**Казанский Федеральный Университет**

**Кафедра технологии нефти, газа и углеродных материалов**

**Kazan Federal University,**

**Department of oil & gas technology and carbon materials**

**Будущее дорожного покрытия на основе водо-битумных технологий**

**The future of pavement based on water-bitumen technologies**

**Гашпар Фелисиану Гомеш, Feliciano Gomes Gaspar1**

**Валиев Динар Зиннурович, Valiev Dinar Zinnurovich 2**

**Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich3**

**Кемалов Алим Фейзрахманович, Kemalov Alim Feizrahmanovich4**

магистрант кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов1

старший преподаватель кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов2

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов, член экспертного совета Российского Газового общества (РГО),

и.о. руководителя группы «Водородная и альтернативная РГО, профессор РАЕ3

доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой технологии нефти, газа и углеродных материалов 4

УДК **665.775.5**. Шифр научной специальности ВАК: 1.4.12. «Нефтехимия»

E-mail: felicianogaspar68@gmail.com, [kemalov@mail.ru](mailto:kemalov@mail.ru)

**Аннотация:** в статье дано представление о водо-битумных эмульсиях вяжущих. Представлены история происхождения эмульсий, преимущества битумных эмульсий. Рассмотрены перспективы применения битумных эмульсий, рассматриваются преимущества битумной эмульсии в дорожном строительстве и почему она является устойчивым решением. Анализируются основные преимущества битумной эмульсии, такие как улучшенная адгезия и сцепление, экологическая безопасность, устойчивость к воздействию воды, быстрое укрепление и открытие для движения, возможность нанесения в холодном состоянии, а также улучшенная стабильность и долговечность. Результаты исследования позволяют подтвердить преимущества применения битумной эмульсии в дорожном строительстве, обеспечивая качественные и долговечные дорожные покрытия. Рассмотрены нефтяные битумы, область его применения, состав, структура и свойства. Рассмотрены основы процессов эмульгирования. Повехностно-активное вещество (эмульгатор) и его классификация. Общие сведение об битумных эмульсиях-состав, структура, свойства а также в статье рассмотрены основные области применения битумов, приведено их различие.

Строительство и обслуживание дорог играют ключевую роль в развитии инфраструктуры и обеспечении безопасности на дорогах. Одним из важных компонентов дорожного покрытия является битумная эмульсия. Битумная эмульсия представляет собой стабильную дисперсию битума в воде или другом растворителе, образуя двухфазную систему. Ее использование имеет ряд преимуществ перед традиционными методами применения битума, такими как горячее асфальтирование. В данной статье мы рассмотрим основные аспекты технологии производства битумной эмульсии и ее применение в строительстве дорог.

**Ключевые слова:** водо-битумная эмульсия, эмульгатор, структура.

**Abstract:** the article gives an idea of water-bitumen emulsions of binders. The history of the origin of emulsions, advantages of bitumen emulsions are presented, discusses the benefits of bitumen emulsion in road construction and why it is a sustainable solution. The main advantages of bitumen emulsion, such as improved adhesion and grip, environmental safety, are analyzed water resistance, rapid consolidation and opening for traffic, cold application, and improved stability and durability. The results of the study confirm the advantages of using bitumen emulsion in road construction, ensuring high-quality and durable road surfaces. The prospects of using bitumen emulsions are considered. Petroleum bitumens, the scope of its application, composition, structure and properties are discussed. The basics of emulsification processes are considered. Surface-active substance (emulsifier) and its classification. General information about bitumen emulsions - composition, structure, properties. The article considers the main areas of application of bitumens, their differences are given.

Road construction and maintenance play a key role in infrastructure development and road safety. One of the important components of road pavement is bitumen emulsion. Bitumen emulsion is a stable dispersion of bitumen in water or another solvent, forming a two-phase system Its use has a number of advantages over traditional methods of bitumen application, such as hot asphalt paving. In this article, we will consider the main aspects of the technology of bitumen emulsion production and its application in road construction.

**Keywords:** water-bitumen emulsion, emulsifier, structure.

**Введение**

Под термином «битум» понимают жидкие, полутвердые или твердые соединения углерода и водорода с небольшим количеством кислорода, серо-, азотосодержащих веществ и металлов и значительным содержанием асфальто-смолистых веществ, хорошо растворимых в сероуглероде, хлороформе и других органических растворителях. Битумы могут быть природного происхождения или получены при переработке углеводородного сырья. Таким образом, битумы представляют собой сложную смесь высокомолекулярных углеводородов нефти и их гетеропроизводных. Элементный состав битумов примерно следующий % масс.: углерода 80-85%, водорода 8,0-11,5, кислорода 0,2-4,0, серы 0,5-7,0, азота 0,2-0,5. Битум с давних пор является одним из наиболее известных инженерно-строительных материалов. Его адгезионные и гидрофобные свойства использовались уже на заре цивилизации [1]. В настоящее время области использования битумов чрезвычайно широки. Достаточно назвать дорожное строительство, применение в лакокрасочной и кабельной промышленности, строительстве зданий и др.

Битум с давних пор является одним из наиболее известных инженерно-строительных материалов. Его адгезионные и гидрофобные свойства использовались уже на заре цивилизации [1]. В настоящее время области использования битумов чрезвычайно широки. Достаточно назвать дорожное строительство, применение в лакокрасочной и кабельной промышленности, строительстве зданий и др. Потребление битумов во всех странах мира растет в связи с разветвленностью сети дорог и большой нагрузкой автотранспорта [2]. Битум в нашей стране используется более чем в 80% случаев при строительстве дорожных покрытий.

**Introduction**

The term "bitumen" refers to liquid, semi-solid or solid compounds of carbon and hydrogen with a small amount of oxygen, sulfur-, nitrogen-containing substances and metals and a significant content of asphalt-resinous substances that are readily soluble in carbon disulfide, chloroform and other organic solvents. Bitumen can be of natural origin or obtained by processing hydrocarbon raw materials. Thus, bitumen is a complex mixture of high-molecular petroleum hydrocarbons and their heteroderivatives. The elemental composition of bitumen is approximately the following % by weight: carbon 80-85%, hydrogen 8.0-11.5, oxygen 0.2-4.0, sulfur 0.5-7.0, nitrogen 0.2-0.5. Bitumen has long been one of the most well-known engineering and construction materials. Its adhesive and hydrophobic properties have been used since the dawn of civilization [1]. Currently, the areas of bitumen use are extremely wide. It is enough to name road construction, use in the paint and varnish and cable industries, building construction, etc.

Bitumen has long been one of the most well-known engineering and construction materials. Its adhesive and hydrophobic properties were used at the dawn of civilization [1]. Currently, the areas of use of bitumen are extremely wide. It is enough to name road construction, use in the paint and varnish and cable industries, building construction, etc. The consumption of bitumen in all countries of the world is growing due to the extensive road network and the heavy load of motor vehicles [2]. In our country, bitumen is used in more than 80% of cases in the construction of road surfaces.

**Ведущий подход** **(Materials and Methods)**

**1. История происхождения битумных эмульсий.**

Первый патент на битумную эмульсию был выдан еще в 1890 г. Практическое значение эмульсии получили, начиная с 20-х годов 20 века. С этого времени применение эмульсии быстро возрастает и обгоняет иногда потребление горячего битума. Пионерами в области разработки способов производства и применения эмульсий стали французские исследователи [5].

В 1903 году в Болье-сюр-Мер (Франция) применялись «эмульгированные и омыленные» тяжелые масла нефти в аммиачной воде; в 1904 году было применено «эмульгированное нефтяное масло», чтобы избежать несчастных случаев из-за облаков пыли, поднимаемых машинами во время гонки.

Благодаря швейцарскому медику доктору Эрнесту Гуглиелми-нетти гудроновое покрытие дорог получило, начиная с марта 1902 года, настолько замечательное распространение, что в 1904 году гудроновая поверхность занимала во Франции уже 360000 м2.

Английский химик Хью Алан Маккей регистрирует патент на битумную эмульсию - № 202.021 от 9 мая 1922 года. Можно сказать, что это событие положило начало новому поколению дорожных покрытий, которые через несколько лет значительно изменили технику дорожных покрытий. Начиная с 1923 года, во французской метрополии расходится первая сотня тонн эмульсии. В следующем году использовали 2 500 т, затем в 1925 году 6 000 т. Заграница не отстает: по оценкам; к концу 1926 года общая продукция заводов по производству эмульсии в 5 странах - Англии, Германии. Дании, Австралии, Индии -составила 150 000 т.

В 1951 году появляются катионные эмульсии. Учитывая их собственные свойства, они быстро заменяют анионные эмульсии: в 1962 году, спустя всего лишь 10 лет после первых испытаний. 50% производственного тоннажа были катионными эмульсиями, а в 1971 они превышают 92% [6].

В Росси эмульсии были впервые испробованы в 1928 г. на опытных участках под Москвой, Санкт - Петербургом и в Крыму, причем применяли импортные эмульсии. В России дорожная эмульсия получила производственное значение с 1931 г [7].

В современной России применение битумных эмульсий для дорожного строительства не достаточно распространено. Связано это, в первую очередь, с недостатком недорогих отечественных эмульгаторов.

Наибольший опыт в теоретических разработках и в практическом использовании битумных эмульсий накоплен во Франции, которая считается мировым лидером в этих вопросах и где более 30% от общего объема органических вяжущих для дорожных целей применяются в эмульгируемом виде [8].

В настоящее время трудно назвать область науки и техники, где бы не применялись эмульсии. Используются они и в дорожном хозяйстве. При этом во всех отраслях сталкиваются с одними и теми же проблемами, касающимися подбора состава, способа приготовления, методов определения их свойств, стабильности, контроля распада эмульсий и получения с их помощью необходимых свойств продукции.

Эмульсии - сложный материал, он еще недостаточно оценен дорожниками из-за того, что «мягок, четко нс определён, неустойчив и труден для идентификации, испытаний и изучения». Так сформулировал причину недостаточного внимания к эмульсиям со стороны дорожников на 3-м Международном конгрессе по эмульсиям (г. Лион, 2002 г.) Жан Бертье - почетный председатель Конгресса, директор одной из дорожных организаций Франции [9].

Однако промышленность нуждается в современных материалах, методах получения и контроля их свойств. Такие материалы, с одной стороны, необходимо производить при меньших затратах, а с другой - они должны обеспечивать необходимые свойства готового продукта. Дорожные материалы на битумных эмульсиях обладают хорошей удобоукладываемостью, более стойкие к погодным условиям. Другие области науки и техники (косметическая, пищевая, производство лаков, красок и др.) продвинулись в исследованиях основных закономерностей образования и свойств эмульсий намного дальше дорожной [10]. Поэтому во Франции все чаще для получения качественных дорожных материалов используют достижения физико-химии, биологии и т.д. Особенно ярко это прозвучало на 3-м Международном конгрессе по эмульсиям, где специалисты-дорожники обменялись опытом со специалистами других областей.

Во Франции в 2002 г. была опубликована книга, в которой дан краткий обзор последних достижений в науке об эмульсиях [10]. В этой работе подробно описаны современные представления об основ ных принципах получения эмульсий, возможности регулирования их свойств и режимы получения этих сложных материалов. Тем не менее, теория дорожных эмульсий до сих пор значительно отстает от практики. Приготовление эмульсий и материалов на их основе в дорожном хозяйстве пока еще остается эмпирической областью. С 1964 г. в России на эту тему нс было опубликовано ни одной значительной работы, несмотря на большую практическую важность этих материалов. Многие публикации и выступления на различных конференциях посвящены в основном практике применения битумных дорожных эмульсий. Теоретические исследования и работы типа «от теории к практике» в России очень немногочисленны, опубликованы в различных источниках, часто неизвестных производственникам и пользователям. Поэтому чаще всего российские предприниматели берут разрекламированные зарубежные материалы, технологии и машины и без должного анализа «пересаживают их на российскую почву», что нс всегда даст ожидаемый результат.

**2. Преимущества битумных эмульсий.**

Применение битумных эмульсий в строительстве и ремонте автодорог дает большие преимущества по сравнению с использованием для аналогичных задач гудрона или чистого битума.

Эмульгированная смесь демонстрирует отличные показатели при обработке мелких дефектов — сколов, трещин. Кроме того этот продукт можно использовать для грунтовки и гидроизоляции различных поверхностей, а также для повышения адгезии разнородных материалов методом проливки/пропитки.

Битумная дорожная смесь имеет целый ряд несомненных преимуществ:

* Экономный расход материала при обработке больших площадей за счет нанесения на обрабатываемые поверхности тонким слоем.
* Высокая адгезия, позволяющая обеспечить надежное сцепление разным по фактуре материалам.
* Возможность применения в холодных климатических условиях и при высокой влажности воздуха.
* Не нуждается в разжижении и разогреве перед непосредственным применением. Это позволяет сократить расходы на энергоносители.
* Хорошие пропитывающие и проникающие (в трещины, отверстия, сколы) характеристики.
* За счет высокой скорости распыления материала значительно сокращаются сроки проведения работ.
* Высокая пожарная безопасность — эмульсионный продукт не возгорается.
* Не причиняет значительного вреда здоровью людей и окружающей среде. По классификации экологической безопасности относится к малотоксичным веществам.

**Вывод:** Битумная эмульсия — современный высокотехнологичный материал, позволяющий быстро и экономно отремонтировать дорогу, создать мембранный или гидроизоляционный слой в строительной конструкции. Как показывает практический опыт, для выполнения уникальных проектных решений нужен именно такой практичный, эффективный, недорогой и безопасный материал.

**3. Области применения битумных эмульсий.**

**3.1. Дорожное строительство:**

* Создание подгрунтовочных слоев перед укладкой асфальта;
* Ремонт дорожного полотна (ямочный ремонт, трещины);
* Укрепление обочин и откосов;
* Создание слоев износа и защитных покрытий.

**3.2. Гражданское строительство:**

* Гидроизоляция фундаментов, кровель и подземных сооружений;
* Герметизация стыков и швов;
* Устройство мастичных кровельных покрытий;
* Пропитка щебня в основаниях дорог или площадок.

**3.3. Промышленное строительство:**

* Антикоррозийная защита металлических конструкций;
* Покрытие трубопроводов и резервуаров;
* Создание водоотталкивающих покрытий для бетонных сооружений.

Ключевое преимущество битумных эмульсий — возможность работы в широком диапазоне температур и погодных условий. В отличие от классических битумных материалов, требующих нагрева до 160-180°C, эмульсии можно применять при температуре от -10°C до +40°C – это значительно расширяет сезонность строительных работ. Отсутствие необходимости разогрева существенно снижает риски производственного травматизма: исключаются ожоги, пожароопасные ситуации и отравления парами при нагревании. Более того, такая технология работы экономит до 30-40% энергозатрат и позволяет проводить ремонтные и строительные работы в стесненных условиях, включая подземные сооружения и помещения с ограниченной вентиляцией.

Дорожная отрасль является достаточно энергозатратной, поскольку ежегодно в мире ремонтируются и прокладываются тысячи автомобильных дорог. Но со старыми «горячими» технологиями существенное сокращение потребление энергетических ресурсов мало возможно, поэтому выходом является использование водобитумных эмульсий. Они не требуют подогрева, что позволяет говорить о позитивном вкладе как в решение всемирной энергетической проблемы, так и в экономию на уровне отдельно взятой дорожно-строительной или ремонтной организации.

Битумная эмульсия – это смесь битума с водой. Данные вещества при обычных условиях не смешиваются. Для совмещения компонентов в воду вводят специальные добавки – эмульгаторы, кислоты и щелочи [10, 11].

По сути, битумная эмульсия – этот тот же битум, который можно использовать в дорожном строительстве, но без предварительного нагрева, что приводит к экономии энергетических ресурсов.

Эмульсии делятся по типу используемого эмульгатора на катионные и анионные. В зависимости от его концентрации можно получить быстро-, средне- и медленнораспадающиеся эмульсии. Существуют также сверхстабильные эмульсии, но они требуют большего количества эмульгатора.

Ежегодно в мире производится около 8 млн. тонн битумных эмульсий. 20% от этого числа составляют анионные, а 80% – катионные эмульсии. Такая разница обусловлена особенностями взаимодействия вяжущих с минеральными материалами. В дорожном строительстве могут использоваться материалы кислого и основного характера. По своей физической природе катионные эмульсии намного лучше взаимодействуют с кислой средой, а анионные – с основной. Поскольку большинство минеральных материалов, использующихся при строительстве и ремонте автомобильных дорог, имеют кислую природу, то и катионные эмульсии применяются намного чаще [12-14].

Получают такой строительный материал в специальных установках типа УВБ-1. Установка УВБ-1 оснащена коллоидной мельницей, обеспечивающей разбивку битума на мелкие частички, с каждой из которых взаимодействует эмульгатор. Последний выполняет сразу несколько важнейших функций. Во-первых, он принимает участие в образовании эмульсии. Во-вторых, обеспечивает ее стабильность при хранении. Втретьих, влияет на скорость распада. И, наконец, вчетвертых, улучшает адгезионные свойства (сцепляемость с минеральным материалом) битумной эмульсии [9].

Для получения материала с требуемыми свойствами можно использовать несколько подходов или их комбинацию: изменить марку битума; изменить концентрацию битума; изменить тип эмульгатора; изменить концентрацию эмульгатора; изменить соотношение компонентов. Наиболее альтернативным методом смешения битумов с неорганической фазой является использование битумных эмульсий. Такие эмульсии имеют ряд преимуществ: -вязкость при комнатной температуре у них ниже, чем у битумов. Низкая вязкость способствует легкому проникновению битумного материала даже в мелкие поры; -высокая адгезионная способность к поверхностях различной структуры способствует созданию высокопрочных дорожных конструкций; возможность производить работу при низких температурах и высокой влажности за счет улучшения сил сцепления вяжущего с поверхностью каменных материалов; сокращение вредных выбросов в атмосферу.

В сфере дорожного строительства все чаще применяют битумную эмульсию, которая пришла на замену битума. При этом достаточно обширной является область различных перспективных решений в производстве водо-битумных эмульсий. Во многих отраслях промышленности находят применение так называемые множественные эмульсии. Например, более 15 лет в косметологической промышленности используются множественные эмульсии, по структуре похожие к обратным эмульсиям. Множественная эмульсия – это эмульсия, в которой дисперсная фаза является эмульсией, содержащей капельки другой фазы. Такие эмульсии могут получить дорожники в процессе приготовления обратной эмульсии, но пока эта эмульсия не нашла широкого применения в качестве дорожного материала. Она более вязкая и подвижная, чем обычная, при нанесении не стекает. Такие эмульсии очень экономичны, даже не увеличивая содержание дисперсной фазы [15,16]. Интерес также представляют монодисперсные эмульсии [17], так как именно дисперсность определяет такие свойствам эмульсий, как вязкость и скорость распада. Таким образом, получая эмульсии определенной дисперсности, можно регулировать её вязкостные свойства и время распада.

**4. Нефтяные битумы. Применение, состав, структура, свойства.**

Нефтяные битумы находят широкое применение во многих отраслях народного хозяйства. Объем их производства в экономически развитых странах составляет 10-15% от всей перерабатываемой нефти. Доля нефтяных битумов в общем объеме товарной продукции мировой нефтепереработки составляет 3- 4%. Общий спрос на битум сегодня оценивается на уровне 102 млн т в год, при этом 85% потребности в битуме приходится на дорожную отрасль.

В последние годы мировое производство битума возросло на 30%. Основные мощности по производству битума расположены в США, которые занимают первое место по объемам производства нефтяного битума. Тем не менее, производство битума развивается и в странах Средней, Южной и Восточной Азии. На долю России и других стран СНГ в этом потенциально возможном объеме выработки битумов приходится 11,9% общемирового производственного потенциала [1].

Высокое качество дорожных битумных материалов определяется их оптимальным групповым химическим составом, определяющим дисперсность и тип структуры [2–9].

Асфальтены характеризуются более высокой молекулярной массой, по сравнению со смолами, и отличаются от них парамагнетизмом, свидетельствующим о наличии в асфальтенах неспаренных электронов. Неспаренные электроны вызывают интенсивное межмолекулярное взаимодействие, приводящее к образованию ассоциатов асфальтенов.

Смолы растворимы в углеводородах нефти и способствуют растворению в них асфальтенов. Частицы асфальтенов в дисперсных системах имеют размеры от 2 до 30 нм и могут образовывать ассоциаты до 3 мкм.

Смолисто-асфальтеновые вещества могут быть в молекулярно-растворенном, коллоидно-диспергированном состояниях и в виде макрофазы. Переход из одного состояния в другое вызывается действием разнообразных внешних факторов, самыми распространенными среди которых являются изменения состава растворителя и температуры.

Групповой химический состав зависит от природы сырья и методов получения битумов. Так, неокисленные (остаточные) битумы, получаемые вакуумной перегонкой, характеризуются отношением асфальтенов к смолам А:С равным от 0,25 до 0,41 : 1, тогда как окисленные битумы имеют отношение А:С в пределах от 1,5 до 2,0 : 1.

В составе битумов масла выступают в роли пластификаторов, снижают их вязкость. Содержание масел варьируется в достаточно широких пределах (35-60 % мас.). Масла оказывают значительное влияние на свойства битумов: снижают их вязкость, температуры размягчения и хрупкости, повышают пенетрацию и температуру вспышки. Зависимость дуктильности от содержания масел в битуме носит экстремальный характер. Одним из важнейших показателей масляного компонента в ракурсе влияния на свойства битумов является их растворяющая способность, характеризуемая коэффициентом растворяющей способности (Кр).

Современные улучшенные битумные материалы должны иметь более высокие эксплуатационные характеристики, чем существующие. Сегодня в России проводят интенсивные работы по созданию новых вяжущих материалов, способных противостоять возросшим нагрузкам, циклическому изменению температур окружающей среды, увеличить период эксплуатации дорожных и кровельных покрытий и сократить расход средств и материалов на проведение ремонтных работ.

С целью улучшения эксплуатационных свойств битумов как на стадии подготовки и окисления сырья, так и на стадии производства товарной продукции, можно вводить различные модификаторы. Для выбора наиболее предпочтительного способа получения нефтяных битумов с улучшенными свойствами по технологии «окисление-компаундирование» необходимы специальные исследования по разработке рецептур и технологии их производства с учетом природы перерабатываемого сырья и специфических условий конкретного нефтеперерабатывающего завода.

Битумы имеют сложное химическое строение, поэтому их разделяют на группы компонентов, отличающихся по растворимости: асфальтены, смолы и масла. Масла в битуме понижают температуру его размягчения, твердость, увеличивают текучесть и испаряемость.

Масла состоят из: — парафиновых соединений, представленных гомологическими рядами нормальных и разветвленных алканов, с числом углеродных атомов 26 и более, имеющие температуру кипения в пределах 350- 520°С, температуру плавления 56-90oС, плотность 790-820кг/м3 ; — нафтеновых структур с числом углеродных атомов от 20 до 35, имеющие плотность 820- 870кг/м3 ; — ароматических соединений: моноциклические, имеющие молекулярную массу 450-620, бициклические - 430-600, полициклические - 420-670.

При переходе от моно- к полиароматическим соединениям боковые углеводородные цепи укорачиваются.

Смолы придают битуму твердость, пластичность и растяжимость. Это высокомолекулярные органические соединения циклической и гетероциклической структуры высокой степени конденсации, связанные между собой алифатическими цепями. В состав смол кроме углерода (79-87%) и водорода (8,5-9,5%) входят азот (до 2%), кислород (1-10%) и сера (1-10%). Молекулярная масса смол составляет от 300 до 2500, а плотность колеблется в пределах 990-1100кг/м3.

Смолы считают промежуточной формой между маслами и асфальтенами, химический состав которых до настоящего времени мало изучен. Асфальтены — это концентрат наиболее высокомолекулярных соединений нефти, как правило, гетероатомных. Асфальтены являются основным структурообразующим компонентом битумов. Благодаря полярности они склонны к ассоциации. Молекулы асфальтенов образуют ассоциаты в виде пачек парал- лельно расположенных плоских молекул. Сольватная оболочка из масел и смол не дает слипаться частицам асфальтенов. Молекулярная масса ассоциатов- от 1500 до 4000, однако истинная молекулярная масса асфальтенов - 400-500.

**5. Основы процессов эмульгирования.**

Эмульгирование — это технологический процесс, позволяющий смешивать две и более несмешивающиеся или трудно смешивающиеся жидкости, например, растительное масло и воду. Целью является получение однородной эмульсии, не расслаивающейся с течением времени. Для этого, во-первых, производится диспергирование жидкостей до состояний мельчайших капель. Во-вторых, в одну из смешиваемых жидкостей вводят эмульгаторы, которые стабилизируют смесь, не давая ей расслоиться.

Кроме механического смешивания применяют метод конденсации, то есть выделения жидкой фазы (в виде капель) из пересыщенных паров, расплавов, растворов.

**Эмульгаторы**

Эмульгаторы выполняют в процессах эмульгирования двойную роль. Они стабилизируют эмульсию и способствуют быстрейшему раздроблению жидкостей на мелкие капельки.

В качестве эмульгаторов используются:

* ПАВ (поверхностно-активные вещества);
* Cоли высших жирных кислот (мыла);
* Производные глицерина, фосфатиды, спирты, простые эфиры и др.;
* Твердые гидрофильные порошкообразные реагенты;
* Некоторые синтетические полимеры, например, метилцеллюлоза;
* Натуральные белковые коллоиды, такие как лецитин, ланолин, агар, желатин, хитозан, пектин, отвар мыльного корня, желток и белок сырого яйца.

Особенно популярны в промышленности различные ПАВ. Их молекулы содержат гидрофильные и гидрофобные компоненты (водоотталкивающие и притягивающие воду), выполняющие роль «посредника» между каплями несмешивающихся жидкостей. При этом они снижают поверхностное натяжение на границе раздела сред, уменьшая усилия, необходимые для приготовления эмульсии и сохраняя эмульсию в этом состоянии долгое время.

К эмульгаторам, в какой-то мере, можно отнести и пенообразователи, и пеностабилизаторы. Эти вещества позволяют смешивать и сохранять смеси газообразных, жидких и твердых сред.

**Поверхностно - активное вещество (эмульгатор). Классификация ПАВ.**

Одним из крупнотоннажных направлений нефтехимической промышленности является производство поверхностно-активных веществ (ПАВ). В 2020 году в России было произведено 263 524,6 тонн веществ органических поверхностно-активных, кроме мыла, что на 9,8% больше объема производства предыдущего года. Лидером производства веществ органических поверхностно-активных, кроме мыла в (тонн) от общего произведенного объема за 2020 год стал Приволжский федеральный округ с долей около 63,9% [1]. Мировое производство ПАВ составляет 2-3 кг на душу населения в год. Примерно 37% производимых ПАВ используется для бытовой химии, остальное в промышленности и сельском хозяйстве. Одновременно с ежегодным ростом производства ПАВ соотношение между их применением в быту и промышленности изменяется в пользу промышленности [2, 3].

ПАВ находят применение более чем в 100 отраслях народного хозяйства. Большая часть производимых ПАВ используется в составе моющих средств, в производстве тканей и изделий на основе синтетических и природных волокон. К крупным потребителям ПАВ относятся нефтяная, химическая промышленность, промышленность строительных материалов и ряд других [4].

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – это химические соединения, которые концентрируясь (адсорбируясь) на поверхности раздела фаз, вызывают снижение ее свободной поверхностной энергии GS и соответственно поверхностное натяжение.

Основной количественной характеристикой ПАВ является поверхностная активность – способность вещества снижать поверхностное натяжение на границе раздела фаз 1,2.

Наряду со способностью адсорбироваться на межфазной поверхности многие ПАВ обладают еще одним важным свойством – при определенных условиях в растворах ПАВ образуются самоорганизованные наноагрегаты (мицеллы), состоящие из десятков и сотен молекул или ионов ПАВ.

Благодаря этим свойствам ПАВ используют очень широко во многих технологических процессах и в быту. Типичные ПАВ - органические соединения дифильного строения, т. е. содержащие в молекуле атомные группы, сильно различающиеся по интенсивности взаимодействия с окружающей средой (в наиболее практически важном случае - водой). Так, в молекулах ПАВ имеются один или несколько углеводородных радикалов, составляющих олео-, или липофильную часть (она же - гидрофобная часть молекулы), и одна или несколько полярных групп - гидрофильная часть Слабо взаимодействующие с водой гидрофобные группы определяют стремление молекулы к переходу из водной (полярной) среды в углеводородную (неполярную). Гидрофильные группы, наоборот, удерживают молекулу в полярной среде или, если молекула ПАВ находится в углеводородной жидкости, определяют её стремление к переходу в полярную среду. Т.о. поверхностная активность ПАВ растворённых в неполярных жидкостях, обусловлена гидрофильными группами, а растворённых в воде - гидрофобными радикалами [5].

**Классификация ПАВ.**

ПАВ делят по характеру адсорбции и механизму стабилизации дисперсных систем на два типа: низкомолекулярные соединения дифильного характера, имеющие гидрофильную группу («голову») и гидрофобный «хвост»; высокомолекулярные соединения, в которых чередуются гидрофильные и гидрофобные группы, равномерно распределенные по всей длине полимерной цепи.

Доминирующее положение среди ПАВ, производимых в мире, занимают наиболее дешевые и достатиочно универсальные анионные ПАВ, на долю которых приходится не менее 60% мирового производства; до 30% составляют неионогенные ПАВ, около 10 % - катионные и лишь доли процента –синтетические амфолитные ПАВ [3, 6].

По типу гидрофильных групп ПАВ делят на ионные, или ионогенные, и неионные, или неионогенные. Ионные ПАВ диссоциируют в воде на ионы, одни из которых обладают адсорбционной (поверхностной) активностью, другие (противоионы) - адсорбционно неактивны. Если адсорбционно активны анионы, ПАВ называются анионными, или анионоактивными, в противоположном случае - катионными, или катионо-активными.

**Анионные ПАВ** - органические кислоты и их соли, катионные - основания, обычно амины различной степени замещения, и их соли. Некоторые ПАВ содержат и кислотные, и основные группы. В зависимости от условий они проявляют свойства или анионных, или катионных ПАВ поэтому их называют амфотерными или амфолитными ПАВ.

Анионные ПАВ. К этому типу ПАВ относятся следующие соединения. Карбоновые соединения (RCOOH) и их соли (мыла) (RCOOM, где R – углеводородный алифатический радикал с числом атомов углерода 12-18, М – Na+ , K+ или NH4 + . Мыла карбоновых кислот обладают хорошим моющим действием только в щелочной среде, среде (из-за малорастворимых жирных кислот и в жесткой воде (из-за образования нерастворимых кальциевых и магниевых солей) моющая способность этих ПАВ низка. Для мыл характерная полная биоразлагаемость.

Алкиларисульфонаты – соли ароматических сульфокислот RArSO3M. Являются наиболее дешевыми и легкодоступными из синтетических ПАВ. Проявляют хорошее моющее действие в щелочной и кислой средах и в жесткой воде. Алкилсульфонаты RSO3M (R обычно С10 – С20). Эти ПАВ обладают хорошим моющим действием в условиях различных рН, в жесткой воде и хорошей биоразлагаемостью. Алкилсульфаты ROSO3M (R обычно С10 – С18).

Алкилсульфаты относятся к ПАВ III поколения – соединениям биохимически разлагающимся до неорганических фрагментов (вода, диокисид углерода и сульфат натрия). Первичные алкилсульфаты 𝑅𝑂𝑆𝑂2𝑂𝑁𝑎 получают сульфатированием первичных высших жирных спиртов и последующей нейтрализацией образовавшегося сульфоэфира едким натром. Спирты, необходимые для этой цели, в настоящее время получают в основном синтетическими методами — восстановлением эфиров высших жирных кислот, оксосинтезом, получением из этилена через алюминийорганические соединения (альфол-процесс).

Вторичные алкилсульфаты 𝑅𝐶𝐻(𝐶𝐻3)𝑂𝑆𝑂2𝑂𝑁𝑎 получают взаимодействием серной кислоты с a -олефинами или сульфатированием вторичных высших спиртов. Среди алкилсульфатов максимальной моющей способностью обладают только те, которые получают из первичных спиртов с неразветвленной цепью углеродных атомов. Моющая способность алкилсульфатов снижается с перемещением сульфатной группы вглубь молекулы и с разветвлением углеродной цепи. Поэтому наиболее подходящим сырьем для производства алкилсульфатов являются первичные спирты и α-олефины C12-С18 с прямой углеродной цепью.

Массовому применению алкилсульфатов в синтетических моющих средствах препятствует их несколько более высокая стоимость по сравнению алкилбензолсульфонатами. Однако, по мере усовершенствования процессов производства исходного сырья (первичных и вторичных спиртов и α- олефинов) это препятствие будет устранено.

Катионные ПАВ К ним относятся алифатические и ароматические амины (первичные, вторичные и третичные) и их соли, чеитвертичные аммониевые основания и их соли, четвертичные фосфониевые и третичные сульфониевые основания, пиридиновые соединения.

Катионные ПАВ хорошо адсорбируются на отрицатиельно заряженных поверхностях (металлы, многие минералы, пластики, клеточные мембраны, цемент). Поэтому их используют в качестве антистатиков, ингибиторов коррозии, бактерицидных, фунгицидивных, дезинфицирующих средств. Четвертичные аммониевые соединения при длине углеводородного радикала C12 –C18, обладают бактекрицидным действием, причем они приблизительно в 300 раз эффективнее фенола по губительному действию в отношении микроорганизмов. Соли пиридиновых оснований используют в текстильной промышленности как закрепители при окрашивании, а также для отделки готовых тканей.

Амфотерные, или амфолитные ПАВ – вещества, в составе молекул которых присутствует и кислотная, и основная группы. Они могут быть получены из анионоактивных введением в них аминогрупп или из катионоактивных введением кислотных. При pH природные вещества, например, аминокислоты и белки. Их синтетическими аналогами являются алкиламинокислоты, например, цетиламиноуксусная кислота C16H33NH – СН2СООН и др. Производство таких веществ достаточно сложно и дорого, и они не получили пока широкого распространения в качестве ПАВ.

Неионогенные ПАВ – наиболее перспективный и быстро развивающийся класс ПАВ. Не менее 80 –90 % таких ПАВ получают присоединением окиси этилена к спиртам, алкилфенолам, карбоновым кислотам, аминам и др. Полиоксиэтиленовые эфиры алкилфенолов – самая многочисленная и распространенная группа неионогенных ПАВ. Например, R-С6 Н4O(CH2CH2O)nH, где п – среднее число оксиэтильных групп.

Полиоксиэтиленовые эфиры спиртов RO(CH2CH2O)nH приобрели важное промышленное значение, т. к. они легко поддаются биохимическому разложению в природных условиях. В качестве компонентов моющих средств неионогенные ПАВ не уступают высококачественным мылам, причем применяются в воде любой жесткости, с различным значением pH. Они обладают обычно низкой пенообразующей способностью и могут использоваться как пеногасители [7, 8].

Все ПАВ по физико-химическому механизму действия в растворяющей среде делят на две категории (по классификации П.А. Ребиндера). К одной категории относятся мицеллообразующие ПАВ (коллоидно-растворимые ПАВ), к другой - не образующие мицелл (истинно растворимые). В растворах мицеллообразующих ПАВ выше критической концентрации мицеллообразования (ККМ) возникают коллоидные частицы (мицеллы), состоящие из десятков или сотен молекул (ионов). Мицеллы обратимо распадаются на отдельные молекулы или ионы при разбавлении раствора (точнее, коллоидной дисперсии) до концентрации ниже ККМ.

Таким образом, растворы мицеллообразующих ПАВ занимают промежуточное положение между истинными (молекулярными) и коллоидными растворами (золями), поэтому их часто называют полуколлоидными системами. К мицеллообразующим ПАВ относят все моющие вещества, эмульгаторы, смачиватели, диспергаторы и др. Истинно растворимые ПАВ не проявляют стабилизирующих свойств и являются слабыми смачивателями и слабыми пенообразователями.

**Применение ПАВ**

ПАВ находят широкое применение в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, быту. Важнейшие области потребления ПАВ: производство мыл и моющих средств для технических и санитарногигиенических нужд; текстильно-вспомогательных веществ, т. е. веществ, используемых для обработки тканей и подготовки сырья для них; лакокрасочной продукции. ПАВ используют во многих технологических процессах химических, нефтехимических, химико-фармацевтических, пищевой промышленности.

В настоящее время 80% производимых в мире ПАВ применяется в промышленности синтетических моющих средств (СМС). СМС имеют большое значение в удовлетворении потребностей людей, а также используются в различных отраслях промышленности. С развитием производства и культуры быта, потребности в синтетических моющих средствах и их выпуск растут быстрыми темпами. В настоящее время в России ежегодно производится около 1,7 млн тонн продукции, на экспорт приходится 0,2 млн тонн, по импорту поступает 0,1 млн тонн [2].

Развитие рынка синтетических моющих средств происходит вместе с ужесточением требований к их экологическим характеристикам. СМС представляют собой смеси поверхностно-активных веществ с вспомогательными компонентами и наполнителями (содой, фосфатами, сульфатом натрия), усиливающими моющее действие основных компонентов. ПАВ используют как для стабилизации, так и для разрушения дисперсных систем - эмульсий, суспензий, пен, для понижения прочности обрабатываемых поверхностей, для борьбы с коррозией, защиты окружающей среды и т.д. Среди поверхностно-активных веществ, которые выпускаются в настоящее время промышленностью и применяются в качестве синтетических моющих, наибольшее распространение получили анионоактивные вещества, выработка которых достигает 68% от производства всех синтетических моющих веществ. Производство неионогенных моющих веществ заметно меньше - всего 29% общего количества, однако в настоящее время выпуск их (особенно полиоксиэтилированных спиртов) заметно возрастает [7].

По масштабу производства среди анионоактивных синтетических моющих веществ на первом месте находятся алкиларилсульфонаты. СМС, полученные на основе алкиларилсульфонатов, в водоемах плохо биохимически окисляются, накапливаются и в результате нарушается кислородный обмен, появляется пена. К ПАВ III поколения (соединения полностью биохимически разлагающиеся до неорганических соединений (вода, диоксид углерода и сульфат натрия) относятся алкилсульфаты первичных (первичные AlkCH2OSO2ONa) и вторичных (вторичные Alk(Alk')CHOSO2ONa) спиртов, являющиеся солями сульфоэфиров, по объемам производства занимают второе место среди анионактивных ПАВ.

По моющим свойствам первичные алкилсульфаты относятся к числу лучших поверхностно-активных веществ, им уступают по качеству вторичные алкилсульфаты. Моющие средства на основе алкил сульфатов выпускают в виде жидких составов (с 20—40% активного вещества) или порошков. Их применяют для стирки одежды и тканей, мойки шерсти, различных изделий и т. д. В 2016 году в России объем производства ПАВ составил 405,052 тыс. тонн, из них было произведено 23,403 тыс. тонн алкилсульфата [1, 9].

Сегодня различные авторы приводят применение ПАВ в самых различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. В настоящее время ПАВ применяются для интенсификации различных технологических процессов в нефтяной промышленности. Особенностью современного развития нефтяной промышленности является существенное изменение структуры запасов в сторону увеличения доли трудноизвлекаемых нефтей. ПАВ используют при бурении скважин для более полного извлечения нефти из пластов (увеличения нефтеотдачи), ускорения темпов разработки нефтяных месторождений, при подготовке нефти, для борьбы с коррозией нефтяного оборудования, отложениями парафинов и солей, загрязнением окружающей среды, для уменьшения гидравлических потерь при транспорте нефти и т.д. Широкое использование оксиэтилированных ПАВ связано с увеличением добычи нефти: их вводят в растворы, закачиваемые в скважины при так называемом законтурном заводнении, что способствует оттеснению нефти из пласта к промысловой скважине. Некоторые процессы, например деэмульгирование и обессоливание, вообще нельзя осуществлять без применения ПАВ [9-14].

Весьма перспективным направлением интенсификации процесса получения окисленных битумов и улучшения их качества является введение в систему ПАВ, которые являются модифицирующими добавками, изменяющими реакционную способность исходного сырья, а также физико-химические свойства окисленных битумов. Количество ПАВ, как правило, не превышает десятых долей процента. Их применение не связано со значительными материальными затратами и достаточно просто в аппаратурном оформлении, но окисление сырья, активированного добавками ПАВ протекает более эффективно. Поэтому использование ПАВ в процессах переработки нефтяных остатков является перспективным направлением в технологии, позволяющим интенсифицировать различные технологические процессы и повысить качество товарных нефтепродуктов, в частности, нефтяных битумов [15, 16].

Модифицирующие добавки ПАВ позволяют улучшить эксплуатационные свойства битумов, а также условия смачивания поверхности минеральных материалов битумом, образуя абсорбционный слой, обращенный полярными группами к поверхности минерального материала и углеводородной частью в объем битума. Это уменьшает температуру и время получения однородной смеси, а также значительно снижает интенсивность процессов старения битума. Также за счет применения ПАВ на границе раздела фаз минеральный материал-битум может образоваться мономолекулярный хемосорбционный слой, способствующий образованию прочной связи между ними. Чаще всего для этих целей применяют катионные ПАВ, реже – анионные и амфолитные добавки [17- 19].

В различных технологических процессах большое внимание уделяется вопросам улучшения эксплуатационных свойств смазочных материалов и продления срока их службы. Традиционным путем повышения качества минеральных масел является применение присадок. Большинство используемых присадок по своему химическому строению и свойствам является маслорастворимыми поверхностно-активными веществами. Такие детергентно-диспергирующие присадки обеспечивают необходимую чистоту деталей в узлах трения за счет придания маслу моющих свойств [20].

**Общие сведения об битумных эмульсиях - состав, структура, свойства, требования**

**Битумная эмульсия** (эмульгированный жидкий битум) — искусственный строительный материал получаемый путём смешения в специальных установках водного раствора эмульгатора и нефтяного битума. Представляет собой однородную текучую (с консистенцией молока) жидкость коричневого или тёмно-коричневого цвета.

Битумные эмульсии применяемые в дорожно-строительной отрасли являются, как правило, эмульсиями прямого типа («масло в воде» — М/В), в которых битум (от 30 до 70 %) в виде мельчайших частиц равномерно распределен в воде. В эмульсиях обратного типа («вода в масле» — В/М), вода диспергирована в битуме (массовая доля которого составляет от 70 до 80 %).

**Компонентный состав эмульгированного битума**

Типовой состав битумной дорожной эмульсии включает 5 основных компонентов:

1. Битум
2. Вода
3. Эмульгатор
4. Стабилизатор
5. Кислота

1. Битум (массовая доля в эмульсии от 30 до 70 %). В большинстве случаев для приготовления эмульгированного битума применяется вязкий нефтяной дорожный битум различных марок (БНД 90/130, БНД 130/200 и др.). С целью повышения физико-механических свойств битумной эмульсии вместо обычного нефтяного битума может использоваться полимерно-битумное вяжущее (ПБВ), которое имеет более высокие эксплуатационные и физико-механические показатели по сравнению с обычным битумом.

2. Вода (массовая доля в эмульсии от 15 до 70 %).

3. Эмульгатор (массовая доля в эмульсии от 0,15 до 3 %). Эмульгаторы — вещества, обладающие способностью придавать битумной эмульсии стабильность (препятствовать ее распаду). В качестве эмульгаторов используются поверхностно-активные вещества (ПАВ) растворимые в обеих фазах эмульсии (воде и битуме) или в одной из них (только в воде или только в битуме). Чаще всего при изготовлении эмульгированного битума применяются именно водорастворимые эмульгаторы, к которым относятся так называемые анионактивные и катионактивные ПАВ. В зависимости от того, какой из этих двух типов ПАВ применялся при приготовлении битумной эмульсии, она будет называться анионной (ЭБА — эмульсия битумная анионная) или катионной (ЭБК — эмульсия битумная катионная). В более редких случаях вместо поверхностно-активных веществ могут применяться твердые высокодисперсные минеральные порошки (глины, окислы, карбонаты, сульфаты, цемент, сажа и др.).

4. Стабилизатор (массовая доля в эмульсии от 0,05 до 0,5 %). В качестве стабилизатора используется водный раствор хлорида кальция или другие растворимые соли (применяется только в катионных эмульсиях).

5. Кислота (массовая доля в эмульсии от 0,5 до 3 %). Этот компонент необходим для повышения стабильности эмульсии. В большинстве случаев применяется соляная кислота (реже уксусная или ортофосфорная).

В качестве дополнительных компонентов в состав битумной эмульсии могут включаться различные растворители, разжижители, полимеры, а также модифицирующие добавки.

**Технические требования**

Эмульсии должны соответствовать требованиям настоящего стандарта и изготавливаться по технологическому регламенту и рецептуре производителя, утвержденным в установленном порядке. Составы битумных эмульсий разрабатывают в соответствии с ГОСТ Р 58952.2.

**Требования к эмульсиям**

Катионные эмульсии, в зависимости от марки, должны соответствовать общим или специальным (при наличии информации об области применения) нормам, указанным в таблицах 1-6. Анионные эмульсии, в зависимости от марки, должны соответствовать нормам, указанным в таблицах.

**Требования к материалам**

Для производства эмульсий допускается использовать следующие материалы: - битумные вяжущие; - вода; - эмульгаторы; - адгезионные добавки; - стабилизаторы; - кислоты или щелочи; - латекс; - разжижители битумных вяжущих.

**Требования к битумным вяжущим**

Для приготовления эмульсий применяют вязкие дорожные нефтяные битумы по ГОСТ 33133, ГОСТ Р 58829, ГОСТ Р 58400.1 и полимерно-битумные вяжущие по ГОСТ Р 52056.

Свойства используемого битумного вяжущего выбирают с учетом производственных требований, транспортных нагрузок, применяемых материалов и климатических условий.

Марка используемых битумных вяжущих должна соответствовать климатическим условиям района применения.

**Требования к воде**

Для производства эмульсий необходимо использовать воду с жесткостью по ГОСТ 31954 не более 8 мгэкв/л. Вода не должна содержать нерастворенных частиц и осадка.

**Требования к эмульгаторам**

В качестве эмульгаторов применяют ПАВ анионного или катионного типа, соответствующие техническим требованиям, установленным предприятием-изготовителем. Эмульгатор должен соответствовать виду, классу и типу приготавливаемой эмульсии и обеспечивать ее необходимые свойства.

Эмульгатор должен быть удобным в употреблении, при прочих равных условиях предпочтительным должен быть эмульгатор, не требующий специального дополнительного оборудования для использования. Выбор эмульгатора необходимо осуществлять на основе результатов подбора составов эмульсий.

**Выводы (Conclusions)**

Водо-битумные эмульсии являются эффективным и экологически безопасным материалом для различных строительных приложений. Их использование позволяет улучшить качество работ, снизить затраты и увеличить срок службы конструкций. Однако для достижения оптимальных результатов необходимо учитывать их характеристики и условия применения.

Нефтяной битум обладает высокой прочностью, водоотталкивающими свойствами и устойчивостью к воздействию атмосферных факторов, что делает его незаменимым в строительстве и ремонте. Тем не менее, необходимо учитывать его недостатки, такие как чувствительность к температурным колебаниям и потенциальное негативное воздействие на окружающую среду.

Современные технологии переработки и применения нефтяного битума позволяют значительно улучшить его характеристики и снизить негативное воздействие на экологию. Важно продолжать исследования и разработки в этой области, чтобы обеспечить более эффективное и безопасное использование нефтяного битума в строительстве и других отраслях.

**Библиография (References)**

1. Г. К. Бикмухаметова, Е. А. Емельянычева, А. И. Абдуллин, Р. И. Сибгатуллина;

2. В. М. Бабаев, Г. Ю. Климентова, В. Ю. Маврин РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ЭМУЛЬГАТОРОВ ВОДО-БИТУМНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

3. Л.М. Мансураева, И.И. Юсупова, С.А. Булаев

4. Грудников И.Б. Производство нефтяных битумов. - М.: Химия, 1983. – с. 6-7.

5. Кемалов А.Ф., Кемалов Р.А., Ганиева Т.Ф. Производство окисленных битумов. – Казань, 2009, С. 5-6, 9-10.

6. Абдуллин А.И., Емельянычева Е.А., Прокопий А.М. Улучшенное битумно-полимерно вяжущее / Вестник КНИТУ. - №12. – Казань: Издательство КНИТУ, 2012 –с. 182-185.

7. Охотникова Е.С., Ганеева Ю.М., Юсупова Т.Н. Разработка составов устойчивых водо-топливных эмульсий на основе природных битумов // Технологии нефти и газа. – 2008 – №2. – с.22

8. Абрамзон, А. А. Эмульсии / Абрамзон А.А. - Л.: Химия, 1972. - 124 с.

9. Петухов, И.Н. Дорожные эмульсии. В 3 т. Т.1 / И.Н. Петухов. - Минск.: ЕАДЭ, 1997. - 230 с.

10. Позднышев, Г. Н. Стабилизация и разрушение нефтяных эмульсий / Г. Н. Позднышев. - М. : Недра, 1982. - 221 с.

11. Гельфанд, С.И. Изготовление дорожных битумных эмульсий / С.И. Гельфанд, Н.А. Евдокимов. -М.: Дориздат, 1943. - 96 с.

12. Lauby A. Emulsions: les evolutions en marche // RGRA. - 2002. - № 809. - Р. 24-25.

13. Caracterisation de la stabilite des emulsions opaques et concentrees dans l'industrie petroliere / Ch. Dalmazzone // RGRA. - 2002. - № 809. - Р. 44-49.

14. Идрисов, М.Р. Создание адгезионной добавки к щебеночно-мастичному асфальтобетону / М.Р. Идрисов, Р.А. Кемалов, А.Ф. Кемалов // Вестник Казан. технол. ун-та. - 2011. - Т. 14, №9. -С. 226-229

15. Мурафа, А.В. Новые анионактивные битумные эмульсии для дорожных кровельных и гидроизоляционных покрытий / А.В. Мурафа // Строительные материалы. -2005. - № 11- С.106

16. Идрисов, М.Р. Битумные эмульсии в дорожном строительстве / А. И. Абдуллин, М.Р. Идрисов // Вестник Казан. технол. ун-та. - 2011. - Т. 14, №23. - С. 124-129

17. Абдуллин, А.И. Универсальные водо-битумные эмульсии: дисс. кан. тех. наук: 02.00.11: защищена 16.06.05 / Абдуллин Аяз Илнурович. - К., 2005. - 129 с.

18. Ланге, К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение / К. Р. Ланге. под науч. ред. Л. П. Зайченко - СПб: Профессия, 2004. - 249 с.

19. Халиулина Лилия Эльверовна - инженер II категории, Инженерно-технический центр - филиал ООО «Газпром добыча Ямбург», г. Новый Уренгой

20. Г.К. Бикмухаметова Современные методы физико - химического анализа при исследовании свойств битумных систем Вестник технологического Университета. Т. 20, № 3, 2017 г.

21. Шарибаев А.Н., Шарибаев Р.Н., Абдулазизов Б.Т., Тохиржонова М.Р., Возникновение обучения с подкреплением. Мировая наука, Том 75, №6, 2023, р.

22. В. М. Бабаев, Г. Ю. Климентова, В. Ю. Маврин

23. Дьячкова Т.П. Химическая технология органических веществ. Ч.2/Учебное пособие под. ред. З.Г. Черновой. Тамбов: ТГТУ, 2008. - С.36.

24. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. Л.: Химия, 2003. - 362с.

25. Ахназарова С., Солангы С. Поверхностно – активные вещества. Теория и практика применения, 2012. – С 31- 37.

26. Волков В. А. Поверхностно-активные вещества в моющих средствах и усилителях химической очистки. М.: Легпромбытиздат. 1985. 200 с.

27. Ланге К. Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение. Под науч. ред. Л. П. Зайченко. Справочник. СПб.: Издательство «Профессия». 2007. 240 с.

28. Барковский Д.В., аспирант, Высоцкая М.А., канд. техн. наук Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

29. Соснин В.А., Межерицкий С.Э., Печенев Ю.Г. Состояние и перспективы развития промышленных взрывчатых веществ в России и за рубежом. Горная промышленность. 2017;(5):60–64.

30. Колганов Е.В., Сосин В.А. Эмульсионные взрывчатые вещества. Кн. 2: Технология и безопасность. Дзержинск: Кристалл; 2009.

31. Maindarkar S., Dubbelboer A., Meuldijk J., Hoogland H., Henson M. Prediction of emulsion drop size distributions in colloid mills. Chemical Engineering Science. 2014;118:114–125. DOI:10.1016/j.ces.2014.07.032

32. Наумова Г.М. Поверхностно-активные вещества для защитных парафиновых покрытий / Наумова Г.М., Э.А.Александрова, Хадисова Ж.Т., Мусаева Б.В. Труды КубГАУ. - 2010.-№1(22).-С.67-70.

33. Нуриев Д.В. Исследование свойств поверхностно-активных веществ (ПАВ) с целью применения в методах увеличения нефтеотдачи пластов// Институт «ТатНИПИнефть». - С. 1-6.

34. Г. К. Бикмухаметова - магистрант гр. 415-М41 каф. ХТПНГ КНИТУ; Е. А. Емельянычева - канд. техн. наук, доцент той же кафедры; А. И. Абдуллин - канд. техн. наук, доцент той же кафедры, bashkircevan@mail.ru; Р. И. Сибгатуллина -магистрант гр. 415-М41 КНИТУ.

35. Грудников И.Б. Производство нефтяных битумов. - М.: Химия, 1983. - с. 6-7.

36. Гун Р.Б. Нефтяные битумы. - М.: Химия, 1973. - С. 1012.

37. Сибгатуллина Л.Ш. - кандидат технических наук

38. В.Б.Балабанов1, Д.А.Милицын2

39. Алферов В.И. Повышение эксплуатационных свойств слоев износа и качества ремонтных работ на основе катион активных битумных эмульсий: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж: ВГАСУ, 2001.

40. Горелышева Л. А. Битумные эмульсии в дорожном строительстве. Обзорная информация. Информационный центр по автомобильным дорогам. М.: 2003. Вып.7.

41. Д.Б. Макаров, А.В. Мурафа, Л.Ш. Сибгатуллина, В.Г. Хозин

42. Дорожные эмульсии: энциклопедия в 3-х томах / Под. ред. И. Н. Петухова, Евразийская ассоциация дорожных эмульсий БЛИБ. - Минск, 1998.

43. Макаров Д.Б., Мурафа А.В., Рахматуллина А.П., Хозин

44. Битумная эмульсия: Патент на изобретение №2185878, 27 июля 2002 года / Патентообладатели: Хозин В.Г., Макаров Д.Б. // Изобретения: Бюллетень, №21, 2002. - С. 277-281.

45. Лионель Мавунгу Макая, Любовь Сергеевна Зарапина, Константин Анатольевич Андрианов, Анатолий Федорович Зубков Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия