

Целесообразность применения электромагнитных технологий в разработке нефтяных месторождений Республики Башкортостан

Feasibility of Using Electromagnetic Technologies in the Development of Oil Fields of the Republic of Bashkortostan

А. РАБЦЕВИЧ

Рабцевич Андрей Александрович, канд. экон. наук, доцент, старший научный сотрудник, доцент Института экономики, финансов и бизнеса Уфимского университета науки и технологий (УУНиТ), магистрант Физико-технического института УУНиТ. E-mail: cruiser333@yandex.ru

В статье анализируется экономическая целесообразность методов разработки нефтяных месторождений, основанных на использовании энергии электромагнитного (ЭМ) поля, а также обосновывается экономическая эффективность реализации данного проекта в условиях современного состояния нефтедобывающей отрасли Республики Башкортостан (РБ). Автор выявляет ее ключевые проблемы: высокую выработанность запасов, низкую извлекаемость высоковязкой их части, а также значительную обводненность продукции при добыче из традиционных коллекторов. Определены возможности охвата месторождений РБ, пригодных для разработки остаточных запасов нефти с применением ЭМ-технологий. Установлен экономический эффект, который способно дать применение передового метода.

Ключевые слова: нефтедобывающая отрасль, нефтяное месторождение, методы увеличения нефтеотдачи пластов, методы интенсификации притока нефти, электромагнитные технологии, Республика Башкортостан.

The article analyzes the economic feasibility of oilfield development methods based on the use of electromagnetic field energy, and also substantiates the economic efficiency of the implementation of this project in the current state of the oil industry in Bashkortostan Republic. The author identifies key problems: high depletion of reserves, low recoverability of the highly viscous part of them, as well as significant water cut of production from traditional reservoirs. Opportunities to cover fields suitable for the development of residual oil reserves by electromagnetic technologies have been determined. The economic effect that the application of an advanced method can give is calculated.

Key words: oil industry, oilfield, oil recovery increasing methods, oil inflow intensification methods, electromagnetic technologies, Bashkortostan Republic.

Основные положения

1. Сокращение объемов нефти, добываемой на территории РБ, отрицательно сказывается на уровне загрузки производственных мощностей по ее переработке, а применяемые в настоящее время технологии, очевидно, не позволят сохранить его в дальнейшем.
2. Дальнейшие перспективы наращивания добычи в РБ связаны, в первую очередь, с разработкой трудноизвлекаемых запасов, в частности – из коллекторов высоковязкой нефти.
3. Метод воздействия на призабойную зону пласта высокочастотным ЭМ-полем является экономически рентабельным и позволяет в ближайшей перспективе перевести в разряд извлекаемых большие запасы высоковязкой нефти, разведанных на территории РБ.

Введение

Республика Башкортостан, как регион, некогда бывший крупнейшим центром нефтедобычи, в настоящее время всё более переориентируется на инорегиональное сырьё. Несмотря на развитость отраслевой инфраструктуры, серьезные проблемы возникают с разработкой новых разведанных (в первую очередь – в нефтематеринских породах и коллекторах вязкой нефти) и

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-11-20042.

довыработкой остаточных запасов, поскольку в них большинство скважин не выходят на уровни дебита, близкие к рентабельным. Это связано, в первую очередь, с многолетней интенсивной добычей легкоизвлекаемой (активной) нефти на всех разведанных площадях.

Методы

Основными методами исследования являются анализ источников в сети Интернет по теме исследования, анализ официальных статистических данных, а также систематизация и обобщение специализированных данных государственной статистики. В расчётной части используются методы экономического анализа и бизнес-аналитики.

Результаты

Для понимания масштабов вовлечения в хозяйственный оборот имеющихся в РБ запасов нефти необходимо рассмотреть последовательное движение ее объемов в натуральном выражении от недр до переработки. С этой целью представим динамику ряда производственно-экономических показателей за достаточно продолжительный период времени (рис. 1):

1. Остаточные геологические запасы нефти, млн тонн [8; 10; 12; 13];
2. Остаточные извлекаемые запасы нефти, млн тонн [5; 7; 11];
3. Объем нефти, добытой на территории региона, млн тонн [6; 9; 29; 30];
4. Нефть, поступившая на переработку (первичную), млн тонн [23–27];
5. Использование среднегодовой мощности переработки, % [28; 31; 34].

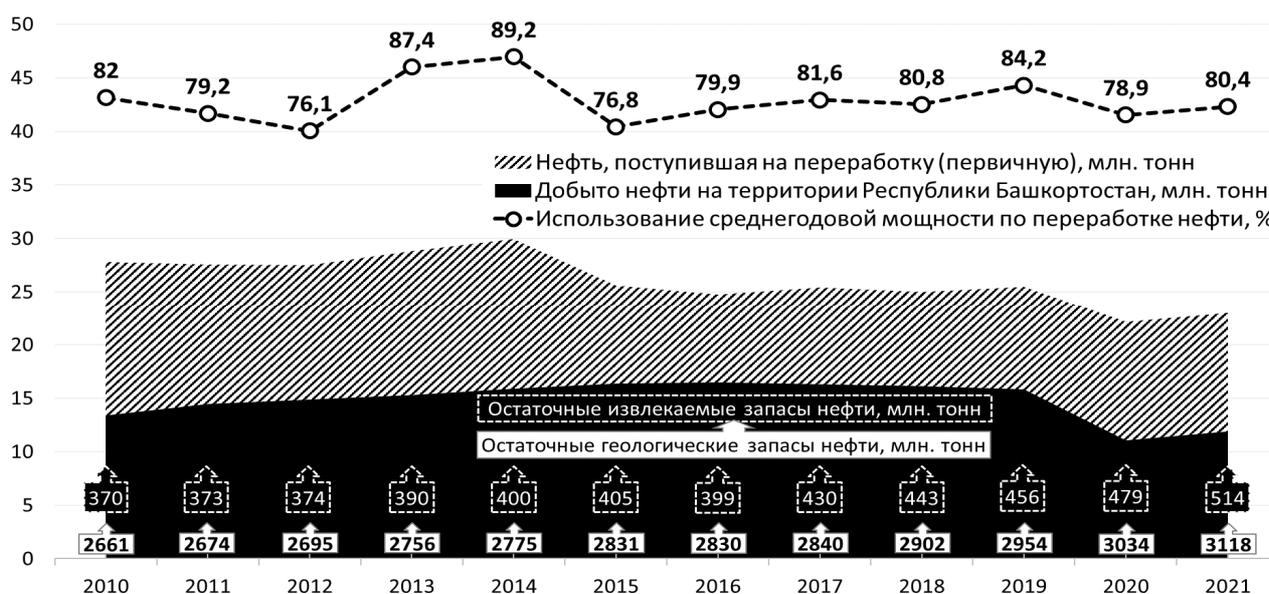


Рис. 1. Основные производственно-экономические показатели движения нефти от недр до переработки в РБ за 2010–2021 гг.

Согласно рисунку, в 2020 году произошло существенное сокращение добычи нефти в регионе – до 11054 тыс. тонн с 15826 в предыдущем году, при этом падение загрузки мощностей не было компенсировано за счет нефти, поступающей извне. Несмотря на то, что за 2021 год объем добычи несколько восстановился (на 863 тыс. тонн), а также учитывая, что степень выработанности месторождений за десятилетие даже несколько уменьшилась с 80,3 % [4] в 2011 году до 78,1 % [32] в 2020 году (в основном за счет доразведки), и оценка остаточных извлекаемых запасов за весь рассматриваемый период имеет устойчивую тенденцию к повышению – применяемые в настоящее время технологии, очевидно, не позволят в дальнейшем поддерживать уровень загрузки производственных мощностей переработки. Цель увеличения объемов добычи нефти в РБ диктует необходимость оценки состояния нефтяных месторождений,

находящихся на ее территории, с точки зрения возможностей внедрения инновационных методов, в нашем случае – ЭМ-технологий.

Стоит отметить, что обеспеченность добычи нефти по разведанным запасам обычной нефти в России составляет около 20 лет, с учетом трудноизвлекаемой – 35 лет. Вследствие все большего роста доли трудноизвлекаемой нефти в общем балансе ее запасов (более 50 %, однако доля в добыче около 7 %) [22, 48–50], а также ввиду отсутствия достаточной рентабельности для освоения такой нефти руководством страны признается неизбежность перехода на «новые технологии нефтедобычи, позволяющие значительно увеличить нефтеотдачу уже разрабатываемых пластов, на которых традиционными методами невозможно извлечь значительные остаточные запасы нефти» [15]. В стратегической перспективе, согласно Энергетической стратегии Российской Федерации, проектный коэффициент извлечения нефти (без учета трудноизвлекаемых запасов) должен вырасти с 38,3 % (2018 г.) до 38,5 % в 2024 г. и 38,7 % в 2035 г. [37].

На территории РБ на долю тяжелой нефти (плотность 871–895 кг/куб. м) приходится 56 % из всего объема разведанных запасов, а битуминозной (>895 кг/куб. м) – 26,5 %. Таким образом, более 4/5 запасов в среднесрочной перспективе являются трудноизвлекаемыми. Согласно официальным данным, извлеченность нефти на месторождениях РБ (КИН) в среднем – 34–36 %, выработанность запасов – 76–78 % [17], что, по мировым практикам, является достаточно высоким значением и позволяет относить эти месторождения к «старым», находящимся на завершающей стадии эксплуатации.

Представляется возможным проиллюстрировать разницу дебетов на новых и старых (впервые введенных в эксплуатацию до 1 января отчетного года) скважинах за один месяц работы (рис. 2), которая рассчитывается путем деления суммарной добычи нефти в тоннах на число скважино-месяцев, отработанных по соответствующей группе скважин.

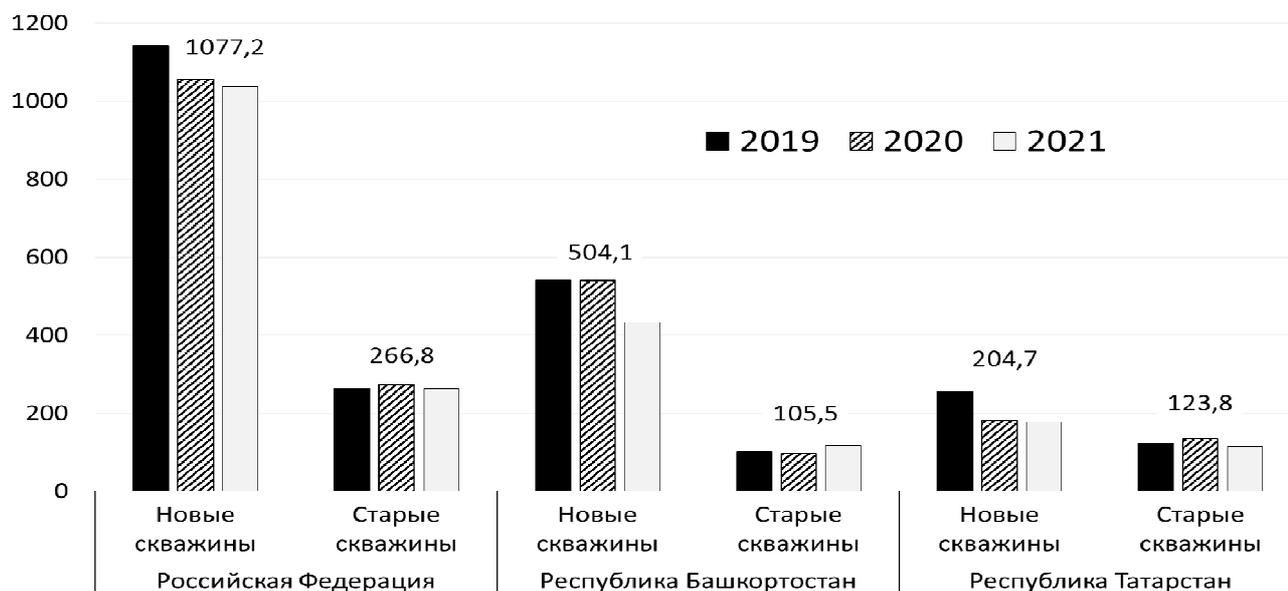


Рис. 2. Средний дебит на отработанный скважино-месяц при добыче нефти по категориям скважин (средние значения) за период 2019–2021 гг., тонн [14]

Данные показывают, что старые скважины в РБ в значительной степени истощены, однако новые, при их небольшом количестве (129 – в 2019 году, 162 – в 2021 году, 211 – в 2022 году по Башкортостану, против 959, 653 и 678, соответственно, по Татарстану) [14], дают существенно больший удельный дебит, чем в Республике Татарстан. В целом, ежегодное снижение дебета на вводимых (из бурения и освоения после бурения, из консервации и других фондов) в эксплуатацию скважинах характерно и для рассматриваемых регионов, и для Российской Федерации в целом. Между тем, оба региона, при сохранении текущих тенденций, не являются перспективными

с точки зрения добычи, поскольку существует большая совокупность месторождений, которые поддерживают среднемесячный дебит в целом по стране на высоком уровне.

Что касается такого важного показателя функционирования отрасли, как уровень обводненности добываемой нефти, то общепризнанное среднее значение его в РБ – 89–91 %. Обводненность существенно увеличивается по мере увеличения времени эксплуатации скважин (рис. 3).

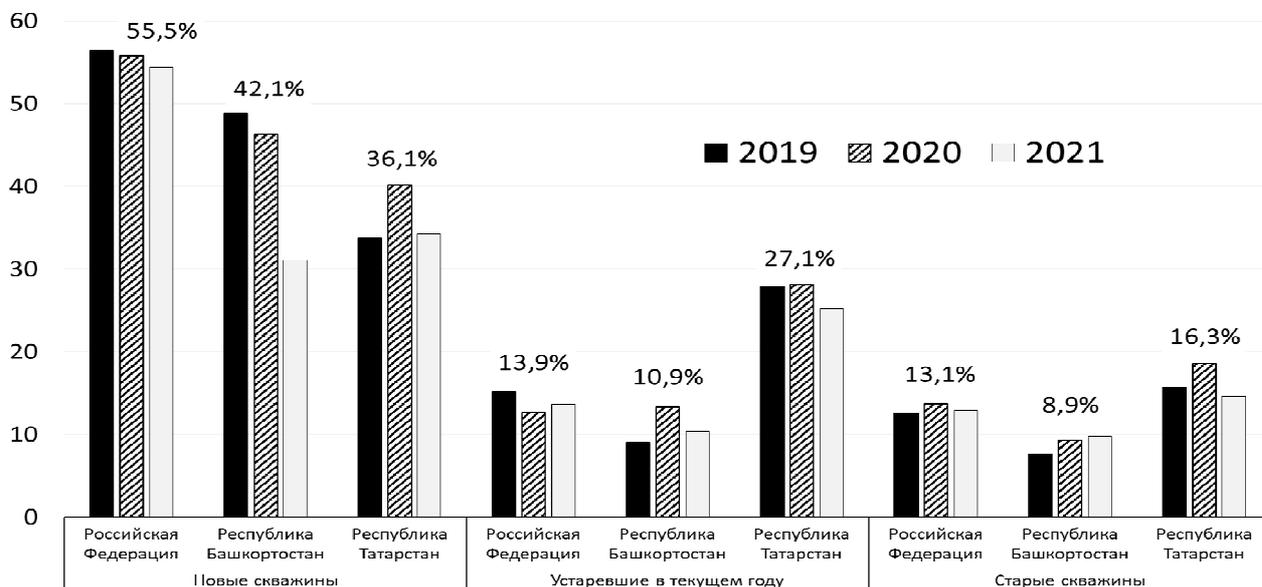


Рис. 3. Доля нефти в извлеченной из нефтяных скважин жидкости по категориям скважин (средние значения за 3 года), %

Представленный на рисунке показатель рассчитан путем деления двух: «Добыча нефти по категориям скважин» (количество добытой нефти обезвоженной, обессоленной и стабилизированной) на «Извлечено жидкости из нефтяных скважин по категориям скважин с начала года» [14] (количество извлеченной жидкости учитывается в полном объеме, включая нефть, воду, соли и механические примеси).

Сопоставление групп скважин по возрастам позволяет заключить, что резкое повышение обводненности характерно как в целом для России, так и, в особенности, для РБ, где на подавляющем большинстве объектов добычи ее значение превышает 90%. В отличие от этого, в Республике Татарстан снижение выхода нефти происходит медленнее, даже при учете того, что в жидкости новых скважин ее изначально всего около трети.

Обсуждение

Истощение коллекторов «активной» нефти в РБ в сочетании с ростом доли трудноизвлекаемой (и, в первую очередь, высоковязкой) ее части в геологических запасах требует применения инновационных методов добычи, основанных на новых физических принципах. Среди множества передовых методов особой перспективностью, по нашему мнению, обладает метод воздействия на призабойную зону пласта высокочастотным ЭМ-полем. Несмотря на десятилетия исследований, данный метод до сих пор считается экспериментальным.

Геологические запасы более чем 150 месторождений высоковязкой нефти на территории РБ (турнейский и фаменский ярусы) составляют более 700 млн тонн [19], остаточные запасы категорий А+В+С1 оцениваются в 151 млн тонн [3] (3,2 % от запасов по всей России) [22, 296–299], при этом извлекаемыми, при использовании доступных методов, считаются только около 30 млн тонн [16, 35–39]. Наибольшей вязкостью характеризуются пластовые нефти в терригенной толще нижнего карбона (до 34,6 мПа*с) и карбонатных отложениях нижнего карбона (до 35,3 мПа*с) [35]. Согласно данным ПАО АНК «Башнефть», на коллекторы с низкой

проницаемостью и содержащие высоковязкую нефть приходится около 43,6 % остаточных запасов в регионе [17].

Ряд крупных месторождений, содержащих в промышленных объемах высоковязкую нефть (Югомашевское, Арланское) и природные битумы (Кулбаевская, Чатбашевская [36], Калтаевская, Ивановская [21, 34–36] и другие площади), позволяют выделить из них первоочередные для внедрения ЭМ-технологий увеличения нефтеотдачи и определить суммарную долю от остаточных запасов, поддающихся ЭМ-воздействию. Помимо вышесказанного, целесообразно применение совокупности данных технологий («дожатие») на истощенных месторождениях РБ, наиболее перспективным из которых можно считать Ишимбайское.

Моделирование применения ЭМ-технологии на виртуальных скважинах в одном из программных пакетов позволяет спрогнозировать уровень повышения нефтеотдачи пласта (рис. 4), что, в свою очередь, даст возможность произвести сравнение эффективности данного метода (по КИН) с существующими традиционными технологиями разработки.

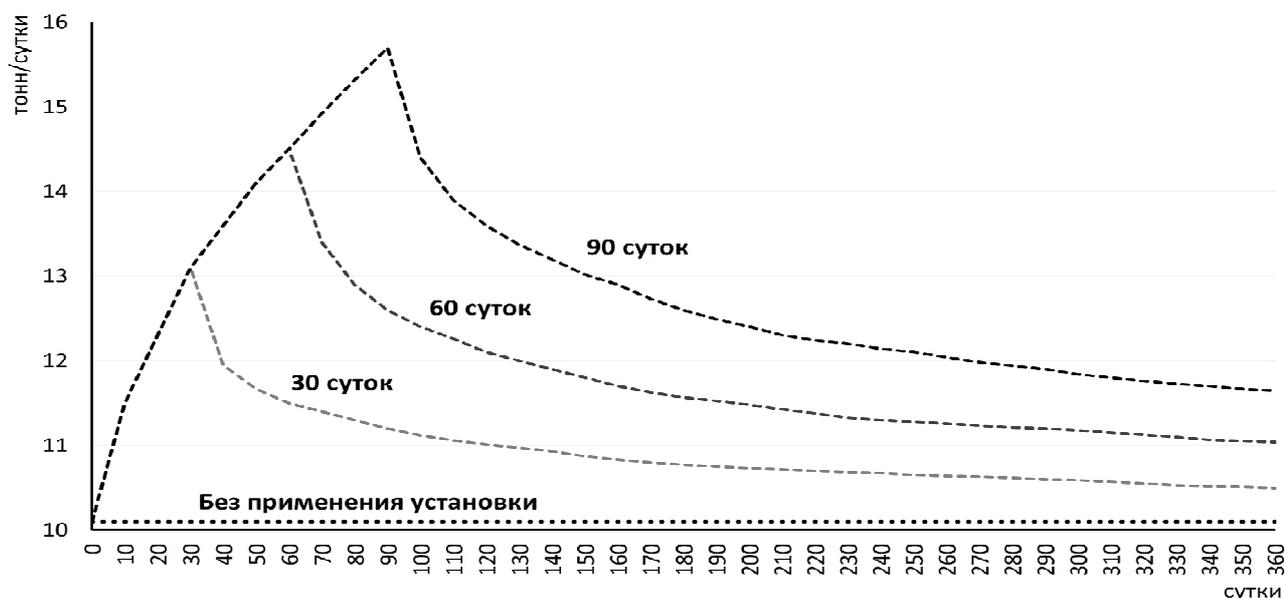


Рис. 4. Динамика текущего дебита эксплуатационной скважины при высокочастотном ЭМ-воздействии с различным временем обработки

Согласно рисунку, при установившемся режиме работы скважины (при введении в симулятор свойств нефти и условий добычи для одного из реальных месторождений) с дебитом 10 тонн в сутки, запуск экспериментальной установки приведет к повышению ежедневного объема добываемой нефти до 13 тонн на 30-е сутки, 14,4 тонн – на 60-е и 15,6 тонн – на 90-е. При отключении установки дебит уменьшается со все меньшей интенсивностью, возвращаясь к первоначальным значениям. При этом, по расчетам, суммарный годовой накопленный объем дополнительной добычи нефти при обработке высокочастотным ЭМ-полем при 30, 60 и 90 сутках работы установки, составляет соответственно 315, 632, 955 тонн (рис. 5).

Представляется возможным рассчитать примерный экономический эффект. В настоящее время (на конец января текущего года) 1 баррель марки Urals торгуется за 54 доллара США, обменный курс 1 доллара США – 69 российских рублей, 1 тонна нефти эквивалентна 7,33 баррелей. Следовательно, цена 1 тонны нефти – 27,3 тыс. рублей, а стоимость дополнительного годового объема нефти в случае работы установки в течении 90 дней составит 26,1 млн руб.

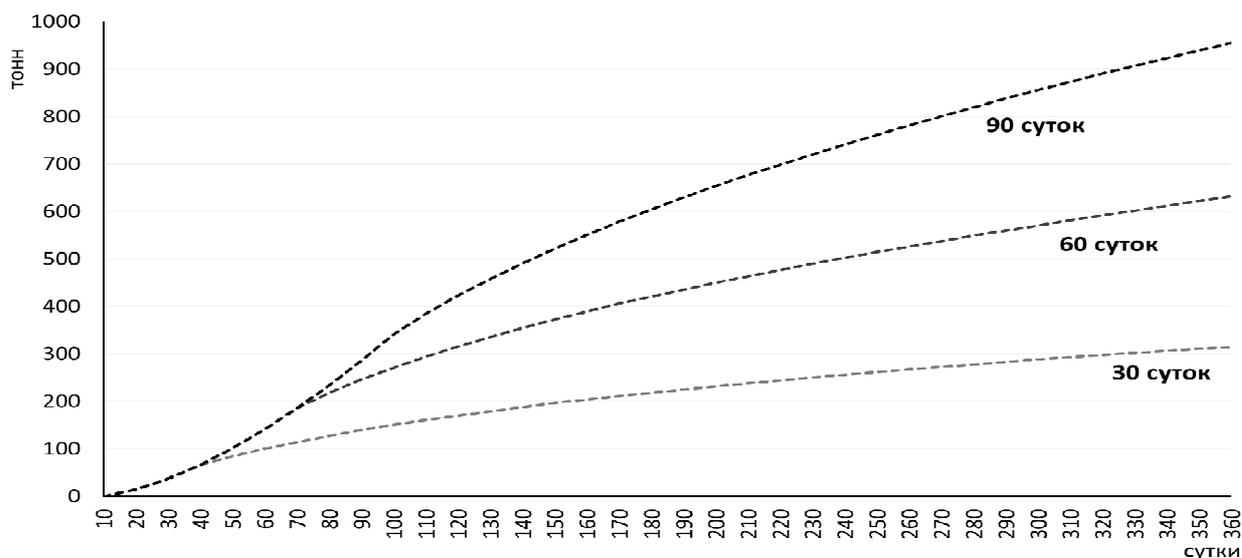


Рис. 5. Прирост накопленной добычи за счет ЭМ-воздействия по длительности работы установки

Предварительно затраты на изготовление установки (мощностью 60 кВт), в том числе антенно-фидерных устройств, контрольно-измерительных приборов и автоматики составят 5 млн рублей, а затраты на апробацию технологии, включая изготовление макетного образца генератора, проведение испытаний, разработку программных кодов для прогнозных расчетов эффективности и матрицы применимости (при изготовлении первого образца) – 6,5 млн рублей. Электрическая энергия за 90 суток (2160 часов) при мощности 60 кВт будет потреблена в объеме 129600 кВт, при стоимости 5,67 руб. за кВт в РБ для небольших потребителей затраты составят 735 тыс. руб. [33]. Таким образом, дополнительная прибыль с учетом прочих затрат составит около 9 млн руб. Срок окупаемости установки – около 1,5–2 лет с учетом ставки дисконтирования в зависимости от параметров скважины и условий добычи.

В процессе применения того или иного МУН себестоимость добываемой нефти характеризуется разным накоплением [1, 86–91]. Согласно литературным данным и результатам экспериментов, прирост КИН находится в диапазоне от 0,02 до 0,09 д. ед. (т.е. 2–9 п.п.) относительно начальных геологических запасов, охваченных разработкой, что позволит оперативно перевести в разряд извлекаемых не менее 30 млн тонн нефти по открытым в РБ месторождениям высоковязкой нефти.

В качестве первоочередного объекта для внедрения новой технологии следует обозначить месторождение с нефтесодержащими терригенными толщами нижнего карбона – Новоказинскую площадь Арланского месторождения (вязкость нефти – 23,2 мПа*с, текущий КИН – 0,38, проектный КИН – 0,43) [20, 28–34]. Извлекаемые запасы в целом по Арланскому месторождению – 440 млн тонн, а балансовые – 998 млн тонн.

Фокус внедрения новой технологии с целью интенсификации притока может быть направлен на средние и мелкие месторождения, поскольку, по прогнозным данным, именно они станут основными источниками поступления нефти в ближайшее десятилетие – степень их выработанности составит 75–79 %, что значительно выше, чем у крупных месторождений (92–93 %) [18].

Заключение

Устойчивое снижение нефтеотдачи в РБ обусловлено вступлением большей части месторождений в завершающую стадию разработки, а также отсутствием крупномасштабных проектов по увеличению нефтеотдачи трудноизвлекаемых запасов посредством внедрения принципиально новых технологий. Вследствие этого научно-теоретическая проработка, оценка экономической эффективности и опробование ЭМ-методов является чрезвычайно актуальной

задачей, решение которой позволит на десятилетия обеспечить высокорентную производственную специализацию и, тем самым, поддержку социально-экономической стабильности региона.

Несмотря на сложившиеся в настоящее время внешнеполитические проблемы, связанные с экспортом углеводородов и продуктов нефтехимии, разработку и апробирование инновационных методов интенсификации добычи трудноизвлекаемых запасов нефти необходимо проводить уже сейчас, чтобы в дальнейшем эффективно использовать их в промышленных масштабах, в том числе посредством тиражирования опыта применения на залежах в других регионах России с развитой добывающей инфраструктурой.

Литература

1. Андреев В.Е., Дубинский Г.С. Современное состояние структуры запасов нефти и динамики КИН, направления инновационных работ по обеспечению эффективного извлечения нефти // Акселерация инноваций – институты и технологии: сборник статей научного делового форума. 14–24 октября 2020 г. Уфа: ИСИ РБ, 2020. С. 86–91.
2. Башкирцева Н.Ю. Высоковязкие нефти и природные нефти // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 19. С. 296–299.
3. Борисов Д., Мустафин А. Перспективы дальнейшего развития нефтегазового сектора Республики Татарстан: возможности и риски [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ngv.ru/upload/medialibrary/701/70114325019868e41dac423f2712b53e.pdf>
4. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан (РБ) в 2011 г. Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан (МПиЭ РБ), 2012. 366 с.
5. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды РБ в 2013 г. Уфа: МПиЭ РБ, 2014. 336 с.
6. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды РБ в 2014 г. Уфа: МПиЭ РБ, 2015. 326 с.
7. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды РБ в 2015 г. Уфа: МПиЭ РБ, 2016. 310 с.
8. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды РБ в 2016 г. Уфа: МПиЭ РБ, 2017. 316 с.
9. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды РБ в 2017 г. Уфа: МПиЭ РБ, 2018. 330 с.
10. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды РБ в 2018 г. Уфа: МПиЭ РБ, 2019. 276 с.
11. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды РБ в 2019 г. Уфа: МПиЭ РБ, 2020. 286 с.
12. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды РБ в 2020 г. Уфа: МПиЭ РБ, 2021. 287 с.
13. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды РБ в 2021 г. Уфа: МПиЭ РБ, 2022. 300 с.
14. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [Электронный ресурс]. URL: <https://fedstat.ru/>
15. Информационно-аналитический материал к парламентским слушаниям на тему «О мерах по повышению нефтеотдачи пластов на период до 2035 года» / Аналитическое управление Аппарата Совета Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://council.gov.ru/media/files/YIHuUgiuXLuOJ8zkSzdwcSd3ifglgI0D.pdf>
16. Искрицкая Н.И., Макаревич В.Н. Необходимость ускоренного освоения месторождений тяжелых высоковязких нефтей на территории России // Георесурсы: научно-технический журнал. 2014. № 4. С. 35–39.
17. Искусство создания стоимости / Годовой отчет АНК «Башнефть» – 2013 [Электронный ресурс]. URL: https://bashneft.ru/files/iblock/313/GO_BN.pdf

18. Конторович А.Э., Эдер Л.В., Филимонова И.В. и др. Нефтяная промышленность исторически главных центров Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, элементы их истории, ближайшие и отдаленные перспективы // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 12. С. 2097–2114.
19. Котенев М.Ю. Повышение эффективности технологий извлечения запасов нефти в карбонатных коллекторах управляемым воздействием: автореферат дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.17 / Котенев Максим Юрьевич. М., 2011. 25 с.
20. Лозин Е.В. Основные принципы разработки и перспективы разработки крупных нефтяных месторождений Башкортостана // Георесурсы. 2012. № 3. С. 28–34.
21. Масагутов Р.Х. Природные битумы и высоковязкие нефти востока Русской плиты (на примере Башкортостана) // Георесурсы: научно-технический журнал. 2007. № 4. С. 34–36.
22. Постников А.Л. Проблема добычи трудноизвлекаемых запасов нефти в России и современные методы ее решения // Бурение и нефть. 2018. № 12. С. 48–50.
23. Республика Башкортостан 2015–2017 гг.: статистический справочник. Уфа: Башкортостанстат, 2018. 24 с.
24. Республика Башкортостан 2016–2018 гг.: статистический справочник. Уфа: Башкортостанстат, 2019. 46 с.
25. Республика Башкортостан 2017–2019 гг.: статистический справочник. Уфа: Башкортостанстат, 2020. 62 с.
26. Республика Башкортостан 2018–2020 гг.: статистический справочник. Уфа: Башкортостанстат, 2021. 61 с.
27. Республика Башкортостан 2019–2021 гг.: статистический справочник. Уфа: Башкортостанстат, 2022. 63 с.
28. Республика Башкортостан в цифрах: статистический сборник. Уфа: Башкортостанстат, 2018. 156 с.
29. Республика Башкортостан в цифрах: статистический сборник. Уфа: Башкортостанстат, 2019. 180 с.
30. Республика Башкортостан в цифрах: статистический сборник. Уфа: Башкортостанстат, 2020. 168 с.
31. Республика Башкортостан в цифрах: статистический сборник. Уфа: Башкортостанстат, 2021. 157 с.
32. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Республики Башкортостан на 15.03.2021 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202104/2195ab34843883a09e87b4d96b3eba98.pdf?ysclid=lf0u4tqyc4536427696>
33. Тарифы на электроэнергию для малых предприятий и ИП (Республика Башкортостан, ООО «ЭСКБ», ноябрь 2022) [Электронный ресурс]. URL: <https://time2save.ru/tarify-na-elektroenergiu-dla-malih-predpriyatiy-i-ip?ysclid=lf0u7ciugi414451451>
34. Трофимчук Т.С. Статистическое исследование развития нефтяного комплекса Российской Федерации: монография. Уфа: УНЦ РАН, 2016. 172 с.
35. Тупицин А.М. Извлечение вязкой нефти из сложно-построенных залежей комплексными технологиями вытеснения (на примере Байтуганского месторождения): диссертация ... канд. техн. наук: 25.00.17 / Тупицин Андрей Михайлович. Бугульма, 2017. 131 с.
36. Успенский Б.В. Научно-методические основы поиска, разведки и освоения природных битумов: автореферат ... д-ра геол.-мин. наук: 25.00.12 / Успенский Борис Вадимович. Казань, 2005. 44 с.
37. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. Утв. распоряжением Правительства РФ от 9 июня 2020 № 1523-р [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202006110003?index=1&rangeSize=1>