherepovitsyn A. E., Soloveva V. M. (2020). Analiz syrevogo uglevodorodnogo potentsiala rossiyskoy Arktiki [Analysis of the raw hydrocarbon potential of the Russian Arctic]. *Naukosfera*. (11-2). 257-261. (in Russian).
- Dezhina I. G. (2017). Aktualnye tekhnologicheskie napravleniya v razrabotke i dobyche nefti i gaza: publichnyy analiticheskiy doklad [Current technological trends in the development and production of oil and gas: public analytical report] (in Russian).
- Fermi Dwi Wicaksono, Yusri Bin Arshad, Haeryip Sihombing (2019). Monte Carlo net present value for techno-economic analysis of oil and gas production sharing contract *International Journal of Technology*. (4). 829-840.

- Grushevenko D., Grushevenko E. (2012). Unconventional oil potential tends to change the world oil market *Energy Science and Technology*. (1). 68-74.
- Jian Sun, Yi Pan, Xia Bao, Zhangxin Chen Overview of environmental protection methods in heavy oil cold production // UCALGARYRESERVOIRSIMULATION. Retrieved January 10, 2021, from <http://ucalgaryreservoirsimulation.ca/overview-of-environmental-protection-methods-in-heavy-oil-cold-production/>
- Khaertdinova, D. Z., Ponomarenko T. V. (2017). Sistema otsenki vzaimosvyazannykh effektov pri realizatsii tekhnologicheskikh proektov v neftyanykh kompaniyakh [A system for evaluating interrelated effects in the implementation of technological projects in oil companies]. *Management of economic systems: scientific electronic journal*. (5 (99)). 26. (in Russian).
- Kryukov V. A. (2016). Ekonomika znaniy i mineralno-syrevoy sektor – osobennosti vzaimodeystviya v sovremennykh usloviyakh [Knowledge economy and mining sector - features of interaction in modern conditions]. *Omsk Scientific Bulletin*. (1). 52-59. (in Russian).
- Laughton D. G. Jacoby H. D. (1993). Reversion, Timing Options, and Long-Term Decision-Making *Financial Management*. 22 225 -240.
- Lebedeva O. Yu. (2013). Analiz tendentsiy proizvodstva i potrebleniya osnovnykh vidov toplivno-energeticheskikh resursov na mirovom i rossiyskom rynkakh [Analysis of trends in production and consumption of the main types of fuel and energy resources in the world and Russian markets]. *Zapiski Gornogo instituta*. 201 43-47. (in Russian).
- Litvinenko V. S., Sergeev I. B. (2019). Innovatsionnoe razvitie mineralno-syreвого sektora [Innovations as a factor in the development of the natural resources sector]. *Problems of forecasting*. (6(177)). 60-72. (in Russian).
- Litvinenko V. S., Vasilev N. (2012). Razrabotka porodorazrushayushchego instrumenta dlya bureniya skvazhin vo ldu [Development of rock-breaking tools for drilling wells in ice]. *Zapiski Gornogo instituta*. 197 15-20. (in Russian).
- Muslimov R. Kh. (2014). Innovatsii i shirokaya modernizatsiya neftegazovogo sektora – obektivnaya neobkhodimost sovremennogo razvitiya Rossii [Oil and gas sector wide modernization and innovations - the objective necessity for the modern development of Russia]. *Georesources*. (1(56)). 3-10. (in Russian).

- Muslimov R. Kh. (2017). Reshenie fundamentalnyh problem neftyanoy otrasli Rossii – osnova masshtabnogo perekhoda k innovatsionnomu razvitiyu [Solving the fundamental problems of the Russian oil industry is the basis for a large-scale transition to innovative development]. *Georesources*. (3). 151-158. (in Russian).
- Pakhomova N. V., Rikhter K. K., Malyshkov G. B., Bondarenko Yu. P. (2015). Formirovanie sprosa na ekologicheskie innovatsii: dostatochna li institutsionalnaya podderzhka? [Formation of demand for ecological innovations: is the institutional support sufficient? (russia, st. petersburg)]. *Problems of modern economics*. (2(54)). 15-27. (in Russian).
- Poddubnyy Yu. A. (2011). Povyshenie nefteotdachi: nesbyvayushchiesya nadezhdy. Territoriya deystviy [EOR - frustrated hopes. Area for further actions]. *Neft. Gaz. Novatsii*. (7). 24–34. (in Russian).
- Ponomarenko T. V., Sergeev I. B. (2011). Otsenka mineralno-syrevykh aktivov dobyvayushchey kompanii na osnove optsiionnogo podkhoda [Evaluation of mineral resources assets of a mining company based on an option approach]. *Zapiski Gornogo instituta*. 191 164-175. (in Russian).
- Rifkin J. (1991). *Biosphere Politics: A New Consciousness for a New Century*
- Samis M., Davis G.A., Loughton, D., Poulin R. (2006). Valuing uncertain asset cash flows when there are no options: a real options approach *Resources Policy*. 30 285–298.
- Schwartz E. S. (1997). The stochastic behavior of commodity prices: implications for valuation and hedging *Journal of Finance*. (52 (3)). 923–973.
- Sharpe W. F. (1964). Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk *Journal of Finance*. (19 (3)). 425–442.
- Strategic Petroleum Reserve Annual Report for Calendar Year 2016. Report to Congress October 2018 // United States Department of Energy Washington, D.C. 20585. Retrieved January 10, 2021, from <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/02/f59/EXEC-2017-005106%20-%202016%20SRP%20Report.pdf>
- Surguchev M. L. (1985). Vtorichnye i tretichnye metody uvelicheniya nefteotdachi plastov [Secondary and tertiary methods of enhanced oil recovery] (in Russian).

Vasilenko N. V., Marin E. A. (2020). Vzaimosvyaz ekonomicheskikh i inzhenerno-tekhnologicheskikh faktorov razvitiya protsessov razrabotki mestorozhdeniy uglevodorodnogo syrya [Interaction of economic and engineering-technological factors of development of hydrocarbon deposits]. Business. Education. Law. Bulletin of the Volgograd Business Institute. (3(52)). 20-24. (in Russian).

Yakupova E. R., Seltikova E. V., Marin D. F., Musin A. A. (2015). Chislennoe modelirovanie protsessa vnutriplastovogo goreniya pri zakachke vozdukha v plast [Numerical simulation of in-situ combustion process during injection of air]. Vestnik Bashkirskogo universiteta. (3). 781-785. (in Russian).

