

Международная академия нефти и газа, International academy of oil and gas¹ (Россия, Russia)

Российская академия естествознания, Russian academy of natural science² (Россия, Russia)

Оценка электромагнитного воздействия на тяжелое нефтяное сырье

Assessment of electromagnetic impact on heavy crude oil

Кемалов Алим Фейзрахманович, Kemalov Alim Feizrahmanovich^{1,2}

Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich^{1,2}

Ректор¹, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник¹,

заслуженный деятель науки и образования РТ, академик РАЕН^{1,2}

Генеральный директор¹, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник¹, профессор РАО²

УДК 665.6. Шифр научной специальности ВАК «Нефтехимия» — 1.4.12.

E-mail: alim.kemalov@mail.ru kemalov@mail.ru

Аннотация: Для оценки потенциальной возможности природных битумов и высоковязких нефтей, как и обычных нефтей, необходимо провести тщательные исследования по определению кривых зависимости истинной температурной кривой (ИТК), плотности, содержания серы, низкотемпературных и вязкостных свойств, фракционного и углеводородного составов. В статье рассматривается возможность активации процесса окислительного термоллиза тяжелых нефтяных остатков с целью получения битумов различного назначения. Задача максимального вовлечения тяжелых нефтяных остатков в переработку является весьма актуальной в условиях усиливающейся конкуренции на рынке нефтепродуктов с одной стороны, и на фоне возрастающих требований к их качеству с точки зрения защиты окружающей среды — с другой. Актуальной задачей в настоящее время для нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) является все большее вовлечение высокопарафинистых смолистых нефтей, с применением специальных методов предварительного активирования сырья (акустическое возбуждение, роторный гидродинамический источник механических колебаний, волновое воздействие и т.д.) в производство получения нефтяных окисленных битумов, улучшенного качества. В качестве сырья битумного производства [4,5,6] на современных НПЗ используют гудроны различных нефтей, крекинг-остатки, экстракты селективной очистки масел, асфальты процесса деасфальтизации, мазуты, смолы процесса пиролиза и т.д. Это приводит к необходимости эффективного регулирования, как свойств сырья [7], так и параметров процесса производства битума с заданным комплексом эксплуатационных свойств.

Abstract: To assess the potential of natural bitumens and high-viscosity oils, as well as conventional oils, it is necessary to conduct thorough studies to determine the curves of the dependence of the true temperature curve (TTC), density, sulfur content, low-temperature and viscous properties, and fractional and hydrocarbon compositions. The article examines the possibility of activating the process of oxidative thermolysis of heavy oil residues in order to produce bitumens for various purposes. The task of maximizing the processing of heavy oil residues is highly relevant in the context of growing competition in the petroleum products market, on the one hand, and against the backdrop of increasing requirements for their quality from the perspective of environmental protection, on the other. An urgent task for oil refineries (ORs) at present is to increasingly process high-paraffinic, resinous oils using special methods of preliminary activation of the raw material (acoustic excitation, rotary hydrodynamic source of mechanical vibrations, wave exposure, etc.) to produce oxidized petroleum bitumens of improved quality. As raw materials for bitumen production [4,5,6], modern oil refineries use tars from various oils, cracking residues, extracts from selective oil refining, asphalts from the deasphalting process, fuel oils, resins from the pyrolysis process, etc. This leads to the need for effective regulation of both the properties of the raw materials [7] and the parameters of the bitumen production process to achieve a given set of operational properties.

Ключевые слова: Электромагнитное воздействие, окисление, мазут, образцы битумов,

Keywords: Electromagnetic influence, oxidation, fuel oil, bitumen samples

Материалы и методы

Процесс окисления остаточных нефтяных фракций, создание интенсивной физико-химической технологии производства битумов, анализ сырья, активирование тяжелых нефтяных остатков электромагнитным полем, вакуумирование тяжелых нефтяных остатков, окисление тяжелых нефтяных остатков, изучение динамика физико-химических свойств продуктов окисления тяжелых нефтяных остатков, сравнение физико-химических свойств полученных окисленных битумов с Европейским стандартом EN 12591 и ГОСТ 22245-90. Химический состав исходного нефтяного сырья и способы его переработки. Классификация БашНИИ НП. Смеси нефтей Ромашкинского и Прикамского месторождений.

Materials and methods

The process of oxidizing residual oil fractions, the development of an intensive physicochemical

technology for the production of bitumen, analysis of raw materials, activation of heavy oil residues using an electromagnetic field, vacuum treatment of heavy oil residues, oxidation of heavy oil residues, study of the dynamics of the physicochemical properties of the oxidation products of heavy oil residues, comparison of the physicochemical properties of the obtained oxidized bitumens with the European standard EN 12591 and GOST 22245-90. The chemical composition of the initial oil raw material and methods of its processing. Classification by BashNII NP. Mixtures of crude oils from the Romashkinskoye and Prikamskoye fields.

1. ВВЕДЕНИЕ

В России основным источником производства битумов является процесс окисления остаточных нефтяных фракций (ОНФВ связи с этим одним из перспективных и экологически приемлемых путей радикального решения проблемы улучшения качества битумов, является создание интенсивной физико-химической технологии производства битумов, основанная на применении активированных электромагнитным полем остаточных нефтяных фракций. [1,2,3].

1. INTRODUCTION

In Russia, the main source of bitumen production is the process of oxidation of residual petroleum fractions (ONF). In this regard, one of the promising and environmentally acceptable ways to radically solve the problem of improving bitumen quality is to create an intensive physico-chemical technology for bitumen production based on the use of residual petroleum fractions activated by an electromagnetic field. [1,2,3].

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Основными этапами работы [8,9] являются: анализ сырья, активирование тяжелых нефтяных остатков электромагнитным полем, вакуумирование тяжелых нефтяных остатков, окисление тяжелых нефтяных остатков, изучение динамика физико-химических свойств продуктов окисления тяжелых нефтяных остатков, сравнение физико-химических свойств полученных окисленных битумов с Европейским стандартом EN 12591 и ГОСТ 22245-90. Отметим, что химический состав исходного нефтяного сырья и способы его переработки оказывают существенное влияние на эксплуатационные свойства полученных битумов [10]. По классификации БашНИИ НП, для производства дорожных битумов наиболее подходящими являются нефти с определенным соотношением асфальтенов, смол и парафинов: $A+C-2,5P > 8$. Отметим, что в связи с ограниченностью запасов нефтей, имеющих определенное соотношение вышеуказанных компонентов, для производства дорожных битумов используются остатки практически любых перерабатываемых нефтей, что приводит к низкому качеству производимых битумов. Для смеси нефтей Ромашкинского и Прикамского месторождений: $4,2+22,6-2,5*8,3=6,05$. Для смеси Девоновской и Карбоновой нефти: $2,60+20,20-2,5*2,22=17,25$.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве сырья процесса окисления в настоящей работе был выбран мазут смеси нефтей Ромашкинского и Прикамского месторождений, физико-химические свойства которого представлены в Таблице 2. Решается актуальная задача, связанная с расширением сырьевой базы для производства качественных битумов за счёт вовлечения тяжёлых нефтяных остатков парафин-нафтенового основания.

Таблица (2). Физико-химические свойства смеси мазута

Наименование показателей	Девоновской и Карбоновой нефти	Ромашкинского и Прикамского месторождений
1. Плотность, при 20°C, кг/м³	955,2	1003,6
2. Условная вязкость, сек. при 60°C	-	136,8
при 80°C	20,20	30,7
3. Температура вспышки, °C	230	265
4. Температура размягчения по методу КиШ, °C	27,2	31,5
5. Коксуемость, %масс.	9,51	13,5
6. Содержание, %масс.:		следы
серы	2,39	4,5
асфальтенов	2,97	7,6
смол	31,6	56,5

7. Фракционный состав, %: н.к. – 300°C	отсутствует	отсутствует
8. Температура начало кипения, °C	350	300

Установлено [1,3], что длительное облучение действует разрушающе на большинство известных органических материалов. Поэтому возникла необходимость в исследовании эксплуатационных свойств таких материалов, как пластмассы, покрытия и битумы в зоне электромагнитного излучения и способности их противостоять его воздействию. Действие электромагнитного излучения на органические соединения в последнее время активно изучается, с целью определения влияния электромагнитных колебаний на битумные материалы, главным образом на асфальты, и использовать полученные данные на практике. Битумные материалы значительно различаются между собой по составу, который зависит от источника сырья и способа получения материалов. При исследовании влияния электромагнитных колебаний следует учесть, что по существу битумы представляют собой углеводородные смеси, содержащие различные фракции насыщенных, олефиновых, ароматических соединений и углерод (или материал с высоким молекулярным весом) в коллоидном состоянии. При воздействии на мазут колебаний с частотой 72,2 кГц происходит их возбуждение. Возникающие колебания, колебания упругой (жидкой и газообразной) среды, влечёт за собой возникновение последовательно чередующихся участков сжатия и разряжения. Благодаря упругим связям частиц, давление передаётся на соседние частицы, которые, в свою очередь, воздействуют на следующие, в результате чего область повышенного давления перемещается в упругой среде. За областью повышенного давления следует область пониженного давления. Таким образом, мазут подвергается чередующемуся воздействию сжатия и разряжения. Также возникают и упругие деформации сдвига, обуславливающие возбуждение поперечных (сдвиговых) волн. В этом случае частицы совершают колебания перпендикулярно направлению распространения волны, при этом скорость распространения продольных волн значительно больше скорости распределения сдвиговых волн. Сжатие и разряжение тяжелых нефтяных остатков, приводят к образованию разрывов в молекулах, в частности в соединениях C–H, т.е. происходит эффект кавитации. Временной интервал кавитационного эффекта очень непродолжителен, и в момент сжатия выделяется значительная энергия, при этом происходит разогрев углеводородного сырья, а также ионизация и диссоциация молекул. Характеристики мазута после воздействия электромагнитного поля в течении 2 часов при температуре 210°C представлены в следующей Таблица 3.

Таблица 3 - Характеристика мазута Елховского НПУ ПАО «Татнефть» после воздействия электромагнитного поля (210°C, 2 часа).

Наименование показателя	Значение
1. Плотность, при 20°C, кг/м³	922,3
2. Вязкость ВУ ₈₀	3,35
3. Содержание фр., °C:	% масс.
н.к.-105	0,12
105-120	0,36
120-150	2,72

Характеристики термостатированного мазута при 350°C в течении 10, 15, 20 мин, после воздействия электромагнитного поля в зависимости от времени термостатирования представлены в Таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика термостатированного мазута (350°C)

Наименование показателя	Значение		
	10 мин	15 мин	20 мин
Плотность, при 20°C, кг/м³	936,2	946,7	956,4
Вязкость ВУ ₈₀	4,23	6,28	7,6
Содержание фр., °C:	% масс.	% масс.	% масс.
н.к.-105	0,2	0,63	0,8
105-120	0,35	0,28	0,2
120-150	2,5	2,7	3
150-190	1,8	3,5	4

Результатом воздействия электромагнитного поля на исследуемое сырьё является в первую

очередь изменение группового химического состава и структуры тяжёлого нефтяного остатка, о чём свидетельствует градиент показателей плотности и вязкости, образцов до и после волнового воздействия. На наш взгляд, снижение плотности от 1003,6 кг/м³ до 922,3 кг/м³, и вязкости ВУ₈₀ от 7,04 до 3,35, обусловлено образованием светлых фракций выкипающих до 350 °С (3,2 % масс.) образовавшихся в результате процессов деструкции, реакций крекинга активированного, возбужденного сырья. При термостатировании мазута при 350 °С в течении 10, 15, 20 мин, после воздействия электромагнитного поля, происходит увеличение плотности (от 922,3 кг/м³ до 956,4 кг/м³) и увеличение вязкости ВУ₈₀ 3,35 до 7,6 соответственно, что вызвано, с одной стороны, незначительными процессами деструкции тяжёлой углеводородной части (о чём свидетельствует увеличение выхода светлых фракций до 190°С), с другой стороны, происходят реакции уплотнения, «осмоления». Необходимо отметить наличие в мазуте фракций, имеющих температуру деструкции 190°С, которая ниже их температуры выкипания.

Закономерности химической технологии окисления тяжелых нефтяных остатков

При окислении сырья до битумов протекает очень много реакций, константы скоростей которых различны. С повышением температуры окисления скорости реакций окисления ускоряются. В зависимости от природы сырья и требуемых свойств битума следует подбирать соответствующую температуру окисления. При температуре ниже 210°С скорости реакций небольшие и время окисления сырья становится продолжительным. При температурах выше 280°С преобладают реакции образования карбенов и карбоидов, ухудшающих качество битумов. Поэтому на практике окисления для большинства видов сырья с учетом экономической целесообразности она близка к 250°С. Расход сжатого воздуха, степень его диспергирования по сечению окислительной колонны существенно влияют на интенсивность процесса и свойства битумов. Увеличение расхода воздуха до определенного предела при прочих равных условиях ведет к пропорциональному повышению скорости окисления. В непрерывном процессе с увеличением подачи воздуха увеличивается общий объем реакционной смеси воздуха и сырья. Следовательно, увеличивается объемная скорость и уменьшается время пребывания сырья в зоне реакции, уменьшаются пенетрация, увеличиваются экономические и энергетические затраты. Повышение давления в зоне реакции способствует интенсификации процесса окисления, так как улучшается контакт кислорода с сырьем, повышается растворимость газов с жидкостью. Что приводит к сокращению продолжительности окисления и улучшению качества окисленных битумов. Понижение давления способствует протеканию реакций окисления, так как они идут с понижением объема. Соответствующим подбором давления в системе можно регулировать состав и свойства получаемых битумов. В процессе окисления температура процесса и расход воздуха поддерживались в интервале 240 – 260°С и 3л/мин*кг. сырья соответственно.

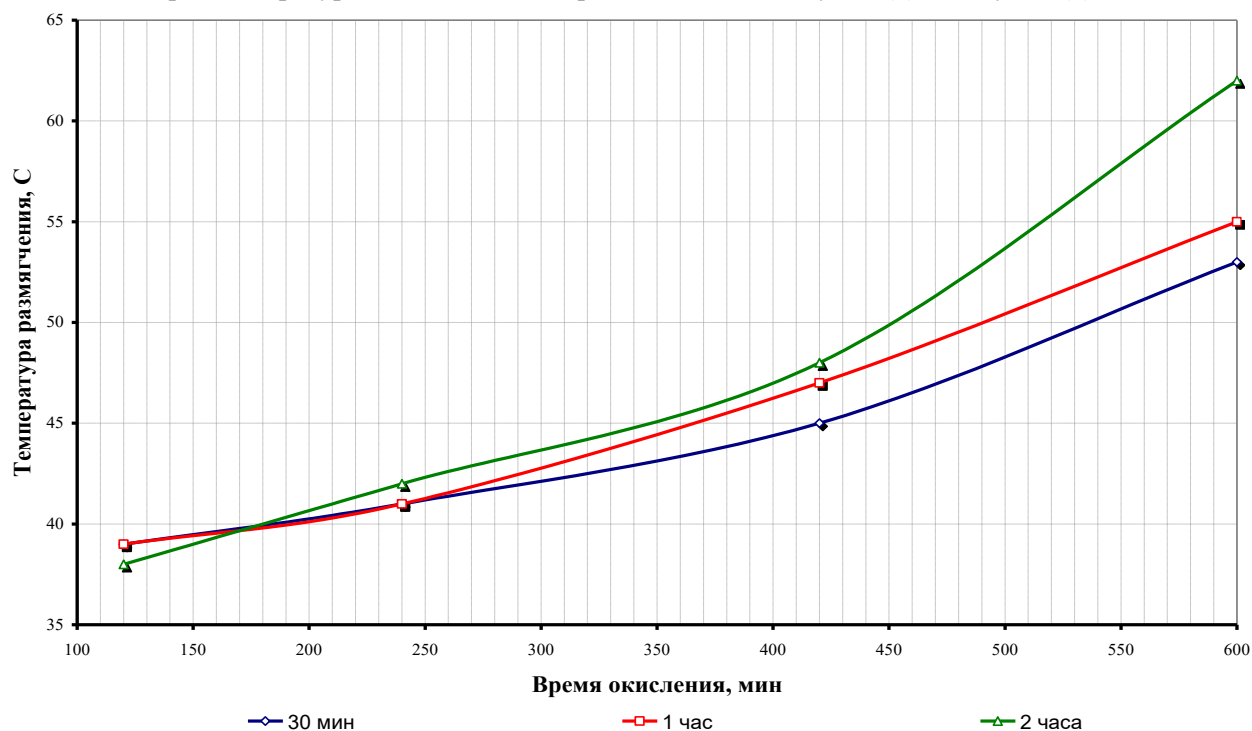
По полученным данным в результате анализа физико-химических свойств (Таблица 6), наиболее простая зависимость прослеживается между временем и температурой размягчения в ходе окисления.

Таблица 6 - Изменения физико-химических свойств исходного мазута

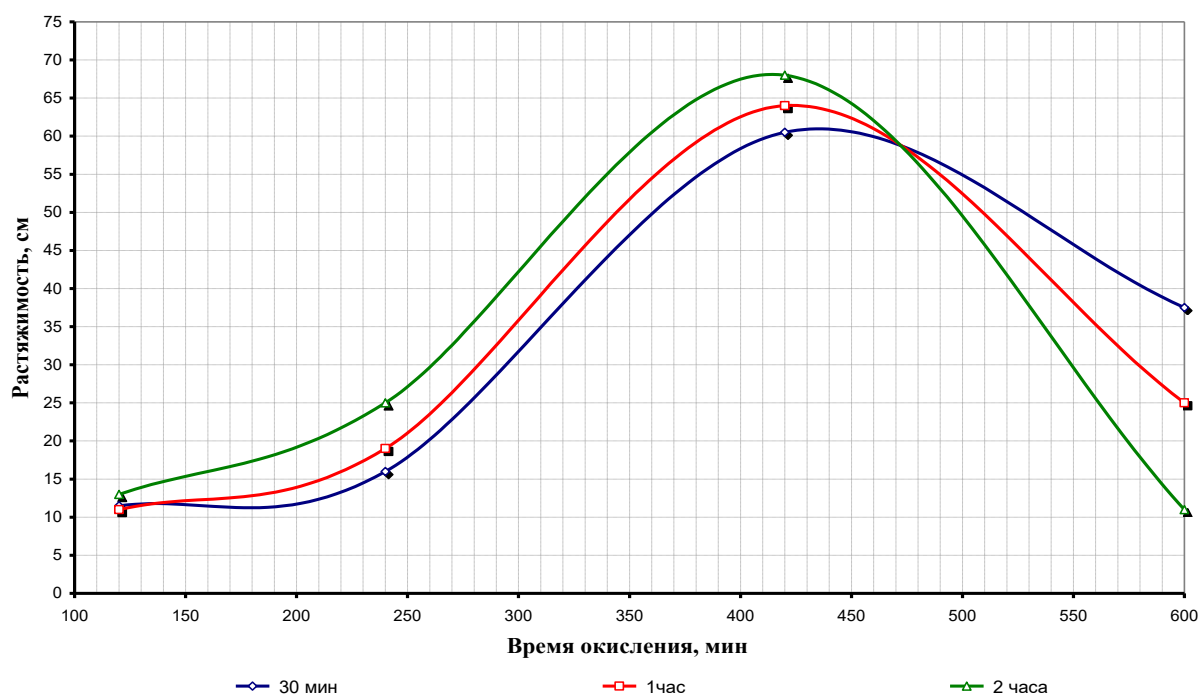
Наименование показателя	Время окисления, мин.			
	120	240	420	600
1. Глубина проникания иглы, 0,1 мм: - при 25°С; - при 0°С	>350	>350	202	90
2. Температура размягчения по методу кольца и шара, °С	36	39	42	44
3. Температура хрупкости, °С	-	-	-21,8	-35,9
4. Температура вспышки, °С	230	230	240	240
5.Растяжимость, см - при 25°С; - при 0°С	11,5	16,0	20	18,5
Индекс пенетрации	-	-	0,87	-1,4
6. Сцепление с мрамором или песком	3,0	3,0	3,0	3,0
7. Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	-	-	2,8	3

В зависимости от содержания асфальтенов битумы представляют собой коллоидные системы,

имеющие золь, золь-гель, гель структуры, для разрушения которых требуется разная энергия. Битумы с большим содержанием асфальтенов обладают структурой геля и имеют более высокую температуру размягчения. Известно, что при высоких значениях температуры размягчения с увеличением пенетрации и дуктильности повышается качество битума. Растяжимость сначала увеличивается первые семь часов окисления, затем снижается. Таким образом, увеличивается процентное содержание асфальтенов, за счет сокращения масел и смол. Причем для исходного мазута асфальтены увеличиваются за счет начального накопления смол. Зависимость малакометрических свойств от времени окисления мазута, предварительно активированного электромагнитными колебаниями при температуре 150⁰С и 210⁰С представлена на Рисунке (1) и Рисунке (2).

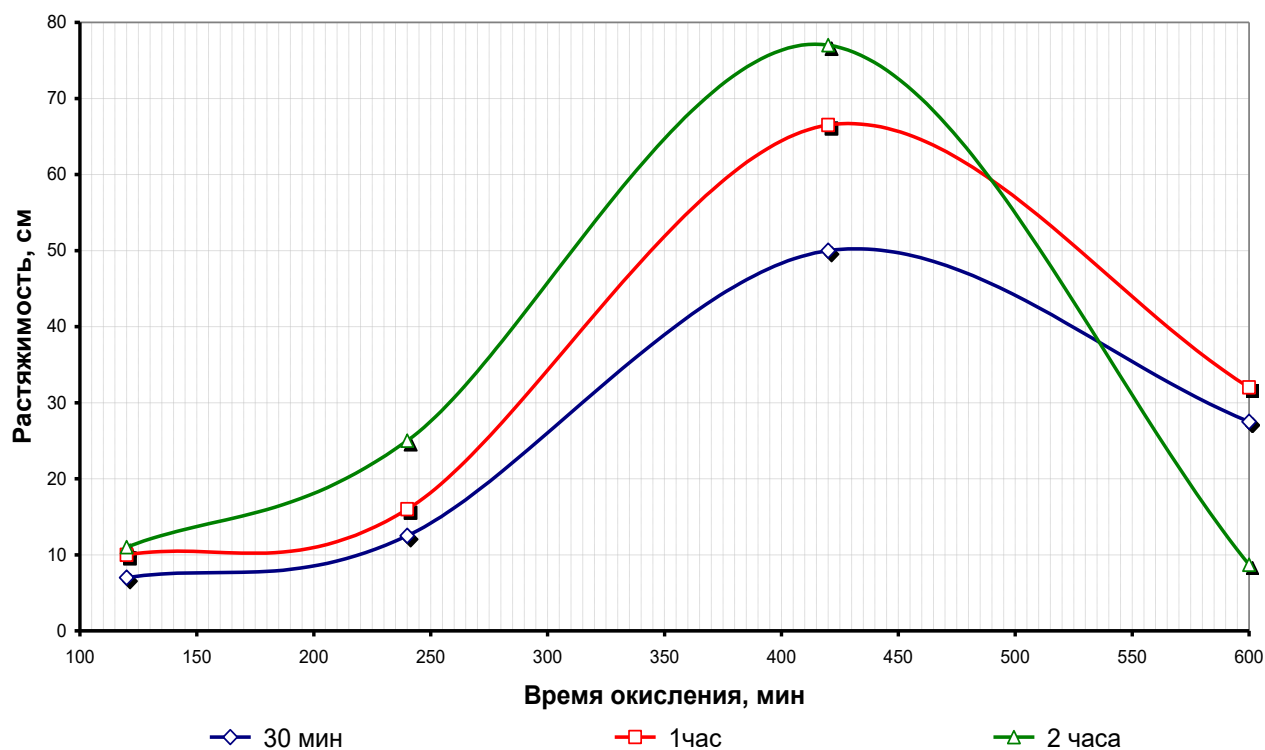


а)

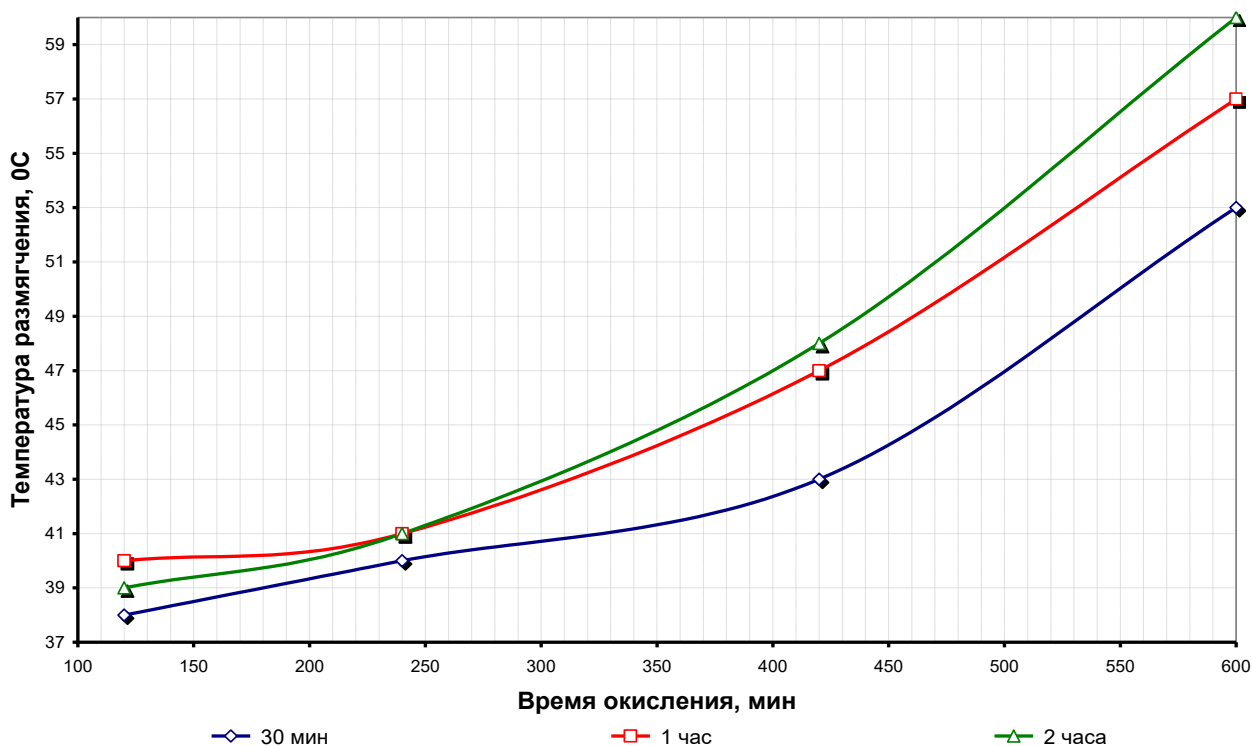


б)

Рисунок (1). Зависимость малакометрических свойств от времени окисления мазута предварительно активированного электромагнитными колебаниями при температуре 150⁰С



а)



б)

Рисунок (2). Зависимость малакометрических свойств от времени окисления мазута предварительно активированного электромагнитными колебаниями при температуре 210 °C

Необходимо отметить, что увеличение температуры размягчения в первые часы окисления, вероятно, связано с накоплением смол, о чем свидетельствует резкое увеличение растяжимости, при этом концентрация асфальтенов меняется не значительно, затем содержание смол на протяжении всего процесса окисления остается постоянным. Происходящие изменения в свойствах битума в течение окисления 10 часов вызвано, на наш взгляд, структурными изменениями, происходящими при окислении тяжелых нефтяных остатков. Зависимость физико-химических свойств битумов, полученных окислением активированного сырья, представлены на Рисунке (3).

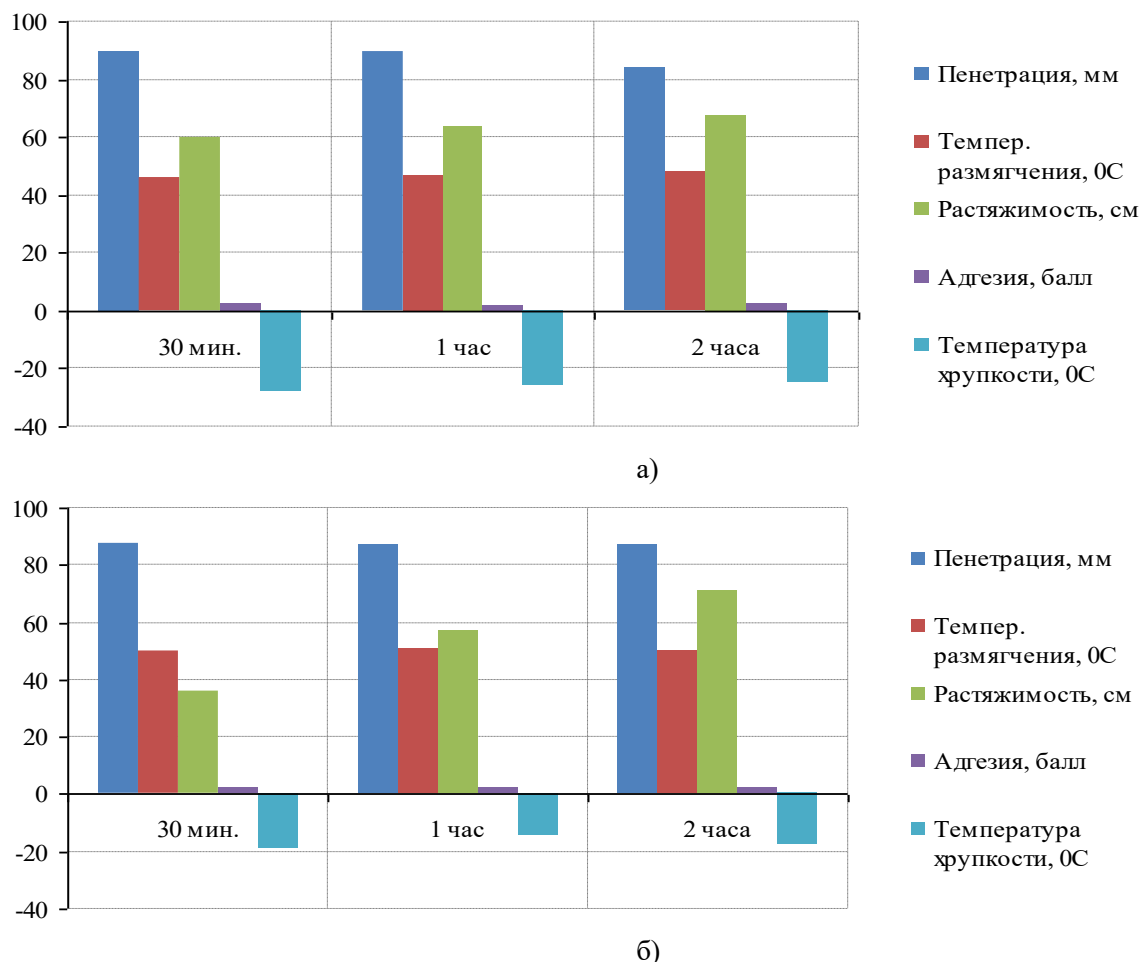


Рисунок (3). Зависимость физико-химических свойств продуктов окисления:
а) при температуре 150°C; б) при температуре 210°C.

Зависимость температуры хрупкости и пенетрации продуктов окисления со временем процесса более сложное, так как эти показатели зависят в большей степени от свойств дисперсионной среды – масел и смол. С одной стороны, температура хрупкости продуктов окисления, как и температура размягчения, повышается с увеличением содержания асфальтенов и их размеров, что ведет к образованию жесткого каркаса в битуме, возрастает его твердость. С другой стороны, температура хрупкости повышается вследствие снижения концентрации дисперсной среды, что повышает температуру перехода битума в твердое состояние. Пенетрация, являющаяся параметром вязкости, также характеризует изменение пластичности битума в зависимости от изменения его группового химического состава.

Зависимость эффективности активирования от температуры при электромагнитного воздействия (30мин).

Температура размягчения

$$A=(53-44)/150=0,06$$

$$A=(53-44)/210=0,04$$

Пенетрация

$$A=(90-50)/150=0,27$$

$$A=(90-60)/210=0,14$$

Зависимость эффективности активирования от температуры при электромагнитного воздействия (120мин).

Температура размягчения

$$A=(62-44)/150=0,12$$

$$A=(60-44)/210=0,08$$

Пенетрация

$$A=(90-25)/150=0,43$$

$$A=(90-40)/210=0,24$$

При сравнении эффективности активирования в зависимости от температуры и времени можно установить, что наиболее приемлемым условием проведения активации мазута является 150 °C, 120 мин. Сравнительный анализ эксплуатационных свойств полученных окисленных битумов из начального сырья, мазута (образец 1), а также активированных мазутов (соответственно образцы 2, 3 и 4) проводился в соответствии с основными требованиями, предъявляемыми к битумам (Таблица 7).

Таблица 7 - Показатели качества полученных окисленных битумов

Наименование показателя	Значения					
	ГОСТ 22245-90	EN 12591	Номер образца			
	БНД 60/90	Марка 70/100	1	2	3	4
1. Глубина проникания иглы, •0,1мм: - при 25°C; - при 0°C	61-90 Не менее 20	70-100 -	202	84	89	87
2. Температура размягчения по кольцу и шару, °C	Не ниже 47	43-51	42	48	48	48
3. Температура хрупкости, °C	Не выше -15	-10	-21,8	-24,8	-18,3	-21,6
4. Температура вспышки, °C	Не ниже 230	Не ниже 230	240	240	240	240
5. Растяжимость, см - при 25°C; - при 0°C	Не менее 55 Не менее 3,5	-	20	68	57	77
6. Сцепление с мрамором или песком	-	-	3	2,5	2	2

Нормативные требования к дорожным битумам в Европе в рамках единого стандарта EN 12591 приведены в Таблица 7. в этой же таблице приведены сравнительные характеристики битумов дорожного назначения, полученных окислением активированных мазутов на соответствие с показателями ГОСТ 22245-90.

3. ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований, образцы полученных битумов по своим качественным характеристикам, а именно температуре размягчения, глубина проникания иглы в полной мере соответствуют стандарту, а по отдельным показателям, таким как растяжимость, температура хрупкости превосходят требования вышеуказанного норматива. По полученным данным намечается общая тенденция улучшения свойств битум полученных окислением активированных мазута. При одинаковых значениях температуры размягчения понижается пенетрация, температура хрупкости заметно не изменяется.

3. CONCLUSIONS

As a result of the studies conducted, the samples of the obtained bitumens fully meet the standard in terms of their qualitative characteristics, namely softening temperature and needle penetration depth, and in some indicators, such as ductility and brittleness temperature, they exceed the requirements of the aforementioned standard. Based on the data obtained, a general trend towards improving the properties of bitumens obtained by oxidizing activated fuel oil is observed. With the same softening temperature values, the penetration decreases, while the brittleness temperature does not change noticeably.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общая тенденция увеличения температуры размягчения объясняется неаддитивными взаимодействиями в системе с образованием водородных связей между функциональными группами R-H и атомами (группами атомов той же или другой молекулы). Таким образом, налаживается связь R-H...R₁. Водородная связь образуется путем электростатического и донорно-акцепторного взаимодействия компонентов битума с полярными компонентами битума, появившиеся в результате электромагнитного воздействия. Образующиеся при этом сольваты и ассоциаты понижают общую энергию системы, что приводит к возрастанию температуры размягчения. С одной стороны, теплостойкость битумов не должна быть ниже максимальной эксплуатационной температуры (температура поверхности автодорог в летнее время 70 °C), с другой стороны высокая температура размягчения затрудняет их применение в качестве связующих в асфальтобетонных смесях (битумы с

высокой температурой размягчения, а, следовательно, высокой вязкостью плохо обволакивают поверхность минерального наполнителя). На наш взгляд, активирование мазута позволяет создать условия в процессе окисления, при которых практически полностью локализируются подвижные неспаренные электроны проводимости в коллоидных частицах битума, что приводит к их стабилизации. Коагуляция и выпадение кристаллов асфальтеновой фракции при старении в данном случае сильно кинетически и стерически затруднены и, практически, не происходят.

4. RESOLUTION

The general trend of increasing the softening temperature is explained by non-additive interactions in the system, with the formation of hydrogen bonds between the functional groups R-H and atoms (groups of atoms of the same or another molecule). Thus, the R-H...R1 bond is established. Hydrogen bonding is formed through electrostatic and donor-acceptor interactions between the bitumen components and the polar components of the bitumen, which appear as a result of electromagnetic influence. The solvates and associates formed in this process lower the overall energy of the system, which leads to an increase in the softening temperature. On the one hand, the heat resistance of bitumen should not be lower than the maximum operating temperature (the surface temperature of roads in summer is 70 °C); on the other hand, a high softening point makes it difficult to use them as binders in asphalt concrete mixtures (bitumens with a high softening point, and therefore high viscosity, do not coat the surface of the mineral filler well). In our view, activating fuel oil makes it possible to create conditions during the oxidation process in which the mobile unpaired conduction electrons in the colloidal particles of bitumen are almost completely localized, which leads to their stabilization. Coagulation and the precipitation of crystals of the asphaltene fraction during aging in this case are significantly hindered kinetically and sterically and practically do not occur.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор подтверждает, что представленные данные не содержат конфликта интересов.

ССЫЛКИ

- [1] Kemalov, A.F., Kemalov, R.A., Abdrafikova, I.M., Valiev, D.Z. Quantum energy calculations of technological parameters of electromagnetic impact on heavy hydrocarbons. *Modern Applied Science*. Volume 9, Issue 4, 2015, Pages 312-318.
- [2] Kemalov, R.A., A.F. Kemalov and D.Z. Valiev, 2012. Thermodynamics of viscous flow activation and structural-dynamic analysis of high-viscosity oil with ultrasonication. *Oil industry*, 12: 100-103.
- [3] Kemalov, R.A., A.F. Kemalov, 2012. / Complex investigations of heavy oil of Akanskoye deposits. *Neftyanoe khozyaystvo - Oil Industry*, Issue 10, October 2012, Pages 114-116.
- [4] Kemalov, A.F. and R.A. Kemalov, 2013. Development of the Technology of Black Oil Macromolecular Structuring in the Process of its Oxidation for Obtaining the Bituminous Insulating Materials. *World Applied Sciences Journal*, 23 (1): 51-55.
- [5] Kemalov, A.F., Kemalov, R.A. Study of disperse polymer systems for producing high-quality polymeric-bituminous materials. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. Volume 48, Issue 5, November 2012, Pages 339-343. DOI: 10.1007/s10553-012-0377-5
- [6] Kemalov, A.F. and R.A. Kemalov. Use of natural bitumen as raw materials for receiving bituminous insulating materials. *Neftyanoe khozyaystvo - Oil Industry*. Issue 11, 2014, Pages 140-143.
- [7] Kemalov, A.F. and R.A. Kemalov Enhancement of interfacial adhesion in bitumen coatings by film-forming agents. *World Applied Sciences Journal*. Volume 23, Issue 5, 2013, Pages 679-684.
- [8] Kemalov, A.F. Creation of chair high-viscosity oil and natural bitumen's at the Kazan Federal (Volga region) University – a step to future competitive technologies of development of heavy oil hydrocarbon raw materials of the republic of Tatarstan/ A.F. Kemalov, R.A. Kemalov The Recent Trends in Science and Technology Management. London. The collection includes The Recent Trends in Science and Technology Management. Held by SCIEURO in London 09-10 May 2013. p. 247 - 258.
- [9] Kemalov, A.F. and R.A. Kemalov, 2013. Structural and Dynamic Studies of Naphtha Crude Residue with Different Chemical Nature. *World Applied Sciences Journal (Special Issue on Techniques and Technologies)*, Volume 22, Issue SPL.ISSUE2, 2013, Pages 16-22. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.22.tt.22147
- [10] Kemalov, R.A., 2003. The modified special bitumens and paintwork materials on their basis – Diss.Cand.Tekhn.science. Kazan State Technology University.