

Б. А. Шайхутдинов, Д. М. Барданова, А. А. Горнаев,  
М. Ю. Антонова, Ю. Х. Усманова, Е. Г. Зайцева, С. М. Петров

## ПОЛУЧЕНИЕ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ СВЕРХВЯЗКОЙ НЕФТИ АШАЛЬЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*Ключевые слова: тяжелая высоковязкая нефть, окисление гудрона, атмосферно-вакуумная дистилляция, компаундированные битумы, окисленные битумы, остаточный битум, SARA, битум дорожный ГОСТ 33133 2014.*

Проблема переработки тяжёлых сверхвязких нефтей на нефтеперерабатывающих предприятиях актуальна из-за низкого содержания топливных фракций и высокого содержания серы, смол и асфальтенов, что сокращает срок эксплуатации оборудования и требует дополнительных затрат. Классические технологии малорентабельны, что делает актуальным поиск различных методов переработки. Одним из перспективных направлений переработки сверхвязких нефтей связано с получением на их основе битумных вяжущих материалов вос требованных в дорожном строительстве. В современной практике производства дорожных битумных вяжущих материалов используются различные технологии. Основные технологии включают атмосферно-вакуумную дистилляцию и окисление тяжёлых нефтяных остатков. Также применяются методы компаундирования полученных битумов с вторичными продуктами нефтепереработки. Особое внимание уделяется комбинированному методам, которые позволяют получать вяжущие материалы с улучшенными физико-химическими свойствами. В статье в качестве основного объекта рассматривается тяжёлая сверхвязкая нефть Ашальчинского месторождения, подготовленная на установке УПСВН «Ашальчи» отличающаяся высоким содержанием смолисто-асфальтеновых соединений. Остаточные битумы, отличающиеся разными температурами начала кипения, получали методом атмосферно-вакуумной дистилляции сверхвязкой нефти. Окисленные битумы получали в статическом реакторе полупериодического действия в процессе окисления тяжелого нефтяного остатка от атмосферно-вакуумной дистилляции сверхвязкой нефти с температурой начала кипения 420 °C. На завершающем этапе исследования для корректировки ключевых физико-химических параметров битумов была проведена их модификация путём компаундирования с широкой масляной фракцией. Проведённые исследования показали, что процесс окисления тяжелого нефтяного остатка сверхвязкой нефти наиболее подходит для получения битумных вяжущих материалов. Однако полученные битумы как в процессе окисления так и в результате атмосферно-вакуумной дистилляции не соответствуют основным требованиям ГОСТ 33133 на вяжущие материалы дорожного назначения и имеют неудовлетворительные низкотемпературные показатели. Показано, что применение прямогонной фракции сверхвязкой нефти с температурами кипения от 420 до 550 °C для компаундирования битумов позволяет получать вяжущие материалы с улучшенными низкотемпературными характеристиками. Такие материалы демонстрируют повышенную устойчивость к низким температурам без существенной потери пластичности, что открывает новые перспективы для их использования в дорожном строительстве и других областях.

B. A. Shaikhutdinov, D. M. Bardanova, A. A. Gornaev,  
M. Yu. Antonova, Yu. Kh. Usmanova, E. G. Zaitseva, S. M. Petrov

## PRODUCTION OF BITUMINOUS BINDERS FROM HEAVY OIL OF THE ASHALCHINSKOYE FIELD: PROSPECTS AND OPPORTUNITIES

*Keywords: heavy high-viscosity oil, tar oxidation, atmospheric / vacuum distillation, compounded bitumen, oxidized bitumen, residual bitumen, SARA, road bitumen GOST 33133 2014.*

The problem of processing heavy ultra-viscous oils at oil refineries is relevant because of the low content of fuel fractions and the high content of sulfur, resins and asphaltenes, which reduces the service life of equipment and requires additional costs. Classical technologies are not profitable, which makes it relevant to search for various methods of processing raw materials. One of the most promising areas for processing ultra-viscous oils is related to the production of bitumen binders based on them, which are in demand in road construction. In modern practice of production of road bitumen binders, various production technologies are used. The main technologies include atmospheric-vacuum distillation and oxidation of heavy oil residues. The methods of compounding the obtained bitumen with secondary products of oil refining are also used. Special attention is paid to combined methods that allow obtaining binders with improved physical and chemical properties. The article considers heavy ultra-viscous oil of the Ashalchinsky field, prepared at the Ashalchi installation, which is characterized by a high content of resinous-asphaltene compounds, as the main object. Residual bitumen differing in different boiling points was obtained by atmospheric-vacuum distillation of ultraviscous oil. Oxidized bitumen was obtained in a semi-periodic static reactor during the oxidation of a heavy oil residue from atmospheric vacuum distillation of ultra-viscous oil with a boiling point of 420 °C. At the final stage of the study, in order to optimize the key physical and chemical parameters of bitumen, they were modified by compounding with a wide oil fraction. The conducted studies have shown that the process of oxidation of heavy oil residue of ultra-viscous oil is most suitable for the production of bitumen binders. However, the bitumen obtained both during oxidation and as a result of atmospheric vacuum distillation does not meet the basic requirements of GOST 33133-2014 for road binders and has unsatisfactory low-temperature performance. It is shown that the use of a straight-run fraction of ultra-viscous oil with boiling points from 420 to 550 °C for compounding bitumen makes it possible to obtain binders with improved low-temperature characteristics. Such materials demonstrate increased resistance to low temperatures without significant loss of plasticity, which opens up new prospects for their use in road construction and other areas of construction.

## Введение

Нефтеперерабатывающие предприятия, стремясь к развитию топливно-энергетического комплекса, столкнулись с проблемой переработки тяжелых сверхвязких нефтей, доля которых в общем объеме переработки постоянно растет [1,2]. Сверхвязкие нефти (СВН) содержат незначительное количество топливных дистиллятных фракций, что делает классическую технологию переработки нерентабельной, а в некоторых случаях и невозможной [3,4]. Высокое содержание серы и смолистых веществ в СВН сокращает межремонтный срок эксплуатации оборудования на нефтеперерабатывающих заводах, что не только снижает эффективность производства топлив, но и требует дополнительных затрат на обслуживание и ремонт. Актуальной проблемой переработки СВН в настоящее время является поиск технологий, позволяющих обеспечить как высокую глубину переработки, так и производство продукции, имеющей значительный потенциал реализации на внутреннем и международном уровне. В настоящий момент специалисты изучают различные подходы и методы переработки СВН с целью определения наиболее оптимальных и экономически выгодных технологий [5,6]. Такие технологии могут открыть новые возможности для развития нефтеперерабатывающей и нефтехимической отрасли с привлечением инвестиций и созданию новых рабочих мест [7]. Успешное решение этой задачи также позволит нефтеперерабатывающим компаниям укрепить свои позиции на рынке нефтепродуктов и обеспечить стабильность топливно-энергетического комплекса в целом.

Известно, что свойства и состав различного углеводородного сырья оказывают значительное влияние на технологические характеристики [8,9,10]. Для глубокой переработки СВН и получения целевых продуктов с высоким выходом необходимо подобрать оптимальный комплекс технологических приемов, учитывающий состав и свойства исходного сырья. Сверхвязкие нефти характеризуются высоким содержанием ароматических углеводородов, смол и асфальтенов, а также высокой концентрацией металлоорганических и сернистых соединений, также по своим свойствам отличаются высокой плотностью и вязкостью [11,12]. Существующие технологии переработки СВН, как и кондиционных нефтей, на начальных этапах предполагают атмосферную и вакуумную дистилляцию [13,14]. Особое внимание уделяется разработке технологий получения битумных вязущих материалов из тяжелых остатков первичной переработки СВН [15,16]. Многими исследователями и специалистами представляется возможным получение из СВН битумных вязущих материалов, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками, такими как прочность, эластичность, устойчивость к температурным колебаниям и долговечность [17,18].

Одной из особенностей нефтеперерабатывающей промышленности России является развитие на НПЗ топливно-масляных схем, нацеленных на увеличение глубины переработки сырья, при этом квалифицированный подход для получения битумных вязущих материалов не находит должного внимания. В то же

время, в России имеются месторождения тяжелых сверхвязких нефтей нафтоароматического основания с высоким содержанием смолисто-асфальтеновых веществ и низким содержанием твердых парафинов, которые являются подходящим сырьем для получения остаточных битумов. Однако, в настоящее время эти СВН перерабатываются в смеси с легкими и средними типами нефтей, которые не подходят для производства качественных битумных вязущих материалов. В связи с увеличением объемов грузоперевозок и расширением автомобильного парка в России требуется модернизация существующих транспортных путей и строительство новых дорог, что, в свою очередь, обуславливает необходимость увеличения производства дорожных битумов [19,20]. Битумные вязущие материалы являются одним из наиболее востребованных нефтепродуктов, однако их производство ограничено. Доля битумных вязущих, используемых в дорожном строительстве, составляет не более 3% от общего объема перерабатываемых нефтей в стране, а потребность в дорожных битумных вязущих материалах удовлетворяется лишь на 60 % [21,22].

В настоящее время известны следующие технологии получения дорожных битумных вязущих материалов: производство остаточных (неокисленных) битумов с использованием методов атмосферно-вакуумной дистилляции или экстракции (сольвентные технологии); компаундингование высококипящих остатков атмосферно-вакуумной перегонки с продуктами вторичной переработки нефти; окисление тяжелых нефтяных остатков первичной переработки СВН либо асфальтов процессов деасфальтизации в присутствии кислорода воздуха [23,24]. Известны технологии, сочетающие выше указанные способы.

В Соединенных Штатах Америки и странах Европы остаточные битумы занимают значительную долю в общем объеме производимых битумных вязущих материалов. Во Франции доля остаточных битумов составляет до 85%, в то время как в США этот показатель превышает 35% [25]. Для производства остаточных битумов необходимо использовать сырье с высоким содержанием смол и асфальтенов. Качество и структура битума напрямую зависят от соотношения асфальтенов к смолам: чем выше это соотношение, тем лучше характеристики конечного продукта. Как правило, остаточные битумы получают из асфальтовых и полуасфальтовых нефтей, которые обладают необходимыми химическими и физическими свойствами для производства высококачественных вязущих материалов. В ряде работ отмечается, что СВН, в которых асфальтенов больше, чем смол, представляют собой наилучшее сырье для получения остаточных битумов. Также пригодность СВН оценивают по выходу остаточного битума (%), который имеет прямую зависимость от величины коксусемости ( $K$ ):  $\% = 4.9 \cdot K$ . Рентабельным считается производство остаточных битумов из СВН, если их выход составляет не менее 10-20 % [26]. Отличительными особенностями остаточных битумов с точки зрения использования их как вязущих материалов в дорожном строительстве являются высокая адгезия, устойчивость

вость к воздействию окружающей среды и долговечность [26,27]. В настоящее время, основным процессом получения битумных вяжущих материалов в России является процесс высокотемпературного окисления тяжелых нефтяных остатков (ТНО) [28]. С этой целью предложено определять пригодность СВН по содержанию в асфальтенах ( $A$ ), смол ( $C$ ) и твердых парафинов ( $P$ ) [29]:  $A + C - 2,5 \cdot P > 0$ , при  $A + C > 6$ . Чем больше содержание в СВН асфальто-смолистых соединений, чем больше отношение асфальтенов к смолам и ниже количество парафинов, тем выше качество вырабатываемых окисленных битумов [29]. В отличие от вакуумной дистилляции, окисление целенаправленно меняет состав продукта, что позволяет получить битумные вяжущие материалы необходимого качества из более широкого ассортимента ТНО.

Одним из наиболее распространенных методов получения битумных вяжущих материалов является компаундингование, которое представляет собой процесс смешения различных нефтяных остатков с вакуумными дистиллятами, окисленными или остаточными битумами, а также другими компонентами [30,31]. Этот метод позволяет регулировать основные физико-химические свойства вяжущих материалов, такие как пластичность, устойчивость к старению, адгезия и эластичность.

Одним из перспективных направлений повышения качества вяжущих материалов использующихся в дорожном строительстве, является введение в их состав различных добавок и модификаторов существенно изменяющих структуру битумов и улучшающих их эксплуатационные характеристики, что в конечном счете способствует увеличению долговечности асфальтобетонных дорожных покрытий.

Цель данного исследования – оценка возможности получения битумных вяжущих материалов, соответствующих ГОСТ 33133-2014, из сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения.

### Материалы и методы

В качестве основного объекта служила тяжелая сверхвязкая нефть (СВН) Ашальчинского месторождения, разрабатываемого компанией ПАО «Татнефть» по технологии SAGD и подготовленная на установке подготовки сверхвязкой нефти «Ашальчи» (табл. 1). В соответствии с действующими государственным и межгосударственным стандартами ГОСТ Р 51858-2002 и ГОСТ 31378-2009, СВН, характеризующаяся значениями показателя плотности 0,9715 г/см<sup>3</sup> и массовой долей серы 3,4 %, относится к битуминозным высокосернистым нефтям и отличается высоким содержанием смолисто-асфальтеновых соединений с соотношением асфальтены : смолы, равном 0,29.

Для регулирования основных физико-химических показателей битумов, полученных в процессах атмосферно-вакуумной дистилляции СВН и окисления её тяжелого нефтяного остатка, выполнялось их компаундингование с широкой масляной фракцией (ШМФ) СВН (табл. 2). Использование высокомолекулярных неокисленных тяжелокипящих фракций для получения компаундов обеспечивает расширение ассортимента вырабатываемых битумных вяжущих

материалов и повышает их качественные показатели, а именно устойчивость к старению и низкотемпературные свойства.

**Таблица 1 - Физико-химические свойства СВН**

**Table 1 - Physico-chemical properties of EVO**

Наименование показателя	Фактическое значение
Плотность, при 25°C, г/см <sup>3</sup>	0,9715
Вязкость, м <sup>2</sup> /с (cСт)	
- при 20 °C	2851,2
- при 50 °C	246,3
- при 100 °C	37,9
Коксуюемость ( $K$ ), %	9,3
Температура начала кипения (н.к.), °C	110
Фракционный состав, %:	
- н.к.-215 °C	4,5
- 215-350 °C	19,0
- 350-420 °C	24,5
- 420-550 °C	10,5
Компонентный состав, %:	
- УВ	69,1
в.т.ч. парафины ( $P$ )	1,5
- смолы ( $C$ )	23,8
- асфальтены ( $A$ )	7,1
Генотип	$B^2$
Оценка возможности получения качественных вяжущих материалов:	
- остаточных битумов, асфальтены : смолы	0,29
- окисленных битумов, $A + C - 2,5 \cdot P$	27,1
- $A + C$	30,9
Рассчетное значение выхода остаточного битума, % масс.:	45,5

**Таблица 2 - Физико-химические свойства ШМФ**

**Table 2 - Physico-chemical properties of a BOF**

Показатели	Фактическое значение
Температура кипения, °C:	
- н.к.	420
- к.к.	550
Плотность при 20 °C, г/см <sup>3</sup>	0,9572
Вязкость, м <sup>2</sup> /с (cСт)	
- при 50 °C	165,4
- при 100 °C	18,3
Компонентный состав, %:	
- парафинафтеновые УВ	17,3
- ароматические УВ	43,6
- полиароматические УВ	39,1
Коэффициент преломления, nD <sup>20</sup>	1,556

Остаточные битумы получали методом атмосферно-вакуумной дистилляции исходной СВН. Поскольку в состав СВН входят большое количество термически неустойчивых соединений, вакуумную дистилляцию начинали от температуры 180 °C [32].

Окисление тяжелого нефтяного остатка с температурой начала кипения 420 °C, полученного в результате атмосферно-вакуумной дистилляции СВН проводили в статическом реакторе объемом 500 см<sup>3</sup>, оснащенном перемешивающим устройством с электроприводом (Rexo Engineering Inc.). Расход воздуха

составлял 0,5 см<sup>3</sup>/мин. Температуру процесса варьировали от 230 до 260 °C, продолжительность окисления составляло 6 часов.

Приготовление компаундированных битумных вяжущих заключалось в смешении полученных остаточных и окисленных битумов с ШМФ, выкипающей в интервале температур 420–550 °C.

Физико-химические показатели полученных вяжущих из сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения определялись в соответствии с действующим межгосударственным стандартом качества ГОСТ 33133-2014 на битумы, предназначенные для строительства и ремонта дорожных покрытий и оснований, а также для производства модифицированных битумов и битумных эмульсий.

### Обсуждение результатов

Сверхвязкая нефть Ашальчинского месторождения, подготовленная на установке подготовки сверхвязкой нефти, в соответствии с компонентным составом (см. таблицу 1), характеризуется высоким содержанием смолистых соединений, что указывает на её пригодность для производства остаточных битумов. Однако соотношение асфальтены : смолы в СВН составляет всего 0,29, что требует проведения глубокого отбора вакуумных дистиллятов для получения качественных остаточных битумных вяжущих материалов. Глубокий отбор вакуумных дистиллятов является критическим этапом в процессе переработки СВН, так как позволяет минимизировать содержание нежелательных парафинонафтеновых компонентов и повысить качество конечного продукта. В случае сверхвязкой нефти, низкое соотношение асфальтены : смолы требует особого внимания к технологии переработки для обеспечения оптимальных характеристик остаточных битумов.

Полученные в процессе атмосферно-вакуумной дистилляции СВН остаточные битумы отличающиеся температурами начала кипения, были проанализированы по основным классификационным физико-химическим показателям качества вяжущих материалов дорожного назначения (рис. 1). Анализ полученных данных позволяет сделать заключение о том, что качество образцов остаточных битумов после более глубокой вакуумной дистилляции существенно не меняется и характеризуются более низкими значениями показателя глубины проникания иглы при 25 °C и недовлетворительными свойствами при отрицательных температурах.

Исследование ключевых физико-химических параметров битумов, полученных окислением тяжелого нефтяного остатка атмосферно-вакуумной дистилляции СВН (рис. 2), показало, что использование этого метода не позволяет достичь требуемых характеристик для производства качественных вяжущих материалов. Окисленные битумы, полученные в результате процесса, отличаются высокой температурой размягчения, низкой глубиной проникания иглы при 25 °C, а также низкими низкотемпературными свойствами.

В обеспечении морозостойкости битумов играют ключевую роль ароматические углеводороды и смолистые соединения. По данным компонентного состава в составе битумов увеличивается количество

ароматических углеводородов, смол и асфальтенов, а также снижается доля насыщенных парафинонафтеноидных соединений (рис. 3). При окислении происходит значительное увеличение в битумах содержания смолисто-асфальтеновых компонентов, а количество парафинонафтеноидных углеводородов снижается более чем в два раза. Остаточные битумы с менее глубоким отбором фракций содержат ароматические соединения с тремя-четырьмя конденсированными циклами которые обеспечивают высокую пластичность при сохранении высокой температуры размягчения.

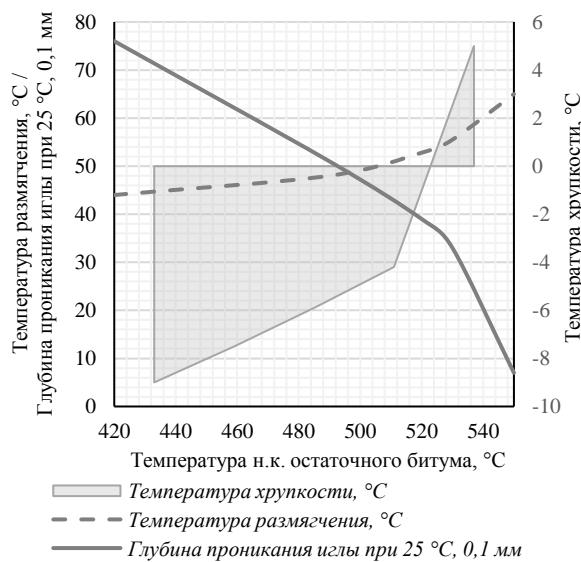


Рис. 1 - Физико-химические показатели остаточных битумов, полученных из СВН

Fig. 1 - Physical and chemical parameters of residual bitumen, obtained from SVO

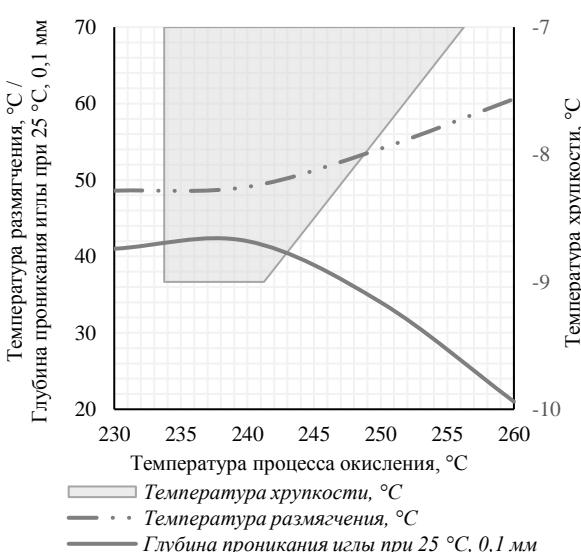
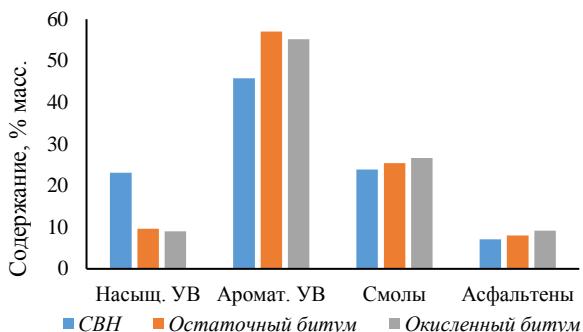


Рис. 2 - Физико-химические показатели окисленных битумов, полученных из ТНО СВН

Fig. 2 - Physical and chemical parameters of oxidized bitumen, obtained from HOR of SVO

При углублении отбора дистиллятных фракций из ТНО до температур выше 470 °C в остаточных биту-

максимально накапливаются молекулы с содержанием углерода 30 и более атомов и до пяти конденсированных ароматических колец, при окислении которых легко переходят в асфальтены, что снижает показатель глубины проникания иглы и увеличивает температуру размягчения.



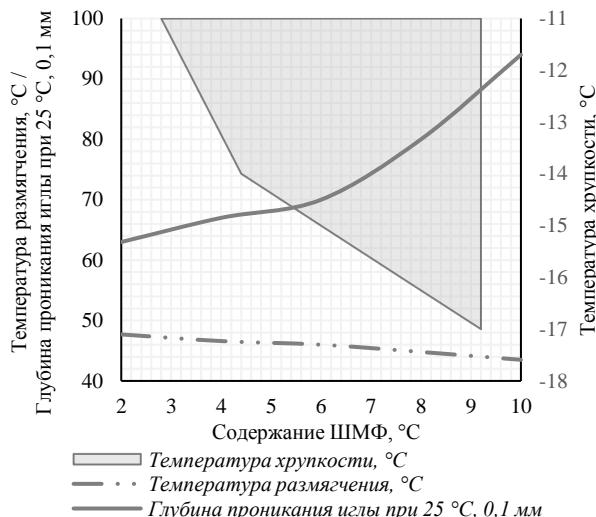
**Рис. 3 - Компонентный состав компаундированных остаточных битумов**

**Fig. 3 - Component composition of compounded residual bitumen**

В целях определения возможности повышения качества остаточных и окисленных битумов были проведены исследования их смешения с вакуумной дистилляционной фракцией (ШМФ) с получением компаундов (рис. 4 и 5). Результаты анализа показали, что вакуумная дистилляция фракция имеет начало кипения 420 °C и конечную температуру выкипания (550 °C), характеризуется достаточно высоким значением показателя плотности (0,9572 г/см<sup>3</sup>) и содержанием ароматических и полиароматических компонентов (82,7 % масс.). Изучение состава и свойств ШМФ указывает на возможность получения на их основе компаундированных битумов. Для получения компаундов использовался остаточный битум с температурой начала кипения 480 °C, отличающийся глубиной проникания иглы при 25 °C 55 мм<sup>-1</sup> и температурами размягчения и хрупкости 48 и –6,5 °C, соответственно. Компаундирование остаточного битума ШМФ не дало ожидаемых результатов относительно улучшения их низкотемпературных свойств. Полученные образцы компаундов не соответствовали требованиям ГОСТ 33133-2014 также по одному из следующих показателей: либо по глубине проникания иглы при температуре 25 °C, либо по температуре размягчения (рис. 4). Однако остаточные битумы компаундированные ШМФ в количестве 8-10 % масс., имеют более высокие показатели при низких температурах, что подтверждается значениями температуры хрупкости в диапазоне от -16°C до -17°C, при этом значение показателя глубины проникания иглы при 25 °C возрастает до 80-94 мм<sup>-1</sup>.

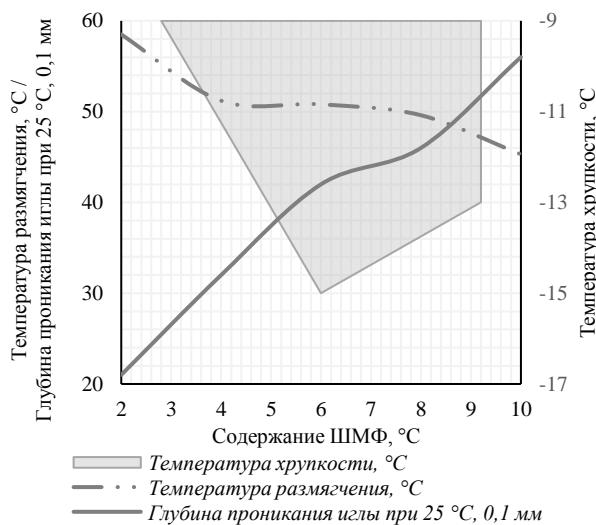
В целом компаундирование позволяет улучшить у остаточных битумов показатели глубины проникания иглы при 25 °C и температуры хрупкости, но при этом происходит снижение температуры размягчения, которое можно исправить последующей модификацией вяжущего полимерными компонентами.

Для повышения качества окисленных битумов также был рассмотрен метод компаундирования ШМФ. Однако, согласно результатам исследования, данный метод также не обеспечивает требуемого уровня качества битумных вяжущих материалов для дорожного строительства в соответствии с ГОСТ 33133-2014 (рис. 5).



**Рис. 4 - Физико-химические показатели компаундированных остаточных битумов**

**Fig. 4 - Physical and chemical characteristics of compounded residual bitumen**



**Рис. 5 - Физико-химические показатели компаундированных окисленных битумов**

**Fig. 5 - Physical and chemical characteristics of compounded oxidized bitumen**

Компаундированные битумы характеризуются хорошим соотношением показателей температуры размягчения и пенетрации при 25 °C, которые невозможно достичь при окислении и вакуумной дистилляции тяжелых нефтяных остатков СВН.

**Таблица 3 - Сравнительный анализ основных физико-химических показателей полученных битумных вяжущих материалов с требованиями ГОСТ 33133-2014**

**Table 3 - Comparative analysis of physical and chemical parameters of the obtained bitumen binders with the requirements of Interstate standard 33133-2014**

Образец битумного вяжущего материала дорожного назначения	Наименование показателя				
	Глубина проникновения иглы при 25 °С, 0,1 мм	Температура размягчения, °С	Температура хрупкости, °С	Растяжимость при 0 °С, см	Изменение температуры размягчения после
Остаточный битум с температурой н.к., °С: 440 530	71 35	45 58	-8,8 5	2,2 0,5	4,5 2,8
Битум окисленный при температуре, °С: 250 255	36 28	53 58	-8 -7,2	0,2 -	3,2 2,8
Остаточный битум компаундированный ШМФ % масс.: 2 7	63 74	48 46	-9 -15,7	1,7 2,1	5,0 6,0
Окисленный битум компаундированный ШМФ % масс.: 2 5	21 37	58 51	-9 -13	1,0 1,5	3,5 4,8
Норма для битума марки: БНД 20/35 БНД 35/50 БНД 50/70 БНД 70/100 БНД 100/130 БНД 130/200	20-35 36-50 51-70 71-100 101-130 131-200	55 53 51 47 45 42	-11 -14 -16 -18 -20 -21	- - 3,5 3,7 4,0 6,0	6 6 7 7 7 7

### Заключение

В ходе проведенных исследований была выявлена потенциальная возможность получения битумных вяжущих материалов из сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения с использованием методов глубокой атмосферно-вакуумной дистилляции и окисления тяжелого нефтяного остатка, имеющего температуру начала кипения 420 °С. Результаты проведённых исследований показали, что процесс окисления ТНО больше подходит для получения из СВН битумных вяжущих материалов. Полученные образцы битумов в процессе атмосферно-вакуумной дистилляции и окисления тяжелого нефтяного остатка СВН не соответствуют основным требованиям ГОСТ 33133-2014 и имеют неудовлетворительные низкотемпературные показатели. При использовании для компаундирования битумов прямогонной фракции сверхвязкой нефти с температурами выкипания 420-550 °С возможно получить вяжущие материалы, обладаю-

щие улучшенными низкотемпературными свойствами, выдерживающие более низкие температуры без потери пластичности.

Основные направления дальнейших исследований включают разработку новых методов модификации для повышения прочности, эластичности и устойчивости битума к температурным колебаниям, а также возможностей использования нанотехнологий для улучшения характеристик битума. Важным аспектом является исследование долговечности модифицированных битумов в различных климатических условиях и оценка их устойчивости к износу и усталостным нагрузкам. Исследование возможности получения битумных вяжущих не из сверхвязких нефтей, а наиболее подходящих по химическому составу природных.

*Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан».*

### Литература

- Г. П. Каюкова и др., Нефтяная наука и технологии 1680-1686 (2017).
- Г. П. Каюкова и др., Нефтяная наука и технологии 1687-1691 (2017).
- Л. Р. Байбекова и др., Международный журнал прикладной химии 593-599 (2015).
- А. А. Аласеева и др., Химия и технология топлив и масел 271-277 (2018).
- А. И. Лахова и др., Res. J. Appl. Sci. 917-921 (2015).
- С. М. Петров и др., Серия конференций ИОР: Науки о Земле и окружающей среде (2019).
- А. И. Лахова, С. М. Петров, Н. Ю. Башкирцева, Химия и технология топлив и масел 1-5 (2022).
- А. Г. Сафиуллина и др., Химия и технология топлив и масел 265-270 (2018).
- Р. Р. Закиева и др., Химия и технология топлив и масел 480-486 (2015).
- А. И. Лахова и др., Нефтяная наука и технологии 611-616 (2019).
- А. И. Лахова и др., Процессы 553 (2021).
- А. В. Вахин и др., Процессы 158 (2021).
- С. М. Петров и др., Международная многопрофильная научная конференция Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 455-460 (2018).
- С. М. Петров, Р. Р. Солдатова, А. И. Лахова, Серия конференций ИОР: Науки о Земле и окружающей среде (2019).
- А. Г. Сафиуллина и др., Химия и технология топлив и масел 897-904 (2018).
- А. Носова и др., Нефтяная наука и технологии (2018).
- С. М. Петров и др., Научно-исследовательский журнал фармацевтических, биологических и химических наук 1624-1629 (2015).
- А. И. Лахова, С. М. Петров, Химия и технология топлив и масел 297-301 (2022).
- Р. Р. Закиева, С. М. Петров. Химия и технология топлив и масел 69-74 (2023).
- С. М. Петров и др., Нефть 216-223 (2024).
- С. М. Петров и др., Международный журнал прикладных инженерных исследований 56-61 (2015).

22. И. Зайдуллин и др., Химия и технология топлив и масел 550-556 (2018).
23. А. И. Лахова и др., Химия и технология топлив и масел 119-124 (2019).
24. А. А. Валиева и др., Химическая технология и металлургия 730-740 (2020).
25. С. М. Петров и др.. Международная многопрофильная научная геоконференция Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 359-366 (2018).
26. С. М. Петров. Модификаторы полифункционального действия для получения окисленных дорожных битумов с улучшенными свойствами: дис. – Казанский гос. технол. ун-т. Казнь, (2009).
27. С. М. Петров и др., Индийский журнал науки и технологий 1-5 (2017).
28. С. М. Петров и др., Процессы 256 (2021).
29. А. И. Лахова и др., Журнал нефтяной науки и техники 385-390 (2017).
30. А. И. Лахова и др., Международная многопрофильная научная геоконференция: SGEM 375-382 (2017).
31. О. Джумаева, Н. Л. Солодова, Е. А. Емельяновичева, Компаундингование в технологиях получения битумов. Вестник Казанского технологического университета, 19(5) 43-48 (2016).
32. И. Н. Диляров и др., Химия нефти. Руководство к лабораторным занятиям: учебное пособие. Ленинград: Химия (1990).
10. A. I. Lakhova et al., Petroleum Science and Technology 611-616 (2019).
11. A. I. Lakhova et al., Processes 553 (2021).
12. A. V. Vakhin et al., Processes 158 (2021).
13. S. M. Petrov et al., International Multidisciplinary Scientific Geoconference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 455-460 (2018).
14. S. M. Petrov, R. R. Soldatova, A. I. Lakhova, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences (2019).
15. A. G. Saifulina et al., Chemistry and Technology of Fuels and Oils 897-904 (2018).
16. A. Nosova et al., Petroleum Science and Technology (2018).
17. S. M. Petrov et al., Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences 1624-1629 (2015).
18. A. I. Lakhova, S. M. Petrov, Chemistry and Technology of Fuels and Oils 297-301 (2022).
19. R. R. Zakieva, S. M. Petrov. Chemistry and Technology of Fuels and Oils 69-74 (2023).
20. S. M. Petrov et al., Oil 216-223 (2024).
21. S. M. Petrov et al., International Journal of Applied Engineering Research 56-61 (2015).
22. I. Zaydullin et al., Chemistry and Technology of Fuels and Oils 550-556 (2018).
23. A. I. Lakhova et al., Chemistry and Technology of Fuels and Oils 119-124 (2019).
24. A. A. Valieva et al., Chemical Technology and Metallurgy 730-740 (2020).
25. S. M. Petrov et al., International Multidisciplinary Scientific Geoconference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 359-366 (2018).
26. S. M. Petrov. Modifiers of polyfunctional action for obtaining oxidized road bitumen with improved properties: diss. - Kazan State Technological University. Kazn, (2009).
27. S. M. Petrov et al., Indian Journal of Science and Technology 1-5 (2017).
28. S. M. Petrov et al., Processes 256 (2021).
29. A. I. Lakhova et al., Journal of Petroleum Science and Technology 385-390 (2017).
30. A. I. Lakhova et al., International Multidisciplinary Scientific Geoconference: SGEM 375-382 (2017).
31. O. Dzhumaeva, N. L. Solodova, E. A. Emelyanycheva, Compounding in bitumen production technologies. Bulletin of Kazan Technological University, 19(5) 43-48 (2016).
32. I. N. Diyarov et al., Oil Chemistry. Guide to laboratory classes: a tutorial. Leningrad: Chemistry (1990).

## References

- 1.G. P. Kayukova et al., Petroleum Science and Technology 1680-1686 (2017).
- 2.G. P. Kayukova et al., Petroleum Science and Technology 1687-1691 (2017).
- 3.L. R. Baibekova et al., International Journal of Applied Chemistry 593-599 (2015).
- 4.A. A. Alaseeva et al., Chemistry and Technology of Fuels and Oils 271-277 (2018).
- 5.A. I. Lakhova et al., Res. J. Appl. Sci. 917-921 (2015).
- 6.S. M. Petrov et al., IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences (2019).
- 7.A. I. Lakhova, S. M. Petrov, N. Yu. Bashkirtseva, Chemistry and technology of fuels and oils 1-5 (2022).
- 8.A. G. Saifulina. et al., Chemistry and technology of fuels and oils 265-270 (2018).
- 9.R. R. Zakieva et al., Chemistry and technology of fuels and oils 480-486 (2015).

© Д. М. Барданова – студент кафедры Химической технологии переработки нефти и газа (ХТПНГ), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия; А. А. Горнаев – студент кафедры ХТПНГ, КНИТУ; Б. А. Шайхутдинов – студент кафедры ХТПНГ, КНИТУ; М. Ю. Антонова – студент кафедры ХТПНГ, КНИТУ, 22b.antonovamu@fnnh.ru; Ю. Х. Усманова – к.т.н., доцент кафедры ХТПНГ, КНИТУ; Е. Г. Заицева – аспирант кафедры ХТПНГ, КНИТУ; С. М. Петров – к.т.н., доцент кафедры ХТПНГ, КНИТУ.

© D. M. Bardanova – Student of the department of Chemical Technology of Petroleum and Gaz Processing (CTPGP), Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia; A. A. Gornaev – Student of the CTPGP department, KNRTU; B. A. Shaikhutdinov – Student of the CTPGP department, KNRTU; M. Yu. Antonova – Student of the CTPGP department, KNRTU, 22b.antonovamu@fnnh.ru; Yu. Kh. Usmanova – PhD (Technical Sci.), Associate Professor of the CTPGP department, KNRTU; E. G. Zaitseva – PhD-student of the CTPGP department, KNRTU; S.M. Petrov – PhD (Technical Sci.), Associate Professor of the CTPGP department, KNRTU.

Дата поступления рукописи в редакцию – 04.05.25.

Дата принятия рукописи в печать – 11.11.25.