ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ СОВМЕСТНЫМ ВЫДЕЛЕНИЕМ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ И АСФАЛЬТЕНОВ ИЗ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СЛОЕВ

IMPROVING THE EFFICIENCY PREPARATION OF OIL
JOINT SELECTION OF SOLIDS AND ASPHALTENES OF INTERMEDIATE LAYERS

В настоящей работе исследована возможность совместного выделения механических примесей и асфальтенов из промежуточных слоев (ПС) отстойников нефти с использованием предельных углеводородных растворителей и метода центрифугирования, а также проведена оценка влияния стадии выделения на эффективность процессов обезвоживания нефти. Показано, что разбавление углеводородной фазы промежуточных слоев растворителем из предельных углеводородов (в качестве растворителя использована широкая фракция легких углеводородов с блока стабилизации нефти) с последующим центрифугированием позволяет выделить тяжелые углеводороды, преимущественно асфальтены, и механические примеси в отдельную фазу. Анализ структурно-группового состава исходной углеводородной фазы и выделенного осадка показал, что в осадке концентрируются 81,6 % мас. асфальтенов и 93,6 % мас. механических примесей от их исходного содержания в углеводородной фазе промежуточного слоя. Элементный анализ состава осадка, определенного по методу рентгенофлуоресцентной спектроскопии, показал высокое содержание ванадия (0,4 % мас.), сопоставимое с содержанием данного элемента в металлосодержащих рудах, что позволяет использовать выделенный осадок для процессов деметаллизации. Сопоставительные испытания влияния осадка на процессы обезвоживания нефти, выполненные с использованием бутылочного теста в присутствии промышленного деэмульгатора при технологических параметрах работы блока обезвоживания установки подготовки нефти, показали, что выделение осадка из углеводородной фазы промежуточного слоя существенно повышает эффективность процессов обезвоживания нефти. Результаты выполненного исследования могут быть использованы для создания технологии утилизации промежуточных слоев отстойников нефти, направленной на повышение эффективности процессов обезвоживания и снижение количества технологических срывов установок подготовки нефти.

In the present work, the possibility of joint separation of mechanical impurities and asphaltenes from intermediate layers of oil sump with the use of limiting hydrocarbon solvents and the centrifugation method was investigated, and an assessment of the effect of the separation stage on the efficiency of the oil dehydration processes was carried out. It is shown that the dilution of the hydrocarbon phase of the intermediate layers with a solvent from the saturated hydrocarbons (a broad fraction of light hydrocarbons from the oil stabilization block is used as the solvent), followed by centrifugation, allows the separation of heavy hydrocarbons, mainly asphaltenes and mechanical impurities into a separate phase. The analysis of structural and group structure of an initial hydrocarbon phase and the allocated deposit showed that in settling 81.6 % of a mass fraction of asphaltenes and 93.6 % of a mass fraction of mechanical impurities of their initial contents in a hydrocarbon phase of the interlayer concentrate. The ultimate analysis of structure of the deposit determined by a method of a X-ray fluorescent spectroscopy showed the high content of vanadium (0.4 % of a mass fraction) comparable to the maintenance of this element in metallic ores that allows to use the allocated deposit for processes of a demetallization. Comparative tests of sediment influence on oil dewatering processes performed with the use of a bottle dough in the presence of an industrial demulsifier at the technological parameters of the dewatering unit of the oil treatment unit showed that the separation of the sediment from the hydrocarbon phase of the intermediate layer substantially increases the efficiency of the oil dehydration processes. Results of the executed research can be used for creation of technology of utilization of interlayers of settlers of the oil directed to increase in effectiveness of processes of a deauration and decrease in number of technological failures of installations of preparation of oil.

На эффективность процесса подготовки нефти существенное влияние оказывает образование промежуточного слоя в технологическом оборудовании. Изменение свойств и накопление промежуточного слоя может существенно ухудшать процессы обезвоживания, особенно при подготовке скважинной продукции с высокой концентрацией стабилизаторов эмульсии. Повышение устойчиво-

сти эмульсий промежуточных слоев провоцирует технологические срывы на объектах подготовки нефти за счет ухудшения процесса коалесценции капель воды и снижения скорости их выделения в отдельную фазу. Для восстановления работоспособности системы, как правило, предусматривают периодические мероприятия по удалению промежуточного слоя совместно с пластовой водой или без

**Карпенко И. Н., Коновалов В. В.,
Рукина П. В.**
Самарский государственный
технический университет,
г. Самара, Российская Федерация

**I. N. Karpenko, V. V. Konovalov,
P. V. Rukina**
Samara State Technical University,
Samara, Russian Federation

Ключевые слова:
промежуточный слой, асфальтены,
водонефтяная эмульсия,
металлопорфириновые комплексы,
обезвоживание, центрифугирование,
предельные углеводороды.

Key words:
intermediate layer, asphalt-resinous
substances, water/oil emulsion,
metalloporphyrin complexes,
dehydration, centrifugation,
saturated hydrocarbons.

нее из технологического оборудования, а выделенный промежуточный слой через стадию отстоя или напрямую направляется в сырьевой поток, что может приводить к его накоплению и ухудшению процесса деэмульсации нефти. Со временем возникает необходимость создания отдельного блока подготовки эмульсионных промежуточных слоев для исключения его рецикла.

Исследованию объемов образования и составов промежуточных слоев, а также их влиянию на процессы подготовки нефти посвящено значительное количество работ [1–5]. Например, в работе [5] рассмотрено строение промежуточного слоя в виде двух подслоев: верхний слой (выравнивающий) содержит до $40 \div 50$ % дисперсной фазы, а нижний слой (плотный) до $95 \div 98$ % воды. Причем по высоте верхний слой занимает $80 \div 90$ %, а нижний всего $10 \div 20$ %. А в работе [4] установлено распределение основных компонентов по высоте промежуточного слоя, которые показали, что при нарушении технологического процесса происходит увеличение концентрации механических примесей в 2,3 раза и асфальтенов в 1,8 раза. Общими закономерностями состава промежуточных слоев является достаточно высокие концентрации асфальтенов и механических примесей [1, 4] по сравнению с исходной нефтью, а их состав и строение являются индивидуальной характеристикой, которая зависит от физико-химических свойств продукции скважин, технологических параметров и аппаратного оформления процесса подготовки нефти.

Вопросам подготовки, переработки и утилизации эмульсионных промежуточных слоев посвящены научные статьи и главы книг научно-исследовательской литературы [1–3]. К настоящему времени предложено множество различных технологий подготовки эмульсионных промежуточных слоев, которые включают в себя различные методы, такие как термохимический [1–3], воздействие полями различной физической природы — электрическим [6], магнитным [7], роторно-пульсационно-акустическое [8] и ультразвуковое воздействие [9, 10], применение микроволновых технологий [11], промывочной воды [2, 12], органических растворителей [13, 14] и центрифугирование [1]. На данный момент не существует единой технологии подготовки эмульсионных промежуточных слоев, а все существующие основаны на комбинации различных методов. Как правило, первоначально проводят подрезку первичного промежуточного слоя и вывод его в отдельную емкость. Затем, используя перечисленные выше методы, выделяют кондиционную нефть, а выделившийся фильтрат подготавливают по технологии переработки нефтешламов.

Одним из существующих вариантов утилизации промежуточных слоев является применение растворителей, которые позволяют изменить коллоидное состояние системы, снизить вязкость про-

межуточного слоя и ускорить процесс выделения углеводородной фазы из него.

Известно, что соединения алканового ряда обладают избирательной растворимостью по отношению к тяжелым углеводородам нефти. Большинство методик установления состава органических отложений базируется на применении алканов на этапе выделения асфальтенов. Таким образом, применение растворителей предельной природы приводит к осаждению асфальтенов из углеводородной среды, что способствует повышению эффективности подготовки нефти, поскольку асфальтены обладают наиболее сильными стабилизирующими свойствами водонефтяной эмульсии по сравнению с остальными углеводородными компонентами.

В последнее время в научной литературе также активно обсуждается возможность промысловой деметаллизации нефтей. В ряде обзорных статей [15–17] доказано, что среднее содержание металлов, в основном никеля и ванадия, в нефтях некоторых месторождений по России достигает до 0,01 % и 0,11 %, а в асфальтенах средняя концентрациякратно выше — 0,05 % и 0,68 %, поскольку металлы в нефтях представлены металлопорфириновыми комплексами [16, 19]. Эти значения сопоставимы со средней концентрацией металлов в рудах 1,14 % никеля [18] и 0,4 % ванадия [17]. Извлечение асфальтенов совместно с механическими примесями из промежуточных слоев позволяет решить вопросы по их переработке, повысить эффективность и стабильность процессов подготовки нефти, а также получить концентрат (осадок) с повышенным содержанием металлов.

Цель настоящей работы — исследование возможности совместного выделения механических примесей и асфальтенов из промежуточных слоев отстойников нефти с использованием предельных углеводородных растворителей и метода центрифугирования, а также оценка влияния стадии выделения на эффективность процессов обезвоживания нефти.

В качестве объекта исследования выбран промежуточный слой, отобранный с глубины 6 м сырьевых резервуаров установки подготовки нефти. Содержание водной фазы в ПС составило 50 %. Углеводородная фаза характеризуется следующими физико-химическими свойствами: плотность 913 кг/м^3 , вязкость 135 сПз, содержание силикагелевых смол 19,85 %, асфальтенов 3,79 %, парафинов 7,5 %, серы 4,7 %, а водная фаза: минерализацией 219 г/л и плотностью 1161 кг/м^3 . Содержание механических примесей в ПС составило 0,2 % мас.

Исходную динамическую вязкость нефтяной фазы ПС, а также зависимость изменения вязкости ПС при увеличении концентрации асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), определяли с использованием реометра MSR 52 (Anton Paar) в диапазоне скоростей сдвига от 5 до 50 с^{-1} (рису-

Рисунок 1.
Зависимость вязкости нефти от АСПО

Рисунок 2.
Зависимость массы остатка от кратности разбавления нефтяной фазы ШФЛУ

нок 1). Изменение концентрации АСПО в составе ПС осуществляли путем добавления навески АСПО к исходной углеводородной фазе. Исследования подтвердили, что повышение концентрации АСПО приводит к существенному увеличению динамической вязкости углеводородной фазы ПС во всем диапазоне изменения скоростей сдвига (рисунок 1).

На следующем этапе проведены исследования возможности выделения асфальтенов совместно с механическими примесями с использованием растворителя и метода центрифугирования. В качестве растворителя использовали широкую фракцию легких углеводородов (ШФЛУ) с блока стабилизации нефти, со следующими характеристиками: внешний вид — бесцветная, прозрачная, легколетучая жидкость; сумма углеводородов (% мас.) C_1-C_2 — 4.5; C_3 — 16.4; C_4-C_5 — 41.4; C_6 — 37.7.

Исследование влияния ШФЛУ на эффективность выделения осадка выполняли следующим

образом: к углеводородной фазе добавляли от 1 до 6 объемов ШФЛУ, далее пробу центрифугировали 10 мин при скорости 3000 об/мин, а отделенный осадок взвешивали. Зависимость выхода осадка от кратности разбавления растворителем представлена на рисунке 2.

Как следует из представленных данных, повышение объема растворителя приводит к увеличению массы отделяемого осадка, достигая максимального значения 8,5 % в диапазоне от 4 до 5 объемов растворителя к объему углеводородной фазы, дальнейшее повышение кратности до 6 не приводит к существенному повышению количества отделяемого осадка.

Далее был определен структурно-групповой и элементный состав отделенного осадка. Групповой состав определяли согласно рекомендациям [20], результаты исследования представлены в таблице 1. Согласно представленным данным, использование углеводородного растворителя и центрифугирования позволяет выделить из угле-

Таблица 1.

Содержание углеводородов и механических примесей в исходной углеводородной фазе промежуточного слоя и отделенном осадке

Компонент	Содержание		
	в углеводородной фазе ПС, % мас.	в осадке после центрифугирования, % мас.	в осадке от исходной концентрации в ПС, % отн.
Асфальтены	3,8	36,6	81,6
Смолы	19,9	19,1	8,1
Парафины	7,5	5,1	5,7
Механические примеси	0,2	2,3	93,6

Рисунок 3.

Кинетика отделения воды в присутствии промышленного деэмульгатора

водородной фазы ПС более 80 % асфальтенов и около 94 % механических примесей.

Исследование элементного состава выделенного осадка, выполненное с использованием рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного анализатора Shimadzu EDX-800 HS, показало, что среди металлов в осадке регистрируется высокая интенсивность ванадия. Количественное определение содержания ванадия, выполненное по калибровочной кривой методом внутреннего стандарта, показало его концентрацию 0,4 % мас., что сопоставимо со средней концентрацией ванадия в металлосодержащих рудах [17–18].

Таким образом, смешение углеводородной фазы промежуточного слоя с углеводородным растворителем предельного характера с последующим центрифугированием позволяет выделить механические примеси и тяжелые высокомолекулярные углеводороды, преимущественно асфальтены, с повышенным содержанием металлов.

На следующем этапе работы были выполнены исследования по влиянию осадка на эффективность обезвоживания нефтяной фазы в условиях применения промышленного деэмульгатора. Для этого исходную нефтяную фазу разделили на две части и добавили по 4,5 объема ШФЛУ к каждой пробе. Из первой пробы методом центрифугирования был удален осадок, из второй пробы осадок не удаляли. Далее нагреванием при слабом перемешивании из проб испарили ШФЛУ. Исследования по определению динамики разрушения эмульсии

и остаточному содержанию воды в нефти выполняли с использованием бутылочного теста «Bottle Test». В качестве деэмульгатора использовался промышленный реагент — блоксополимер оксида пропилена с оксидом этилена в ароматическом растворителе, при его концентрации в эмульсии 25 г/т. Для приготовления эмульсии использовали подготовленные пробы и высокоминерализованную пластовую воду, выделенную из промежуточного слоя. Содержание водной фазы соответствовало ее содержанию в промежуточном слое, температура исследования выбрана 22 °С в соответствии с режимом работы блока подготовки нефти. Динамика выделения водной фазы из искусственно приготовленной эмульсии представлена на рисунке 3.

Как следует из представленных данных, удаление из углеводородной фазы осадка приводит к существенному повышению эффективности процесса обезвоживания: повышается скорость и степень обезвоживания нефти.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований по совместному выделению механических примесей и асфальтенов из промежуточных слоев отстойников нефти с использованием предельных углеводородных растворителей и метода центрифугирования показали, что разбавление углеводородной фазы промежуточных слоев широкой фракции легких углеводородов с блока стабилизации нефти, с последующим центрифугированием, позволяет выделить тяжелые углево-

дороды, преимущественно асфальтены и механические примеси, в отдельную фазу. В осадке концентрируются 81,6 % мас. асфальтенов и 93,6 % мас. механических примесей от их исходного содержания в углеводородной фазе промежуточного слоя, причем осадок характеризуется повышенным содержанием ванадия, что делает его перспективным сырьем для процессов деметаллизации.

Выводы

Сопоставительные испытания влияния осадка на процессы обезвоживания нефти, выполненные с использованием бутылочного теста в присут-

ствии промышленного дезэмульгатора при технологических параметрах работы блока обезвоживания установки подготовки нефти, показали, что выделение осадка из углеводородной фазы промежуточного слоя существенно повышает эффективность процессов обезвоживания нефти.

Результаты выполненного исследования могут быть использованы для создания технологии утилизации промежуточных слоев отстойников нефти, направленной на повышение эффективности процессов обезвоживания и снижение количества технологических срывов установок подготовки нефти.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Особенности формирования и разрушения водонефтяных эмульсий на поздней стадии разработки нефтяных месторождений / Р. З. Сахавутдинов [и др.]. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2005. 324 с.
- 2 Тронов В. П. Системы нефтегазосбора и гидродинамика основных технологических процессов. Казань: «Фэн», 2002. 512 с.
- 3 Черек А. М. Технологические аспекты управления процессом обезвоживания нефти в условиях накопления в отстойниках высокостабилизированных эмульсий промежуточных слоев // Сборник науч. тр. «Гипровостокнефть». Самара, 2008. Вып. 66. С. 205–216.
- 4 Трейгер Л. М. Исследования состава промежуточных слоев, образующиеся при предварительном обезвоживании нефти // Сборник науч. тр. «Гипровостокнефть». Куйбышев, 1984. С. 61–67.
- 5 Никитин Ю. М. Некоторые особенности механизма разделения эмульсии в аппаратах для совместной подготовки нефти и воды // Сборник науч. тр. «Гипровостокнефть». Куйбышев, 1984. С. 67–72.
- 6 Способ формирования равномерного электрического поля в электропроводной среде / Ю. А. Савиных [и др.]: пат. Рос. Федерация. 2332746(13) С1; 2006145859/09; заявл. 25.12.2006; опубл. 27.08.2008, Бюл. № 24. 7 с.
- 7 Лоскутова Ю. В., Юдина Н. В. Влияние магнитного поля на структурно-реологические свойства нефтей // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309, № 4. С. 104–109.
- 8 Садриев А. Р., Гречухина А. А., Хамидуллин Р. Ф. Изучение влияния механико-акустического воздействия на процесс обезвоживания нефти // Технологии нефти и газа. 2008. № 3(56). С. 42–46.
- 9 Исследование влияния ультразвукового воздействия и химических реагентов на реологические свойства вязких нефтей / М. С. Муллакаев [и др.] // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2010. № 5. С. 31–34.
- 10 Ануфриев Р. В. Влияние ультразвуковой обработки на структурно-механические свойства и состав нефтяных дисперсных систем: дис. ... канд. хим. наук. Томск, 2017. 170 с.
- 11 Исследование воздействия микроволновой обработки на устойчивость нефтяных эмульсий /

А. Р. Садриев, И. Р. Миргалиев, А. А. Гречухина, Г. А. Морозов // Технологии нефти и газа. 2009. № 1 (60). С. 28–31.

- 12 Способ обработки нефтяной эмульсии промежуточных слоев / Н. Г. Ибрагимов [и др.]: пат. Рос. Федерация 2256791 (13) С1; заявл. 28.07.2004; опубл. 20.07.2005; Бюл. № 20. 4 с.

- 13 Способ обработки нефтяной эмульсии промежуточных слоев емкостного оборудования подготовки нефти и воды / Н. Г. Ибрагимов [и др.]: пат. Рос. Федерация 2386663 (13) С1; 16.06.2009; опубл. 20.04.2010; Бюл. № 11. 6 с.

- 14 Способ обработки нефтяной эмульсии промежуточных слоев емкостного оборудования подготовки нефти и воды / Н. Г. Ибрагимов [и др.]: пат. Рос. Федерация RU(11) 2527953 (13) С1; заявл. 07.11.2013; опубл. 10.09.2014, Бюл. № 25. 7 с.

- 15 Ященко И. Г. Тяжелые ванадиевоносные нефти России // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 1. С. 105–111.

- 16 Милордов Д. В. Состав и свойства порфириновых тяжелых нефтей и нефтяных остатков с повышенным содержанием ванадия и никеля: дис. ... канд. хим. наук. Казань, 2016. 142 с.

- 17 Суханов А. А., Петрова Ю. Э. Ресурсная база попутных компонентов тяжелых нефтей России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2008. Т.3, № 2. С.11.

- 18 Игневская Л. В. Тенденции развития никелевой промышленности: мир и Россия: автореф. дис. ... д-ра геол.- минер. наук. М.: 2009. 54 с.

- 19 Глушенко В. Н., Силин М. А., Герин Ю. Г. Нефтепромысловая химия: в 5-ти т. М.: Интерконтакт Наука, 2009. Предупреждение и устранение асфальтеносмолопарафиновых отложений. Т.5. 475 с.

- 20 Cullum D. C., Introduction to surfactant analysis, Springer Science & Business Media, 1994, 352 p.

REFERENCES

- 1 Sahabutdinov R. Z. etc. *Osobennosti formirovaniya i razrusheniya vodonefnyanyh ehmul'sij na pozdnej stadii razrabotki neftyanyh mestorozhdenij* [Peculiarities of formation and destruction of water-oil emulsions on later stage of oil field development]. Moscow, «VNIIOEHNГ» Publ., 2005. 324 p. [in Russian].

2 Tronov V. P. *Sistemy neftegazosbora i gidrodinamika osnovnykh tekhnologicheskikh processov*. [System neftegazosbora and hydrodynamics of fundamental processes]. Kazan', Fehn Publ., 2002, 512 p. [in Russian].

3 Cherek A. M. *Tekhnologicheskie aspekty upravleniya processom obezvozhivaniya nefiti v usloviyakh nakopleniya v otstojnikah vysokostabilizirovannykh ehmul'sij promezhutochnykh sloev: cb. nauch. tr. «Giprovostokneft'»* [Technological aspects of oil dehydration process control in conditions of accumulation in lagoons vysokostabilizirovannykh emulsions intermediate layers: St. researcher. tr.]. Samara, 2008, no. 66, pp. 205–216. [in Russian].

4 Trejger L. M. *Issledovaniya sostava promezhutochnykh sloev, obrazuyushchiesya pri predvaritel'nom obezvozhivaniy nefiti: cb. nauch. tr. «Giprovostokneft'»* [The study of the composition of intermediate layers produced during preliminary dewatering of crude oil: St. researcher. tr. «Giprovostokneft'»] Kujbyshev. 1984, pp. 61–67. [in Russian].

5 Nikitin Yu. M. *Nekotorye osobennosti mekhanizma razdeleniya ehmul'sii v apparatah dlya sovmestnoy podgotovki nefiti i vody: cb. nauch. tr. «Giprovostokneft'»*. [Some features of the mechanism of separation of emulsions in devices for joint preparation of oil and water: St. researcher. tr. «Giprovostokneft'»]. Kujbyshev. 1984, pp. 67–72. [in Russian].

6 Savinyh Yu. A. etc. *Sposob formirovaniya ravnomernogo ehlektricheskogo polya v ehlektroprovodnoj srede* [Method of forming a uniform electric field in a current-carrying Wednesday]. Patent RF(19). RU(11) 2332746(13) S1. 27.08.2008, no. 24, 7 p. [in Russian].

7 Loskutova Yu. V., Yudina N. V. Effect of magnetic field on structural and rheological properties of crude oils. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta — News of Tomsk Polytechnic University*, 2006, vol. 309, no. 4, pp. 104–109. [in Russian].

8 Sadriev A. R., Grechuhina A. A., Hamidullin R. F. Study of influence of mechanical-acoustic impact on crude oil dehydration process *Tekhnologii nefiti i gaza — Oil and gas technology*, 2008, no. 3(56), pp. 42–46. [in Russian].

9 Mullakaev M. S. etc. Study of the effect of ultrasound exposure and chemical reagents on rheological properties of viscous crude oils *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa — Equipment and technologies for oil and gas complex*, 2010, no. 5, pp. 31–34. [in Russian].

10 Anufriev R. V. Vliyanie ul'trazvukovoy obrabotki na strukturno-mekhanicheskie svoystva i sostav neftyanykh dispersnykh sistem: dis. ... kand. him. nauk [Effect of ultrasonic treatment on the structural-mechanical properties and composition of oil dispersed systems. Cand. Chem. Sci. Dis.]. Tomsk, 2017. 170 p. [in Russian].

11 Sadriev A. R., Mirgaliev I. R., Grechuhina A. A., Morozov G. A. Study of the effects of microwave treatment on stability of oil emulsion *Tekhnologii nefiti i gaza - Oil and gas technology*, 2009, no. 1 (60), pp. 28–31. [in Russian].

12 Ibragimov N. G. etc. *Sposob obrabotki neftyanoj ehmul'sii promezhutochnykh sloev* [How to handle oil emulsion intermediate layers]. Patent RF (19) RU(11) 2256791 (13) S1; 20.07. 2005, no. 20, 4 p. [in Russian].

13 Ibragimov N.G. etc. *Sposob obrabotki neftyanoj ehmul'sii promezhutochnykh sloev emkostnogo oborudovaniya podgotovki nefiti i vody* [How to handle oil

emulsion intermediate layers capacitive equipment preparation of oil and water]. Patent RF (19) RU(11) 2386663 (13) S1; 20.04.2010, no. 11, 6 p. [in Russian].

14 Ibragimov N. G. etc. *Sposob obrabotki neftyanoj ehmul'sii promezhutochnykh sloev emkostnogo oborudovaniya podgotovki nefiti i vody* [How to handle oil emulsion intermediate layers capacitive equipment preparation of oil and water]. Patent RF(19) RU(11) 2527953 (13) S1; 10.09.2014, no. 25, 7 p. [in Russian].

15 Yashchenko I. G. Heavy oil vanadievonosnye Russia. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta — News of Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 321, no. 1, pp. 105–111. [in Russian].

16 Milordov D. V. *Sostav i svoystva porfirinov tyazhelykh neftej i neftyanykh ostatkov s povyshennym soderzhaniem vanadiya i nikelya: dis. ... kand. him. nauk*. [Composition and properties of porphyrins heavy crude oils and petroleum residues with a high content of vanadium and nickel. Cand. Chem. Sci. Dis.]. Kazan', 2016, 142 p. [in Russian].

17 Suhanov A. A., Petrova Yu. Eh. The resource base of the associated components of heavy crude oils in Russia. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika - Oil and gas geology. Theory and practice*, 2008, vol. 3, no. 2, p.11. [in Russian].

18 Igrevskaya L. V. Tendencii razvitiya nikelovoy promyshlennosti: mir i Rossiya: avtoref. dis. ... d-ra geologo-miner. nauk. [Trends in the development of the nickel industry: world and Russia. katege. Dees. ... Dr. Geol.-miner. Sci.]. Moscow, 2009. 54 p. [in Russian].

19 Glushchenko V. N., Silin M. A., Gerin Yu. G. *Neftepromyslovaya himiya. Preduprezhdenie i ustranenie asfal'tenosmoloparafinykh otlozheniy*. [Oil Chemistry. Prevention and removal of asfal'tenosmoloparafinykh deposits]. Moscow, Interkontakt Nauka Publ., 2009, vol. 5, 475 p. [in Russian].

20 Cullum D. C., Introduction to surfactant analysis, Springer Science & Business Media, 1994, 352 p.

Карпенко И. Н., аспирант кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара, Российская Федерация
I. N. Karpenko, Post-graduate Student of the Chair «Design and operation of oil and gas fields», FSBEI HE SamSTU, Samara, Russian Federation

Коновалов В. В., канд. хим. наук, заведующий кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара, Российская Федерация
V. V. Konovalov, Candidate of Chemistry Sciences, Head of the Chair «Design and operation of oil and gas fields» FSBEI HE «SamSTU», Samara, Russian Federation
e-mail: konovalov-samgtu@yandex.ru

Рукина П. В., студент, кафедра «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара, Российская Федерация
P. V. Rukina, Student of the Chair «Design and operation of oil and gas fields» FSBEI HE SamSTU, Samara, Russian Federation