

Современные тенденции управления процессами в области добычи и переработки тяжелой нефти

Панков Дмитрий Анатольевич

Канд. экон. наук, доц. каф. экономики и управления в топливно-энергетическом комплексе
ORCID: 0009-0005-4237-0514, e-mail: da_pankov@guu.ru

Флакسمан Алина Сергеевна

Канд. экон. наук, доц. каф. экономики и управления в топливно-энергетическом комплексе
ORCID: 0000-0001-8122-0862, e-mail: as_flaksmman@guu.ru

Государственный университет управления, г. Москва, Россия

Аннотация

В настоящее время как в мире, так и в Российской Федерации происходит освоение новых нефтяных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. Ежегодно количество традиционных запасов нефти уменьшается, а их качество ухудшается. Их альтернативой выступают трудноизвлекаемые запасы тяжелой нефти. Целью настоящего исследования являются определение и анализ новых перспективных способов управления процессами в области добычи и переработки нефти, которые человечество вынуждено осваивать в текущей ситуации. Рассмотрена проблематика необходимости перехода к добыче и переработке запасов тяжелой и битуминозной нефти. Проанализированы основные известные на сегодняшний день способы добычи тяжелой нефти, выявлены достоинства и недостатки каждого из них. Раскрыты характеристики различных способов переработки тяжелой нефти, использующихся в настоящее время, а также проблемы и перспективы их применения. Проведен анализ рынка технического обслуживания нефтеперерабатывающих заводов, приведена динамика его объема. Отдельно рассмотрен сегмент управления плановыми ремонтами на нефтеперерабатывающих заводах. Изучены объемы рынка технического обслуживания нефтеперерабатывающих заводов в Российской Федерации. На основе исследования мирового опыта выявлена необходимость перестройки системы управления добычи и переработки нефти в стране. В результате сравнительного анализа сделаны выводы о необходимости применения не только традиционно используемых способов добычи, но и перспективного шахтно-скважинного способа добычи. Определены перспектива сочетания технологий переработки тяжелых нефтей, а также возможность переработки нефти с помощью электрических разрядов.

Ключевые слова

Тяжелая нефть, трудноизвлекаемые запасы, битуминозная нефть, Баженовская свита, нефтепереработка, крекинг, плазменный реактор, техническое обслуживание НПЗ, шахтно-скважинная добыча

Для цитирования: Панков Д.А., Флакسمан А.С. Современные тенденции управления процессами в области добычи и переработки тяжелой нефти // Вестник университета. 2025. № 2. С. 94–101.

Current trends in process management in heavy oil production and refining

Dmitry A. Pankov

Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof. at the Economics and Management in the Fuel and Energy Complex
ORCID: 0009-0005-4237-0514, e-mail: da_pankov@guu.ru

Alina S. Flaksman

Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof. at the Economics and Management in the Fuel and Energy Complex
ORCID: 0000-0001-8122-0862, e-mail: as_flaksmman@guu.ru

State University of Management, Moscow, Russia

Abstract

Currently, both in the world and in Russia, new oil fields with hard-to-recover reserves are being developed. Every year the quantity of conventional oil reserves is decreasing, and their quality is deteriorating. Hard-to-recover heavy oil reserves are their alternative. The purpose of the study is to identify and analyze new promising ways of process management in oil production and refining, which mankind is forced to master in the current situation. The problematics of necessity of transition to heavy and bituminous oil reserves production and refining has been considered. The main known to date methods of heavy oil extraction have been analyzed, and advantages and disadvantages of each of them have been revealed. The characteristics of various methods of heavy oil refining, currently used, as well as the issues and prospects of their implementation have been disclosed. The refinery maintenance market has been analyzed, and the dynamics of the refinery maintenance market volume has been given. The scheduled maintenance management segment at oil refineries has been considered separately. The volumes of Russian oil refineries maintenance market have been studied. On the basis of the study of world experience the necessity of restructuring the oil production and refining management system in Russia has been revealed. As a result of the comparative analysis the conclusions have been made about the necessity to apply not only traditionally used extraction methods, but also a promising shaft-well extraction method. The prospect of combining technologies of heavy oil refining, as well as the possibility of oil refining with the help of electric discharges has been determined.

Keywords

Heavy oil, hard-to-recover reserves, bituminous oil, Bazhenov formation, oil refining, cracking, plasma reactor, refinery maintenance, mining and borehole production

For citation: Pankov D.A., Flaksman A.S. (2025) Current trends in process management in heavy oil production and refining. *Vestnik universiteta*, no. 2, pp. 94–101.



ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время мировые запасы тяжелой и битуминозной нефти составляют около 750 млрд т, что в значительной мере превышает запасы легких видов нефти. По многочисленным оценкам, запасы тяжелой нефти составляют около 70 % от мировых [1].

Тяжелая нефть – это высоковязкая нефть, обладающая высокой плотностью (0,92–1 г/см³). По причине плотного состава и пониженной текучести ее транспортировка непростая. Повышенная вязкость и высокая плотность увеличивают массу тяжелой нефти по сравнению с обычной, и этот факт также осложняет ее добычу. В тяжелой нефти присутствует множество различных примесей – соединений азота и кислорода, серы, тяжелых металлов, смол, асфальтенов. Они затрудняют переработку тяжелой нефти по сравнению с обычной.

Как правило, месторождения тяжелой нефти отличаются высокими емкостными свойствами. Показатели пористости находятся в пределах от 19 до 46 %. При этом такие месторождения отличаются разрозненностью и высокой неоднородностью фильтрационных характеристик. Залежи тяжелой нефти присутствуют на различных глубинах под землей – от 300 м до глубин свыше 1,5 тыс. м. Однако стоит учитывать, что процент балансовых запасов тяжелой нефти, размещенных на глубине более 1,5 тыс. м, составляет около 5 % всех запасов. Наибольшие ресурсы тяжелой нефти расположены на глубинах от 1 до 1,5 тыс. м [2; 3]. Наиболее распространены месторождения высоковязкой нефти, которые отличаются сложной многопластовой системой. В данной системе различные уровни нефтеносности обладают разными фильтрационными свойствами.

Наибольшие запасы тяжелой и битуминозной нефти сосредоточены в Канаде и Венесуэле. Российская Федерация (далее – РФ, Россия) занимает важное место в мировых запасах тяжелой нефти и природных битумов, которые в основном сконцентрированы в таких регионах, как Волго-Уральская, Тимано-Печорская и Западно-Сибирская нефтегазоносные провинции. Оценочные запасы тяжелой нефти в России варьируются от 30 до 75 млрд т, что значительно превышает объемы запасов легкой нефти. В условиях сокращения ресурсов легкой нефти переход к разработке нефти тяжелой становится очевидной стратегической перспективой [4].

ДОБЫЧА ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ

Существуют три основных способа добычи тяжелой нефти.

1. Добыча совместно с породой и последующее отделение нефти. Это подразумевает осуществление двух первостепенных этапов: добычу нефтеносной породы и ее транспорт на обогатительную фабрику с целью сепарации нефти. В рамках применения этого способа разработки капитальные и эксплуатационные затраты промысла являются незначительными по сравнению с другими способами. После завершения выполнения работ по выделению из породы углеводородов характерен высокий уровень показателя нефтеотдачи – от 64 до 86 %. В целях добычи нефтеносной породы применяется специализированное оборудование для добычи полезных ископаемых: машины-экскаваторы, бульдозеры и т.д. Одним из крупнейших месторождений в мире, где используется данный метод добычи, является месторождение Атабаска, расположенное в канадской провинции Альберта. Оно представляет собой кварцевые пески с битумонасыщенностью в среднем около 8 %. В песках Атабаски содержатся нефть, смолы, асфальтены, сера и кокс. Запасы битума на этом месторождении оцениваются в 129 млрд т.

Выемка нефтеносной породы выполняется машинами-экскаваторами. На втором этапе процесса нефтеносная порода доставляется транспортером на пункт по измельчению породы и завод по экстракции, находящиеся рядом с карьером. Дальнейшая переработка нефтеносных песков, такая как отделение нефти от частиц песков, выполняется рядом методов: холодной и горячей водой, с помощью пара, специальными реагентами химической промышленности. По завершении выделения битума, отстаивания и применения центрифуги битум направляется на нефтеперерабатывающий завод¹. Таким способом можно добывать нефть на глубине не более 90 м, поэтому он является ограниченным.

2. Воздействие на нефть внутри пласта достаточно широко применяется в настоящее время. В его рамках иногда используют газовые методы, например, закачку воздуха в пласт. Данный метод базируется на закачивании воздуха в нефтеносный пласт и его трансформировании в вытесняющие агенты с помощью окислительных процессов, происходящих внутри пласта при низкой температуре.

¹ Характеристика пластов. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/8836213/page:43/> (дата обращения: 10.12.2024).

Кроме того, на практике применяются различные методы химии, в том числе обработка кислотами, поверхностно-активными веществами, химическими реагентами и растворителями органики. Кислотные растворы, находящиеся под давлением, попадают в мелкие поры и трещины, присутствующие в нефтеносном пласте, и после этого приводят к их расширению. Параллельно с данным процессом появляются новые каналы, по которым нефть направляется к забою скважины.

В мировой практике используется также микробиологическое воздействие, базирующееся на применении микробиологических явлений, в которых основные функции выполняют микроорганизмы. Такие организмы, проникающие в нефтеносный пласт искусственным способом, выделяют различные продукты своей жизнедеятельности: газы, биополимеры, спирты, растворители и т.д.

В настоящее время чаще всего в рамках метода воздействия на нефть внутри пласта используется технология теплового воздействия, которая снижает вязкость нефти, что позволяет ее выкачать. Однако при циклической закачке пара в пласт необходимо соблюдать достаточно большие периоды времени между закачкой пара и добычей, поэтому добыча длительна, а коэффициент извлечения нефти низок и составляет не более 25 %. При одновременной закачке пара в пласт и добыче ограничением является тот факт, что пласт должен быть мощным и однородным [5].

3. Шахтный способ добычи тяжелой нефти применялся ранее при освоении первых нефтяных месторождений, но в настоящее время практически не используется. Сегодня разработана более совершенная технология добычи в рамках данного способа – шахтно-скважинная. Она интегрирует в себе весь мировой опыт освоенных и веками отработанных технологий добычи полезных ископаемых, включая традиционные скважинные способы освоения месторождений углеводородного сырья и шахтные способы.

Шахтно-скважинная технология предназначена для разработки трудноизвлекаемых углеводородных запасов, таких как отложения Баженовской свиты, месторождения высоковязкой, битумной и «недозревшей» нефти. Этот способ включает вскрытие продуктивных слоев с помощью шахтных стволов и подземных горных выработок, после чего добыча нефти осуществляется с применением различных современных методов, направленных на повышение нефтеотдачи. Для этого используют скважины, которые бурятся с целью стимуляции и добычи.

Процесс шахтно-скважинной разработки включает комплекс капитальных горных работ, таких как вскрытие нефтегазоносных пластов с помощью шахтных стволов и подземных выработок, подготовка выемочно-добычных скважинных блоков с использованием горно-подготовительных выработок, а также бурение нагнетательных и стимулирующих скважин для повышения нефтеотдачи. Добычные скважины обычно бурят с поверхности земли или непосредственно из подземных выработок.

В рамках этой технологии применяются методы воздействия на продуктивные пласты, такие как гидро-разрыв, безводные тепловые воздействия и физико-химическое вытеснение нефти. Шахтно-скважинный способ отличается тем, что скважины для стимуляции нефтеотдачи бурятся из подземных выработок, а добычные – с поверхности или из подземных блоков, обеспечивая более эффективное использование месторождений и извлечение трудноизвлекаемой нефти.

Конкурентные преимущества шахтно-скважинной технологии [6; 7]:

- сокращение объемов бурения добывающих скважин до экономически оправданного уровня;
- значительное увеличение коэффициента извлечения нефти;
- минимизация экологического воздействия на поверхность земли;
- обеспечение экологической безопасности технологий стимулирования и повышения нефтегазоотдачи залежей битумной нефти с высокой вязкостью;
- эффективное использование низкокалорийного попутного газа для генерации электро- и теплоэнергии;
- продление жизненного цикла месторождений, что увеличивает их срок эффективной эксплуатации.

ПЕРЕРАБОТКА ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ

В настоящее время технологии переработки тяжелой нефти в основном используют комбинацию традиционных методов обработки, таких как коксование, каталитический и гидрокрекинг, гидроочистка и другие подобные процессы [8]. Некоторые зарубежные компании применяют замедленное коксование для переработки. Этот метод, хотя и является высокоэнергоемким, имеет недостаток – получаемый кокс с высоким содержанием серы не находит широкого применения. Замедленное, или

полунепрерывное, коксование представляет собой процесс переработки тяжелых нефтяных остатков без доступа воздуха при высоких температурах².

Процесс переработки начинается с предварительного нагрева нефти в печах до температуры 351–381°C. Затем нагретая нефть поступает на каскадные тарелки ректификационной колонны, функционирующей при атмосферном давлении. Здесь происходят теплопередача и массоперенос, в результате чего часть паров конденсируется, смешивается с исходным сырьем и образует вторичное сырье. Это сырье нагревается до 491–511°C в специальных печах и направляется в коксонакопительные камеры – вертикальные цилиндрические аппараты диаметром от 3,1 до 7,1 м и высотой от 21 до 31 м.

В камерах сырье подвергается воздействию высокой температуры в течение 24–36 ч, что приводит к процессу коксования. Когда камера заполняется коксом на 69–91 %, его извлекают с помощью водяной струи под давлением до 15 МПа. Извлеченный кокс отправляется на дробильную установку, где его измельчают на фракции размером до 150 мм. Затем он сортируется по размерам: 0,5–6 мм, 6–25 мм и 25–150 мм. После выгрузки кокса камеры прогреваются паром, подготавливая их к следующей загрузке сырьем³.

Замедленное коксование имеет ряд преимуществ, включая высокий выход малозольного кокса, что делает его экономически выгодным. Увеличенный выход кокса объясняется длительным воздействием высокой температуры на сырье, что позволяет более эффективно извлекать углерод и минимизировать потери. Этот процесс также способствует улучшению качества кокса за счет его более однородной структуры и меньшего содержания примесей. Кроме того, технологию можно адаптировать для получения кокса с нужными характеристиками, что открывает возможности для его использования в различных отраслях, таких как металлургия.

Современной альтернативой переработки тяжелой нефти является гидрокрекинг – усовершенствованный процесс по сравнению с традиционным каталитическим крекингом и каталитическим риформингом. Этот метод более эффективен и показывает лучшие результаты. Гидрокрекинг представляет собой передовую технологию переработки углеводородов, в ходе которой используется водород в каталитическом крекинге. Он позволяет значительно повысить качество конечных продуктов и улучшить общую эффективность переработки сырья.

К основным преимуществам гидрокрекинга относятся:

- высокий выход легких фракций – этот процесс позволяет перерабатывать тяжелый газойль в высококачественные легкие дистилляты, такие как бензин и дизельное топливо, с минимальным образованием тяжелых остатков;
- отсутствие тяжелых остатков – в отличие от других методов при гидрокрекинге не образуются такие тяжелые отходы, как кокс или пек, что облегчает дальнейшую переработку и снижает затраты на утилизацию;
- гибкость в производственном процессе – установки для гидрокрекинга могут быть настроены таким образом, чтобы увеличивать производство либо бензина, либо дизельного топлива в зависимости от изменений рыночного спроса, что дает возможность нефтеперерабатывающим заводам быстро адаптироваться к изменяющимся потребительским предпочтениям;
- повышение качества продукции – гидрокрекинг способствует улучшению свойств бензина, делая его более соответствующим современным экологическим стандартам, что особенно важно с учетом усиления экологических норм;
- образование изобутана – в ходе гидрокрекинга образуется значительное количество изобутана, который можно использовать для алкилирования и производства более высококачественного бензина.

Существует множество типов установок для гидрокрекинга, которые можно настроить для оптимальной переработки в зависимости от качества исходного сырья и требуемых конечных продуктов. Это делает гидрокрекинг универсальным и эффективным инструментом в нефтедобывающей и нефтехимической промышленности. Еще одним важным преимуществом современных процессов гидрокрекинга являются использование относительно недорогих катализаторов и значительная экономия за счет отсутствия необходимости в дорогостоящей гидроочистке [9].

² Каталог инновационных разработок участников Технологической платформы «Технологии добычи и использования углеводородов». Режим доступа: <https://tp-ning.ru/catalog> (дата обращения: 10.12.2024).

³ Технология производства нефтяного кокса. Режим доступа: <https://neftegaz.ru/science/petrochemistry/332059-tehnologiya-proizvodstva-neftyanogo-koksa-i-ispolzuemoe-v-promyshlennosti-syre/> (дата обращения: 10.12.2024).

Стоит выделить инновационную технологию переработки тяжелой нефти, разработанную специалистами Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. В университете была создана крупнейшая в мире установка, использующая электрические разряды для эффективной переработки тяжелой нефти, обеспечивающая производство ценных продуктов для химической промышленности. Эта передовая технология имеет несколько значительных преимуществ по сравнению с традиционными методами переработки тяжелой нефти, которые обычно требуют высоких температур и давления, использования большого количества водорода, сжигания углеводородного топлива и сопровождаются существенными выбросами углекислого газа. Плазменные реакторы, предлагаемые в рамках новой технологии, устраняют эти недостатки, поскольку работают на электроэнергии, получаемой от атомных или гидроэлектростанций, и не производят углекислый газ. В процессе разложения крупных молекул на более мелкие компоненты с помощью электрических разрядов выделяются водород, ацетилен, этилен, метан и другие химические вещества, которые активно используются в различных отраслях химической промышленности. Однако внедрение этой технологии в промышленность ограничено размером установок, что делает особенно важным достижение увеличения их мощности [10].

РЫНОК ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ

Важной составляющей в области переработки тяжелой нефти являются услуги по техническому обслуживанию нефтеперерабатывающих заводов. Это отдельный рынок со своими особенностями и тенденциями.

В связи с увеличением необходимости переработки тяжелой нефти мировой рынок технического обслуживания нефтеперерабатывающих заводов в последние годы растет и будет увеличиваться (табл. 1).

Таблица 1

Динамика объема мирового рынка технического обслуживания нефтеперерабатывающих заводов

Годы	2022	2023	2024	2025	2026
Объем рынка, млрд долл. США	3,6	3,8	3,9	4,1	4,3

Составлено авторами по материалам источника⁴

Наибольшую долю рынка (более 83 %) занимает плановый ремонт. Под плановым ремонтом в данном случае имеется в виду техническое обслуживание нефтеперерабатывающих заводов, которое проводится каждые три–пять лет [11]. Типичными мероприятиями в ходе данного процесса являются:

- проверка электрических систем и трубопроводов на коррозию, целостность, износ и образование отложений;
- специальная проверка вращающегося оборудования, емкостей и насосов для выявления нештатных ситуаций;
- замена изношенных деталей и систем;
- замена отработавших катализаторов.

Продолжительность планового ремонта варьируется от нескольких недель до нескольких месяцев в зависимости от типа технического обслуживания и проблем, возникающих во время ремонта. Длительные сроки и финансовые затраты вынуждают руководство нефтеперерабатывающих заводов планировать ремонтные работы в непииковый период года.

Второй сегмент – это рынок технического обслуживания и ремонта во время незапланированных остановок на нефтеперерабатывающих заводах. Перебои в подаче электроэнергии являются одной из основных причин незапланированных остановок. На отказ электрооборудования приходится около одной седьмой от общего числа отключений электроэнергии на нефтеперерабатывающих заводах. Другая одна седьмая часть связана с погодными условиями, такими как сильный ветер, проливные дожди, удары молний и наводнения. Неисправность оборудования является еще одной причиной незапланированной остановки нефтеперерабатывающего завода.

⁴ US Energy Information Administration. Режим доступа: <https://www.eia.gov/> (дата обращения: 10.12.2024).

В настоящее время по объему рынка технического обслуживания нефтеперерабатывающих заводов Россия занимает третье место среди стран мира после Соединенных Штатов и Китая. Рассмотрим динамику объема отечественного рынка (табл. 2).

Таблица 2

**Динамика объема рынка технического обслуживания
нефтеперерабатывающих заводов в России**

Годы	2022	2023	2024	2025	2026
Объем рынка, млн долл. США	198	205	212	220	230

Составлено авторами по материалам источника⁵

В России прогнозируется рост рынка, темпы которого составят от 3 до 4 % в год, поэтому услуги по техническому обслуживанию нефтеперерабатывающих заводов являются важными элементами экономики и управления процессами в области переработки как всей нефти, так и тяжелой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный глобальный переход к извлечению трудноизвлекаемых запасов требует разработки новых методов управления процессами добычи и переработки тяжелой нефти. Эти изменения являются объективной необходимостью и напрямую касаются необходимости адаптации системы управления добычей и переработкой нефти в России. В нынешних условиях для эффективной разработки месторождений тяжелой нефти следует учитывать не только традиционные методы, такие как добыча нефти с породой и воздействие на пласт, но и перспективные подходы, например, шахтно-скважинный способ.

В отношении переработки тяжелой нефти необходимо расширить подходы, выходящие за рамки традиционных технологий, таких как коксование, каталитический крекинг и гидрокрекинг. Важно исследовать возможности их комбинации, а также внедрять новые методы, например, переработку с использованием электрических разрядов.

В связи с увеличением необходимости переработки тяжелой нефти в последние годы как в мире, так и в России наблюдается тенденция увеличения затрат на техническое обслуживание нефтеперерабатывающих заводов, что необходимо учитывать в ходе управления процессами нефтепереработки. Наибольшую долю рынка занимает плановый ремонт, то есть техническое обслуживание нефтеперерабатывающих заводов, которое проводится каждые три–пять лет. В России до 2026 г. прогнозируется рост рынка технического обслуживания нефтеперерабатывающих заводов, темпы которого составят от 3 до 4 % в год.

Список литературы

1. Хайн Н. Дж. Геология, разведка, бурение и добыча нефти. М.: Олимп-Бизнес; 2022. 752 с.
2. Щепалов А.А. Тяжелые нефти, газовые гидраты и другие перспективные источники углеводородного сырья. Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет; 2012. 93 с.
3. Тарелко Н.Ф. Изучение тепловых свойств коллекторов тяжелых нефтей и вмещающих пород применительно к тепловым методам добычи. Дис. ... канд. техн. наук: 25.00.10. М.: Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе; 2011. 134 с.
4. Дейк А.П. Основы разработки нефтяных и газовых месторождений. М.: Премимум Инжиниринг; 2022. 848 с.
5. Лобов А.Г. Нефть и газ. Мировая история. М.: Элима; 2021. 896 с.
6. Ильюша А.В., Панков Д.А. Инновационные технологии освоения запасов высоковязкой нефти. Деловой журнал Neftegaz.ru. 2017;6(66):26–32.
7. Афанасьев В.Я., Ильюша А.В., Линник Ю.Н. Инновационные шахтно-скважинные технологии освоения и эксплуатации запасов нефти и газа – основа для повышения энергоэффективности в ТЭК России. В кн.: Актуальные проблемы управления – 2015: материалы XX Международной научно-практической конференции, Москва, 25–26 ноября 2015 г. М.: Государственный университет управления; 2015. С. 3–4.

⁵ BP Statistical Review of World Energy 2024. Режим доступа: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (дата обращения: 10.12.2024).

8. Леффлер У.Л. Переработка нефти. М.: Олимп-Бизнес; 2023. 224 с.
9. Румянцев Т.А., Галанин Н.Е. Химия и технология процессов вторичной переработки нефти. М.: Инфра-Инженерия; 2024. 96 с.
10. Рогожин Д.В. Замедленное коксование как метод получения электродного кокса. Молодой ученый. 2023;28(475):14–17.
11. Петров Ю.А. Экономическая история. Ежегодник. 2022. М.: Институт российской истории РАН; 2022. 476 с.

References

1. Hune N.J. Geology, Exploration, Drilling and Petroleum Production. Moscow: Olymp-Business; 2022. 752 p. (In Russian).
2. Shepalov A.A. Heavy oils, gas hydrates, and other promising sources of hydrocarbon raw materials. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University; 2012. 93 p. (In Russian).
3. Tarelko N.F. Study of thermal properties of heavy oil reservoirs and host rocks in relation to thermal methods of extraction. Dis. ... Cand. Sci. (Engr.): 25.00.10. Moscow: Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting; 2011. 134 p. (In Russian).
4. Dake L.P. Fundamentals of oil and gas fields development. Moscow: Premium Engineering; 2022. 848 p. (In Russian).
5. Lobov A.G. Oil and Gas. World History. Moscow: Elima; 2021. 896 p. (In Russian).
6. Ilyusha A.V., Pankov D.A. Innovative technologies of high-viscosity oil reserves development. Neftegaz.ru. 2017;6(66):26–32. (In Russian).
7. Afanasiev V.Ya., Ilyusha A.V., Linnik Yu.N. Innovative mine-well technologies of oil and gas reserves development and exploitation is the basis for energy efficiency in the fuel and energy complex of Russia. In: Current issues of management – 2015: Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference, Moscow, November 25–26, 2015. Moscow: State University of Management; 2015. Pp. 3–4. (In Russian).
8. Leffler W.L. Oil processing. Moscow: Olymp-Business; 2023. 224 p. (In Russian).
9. Rumyantseva T.A., Galanin N.E. Chemistry and technology of secondary oil refining processes. Moscow: Infra-Engineering; 2024. 96 p. (In Russian).
10. Rogozhin D.V. Slow coking as a method of obtaining electrode coke. Molodoi uchenyi. 2023;28(475):14–17. (In Russian).
11. Petrov Yu.A. Economic history. Yearbook. 2022. Moscow: Institute of History of Russia of the Russian Academy of Sciences; 2022. 476 p. (In Russian).