

Ступак С. В., канд. хим. наук; Капустин В. М., д-р техн. наук  
(Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Москва, Россия)  
E-mail: SVStupak-Gubkin@mail.ru

# ЭМУЛЬГИРОВАНИЕ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ И ВЯЖУЩИХ КАК БАЗОВАЯ СМЕСЬ ДЛЯ БИТУМНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

**Ключевые слова:** гудроны; битумы нефтяные; лабораторно-пилотный смеситель с большим усилием сдвига модели AX5; битумные эмульсии; лабораторный встряхиватель-шейкер Vibromatic; тестирование по ГОСТ 31740–2012, ГОСТ Р 58952.9, ГОСТ Р 58952.11.

Представлена возможность получать на лабораторно-пилотном смесителе с большим усилием сдвига модели AX5 базовые эмульсионные смеси из гудронов и нефтяных битумов различной консистенции. Полученные эмульсионные смеси протестированы по ГОСТ 31740–2012, ГОСТ Р 58952.9, ГОСТ Р 58952.11. Выявлена нелинейная зависимость консистенции нефтяных образцов от времени раскисаваемости полученных эмульсий. Показано, что использование эмульсионных сит различных конструкций позволяет получать эмульсии с разным временем хранения как в статических, так и в динамических условиях.

УДК 665.775.7

DOI: 10.32758/2782-3040-2024-0-0-00-00

## Введение

В настоящее время в РФ ведется интенсивное дорожное строительство. В 2023 г. в стране было построено и отремонтировано 31 тыс. км<sup>2</sup> автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием. До конца 2024 г. должно завершиться строительство трассы А-289 (Краснодар — Крымский мост), а до конца 2026 г. планируется полностью достроить федеральную трассу М-12 (Москва — Казань — Екатеринбург — Тюмень). До конца 2027 г. в РФ запланировано проложить и отремонтировать до 4000 км<sup>2</sup> федеральных автодорог с асфальтобетонным покрытием. Также строится большое количество дорог регионального значения.

Все это требует нарастить объемы производства высококачественного нефтяного дорожного битума (как обычного, так и модифицированного), битумных эмульсий, битумных мастик и т. д.

Постоянно обновляется нормативно-техническая документация по качеству, предъявляемая ко всем типам нефтяных вяжущих (битумы, эмульсии, мастики и т. д.).

Производители нефтепродуктов вынуждены создавать собственные научные центры, чтобы проводить научно-исследовательские работы в поисках инновационных технологий производства и изучения свойств всех видов нефтяных вяжущих и их производных.

Все большую актуальность при ремонте и строительстве дорог с асфальтобетонным покрытием приобретают битумные эмульсии на водной основе

(в перспективе их можно использовать и при строительстве). Такие битумные эмульсии:

- выполняют сразу две функции: склеивающую (вяжущую) и защитную;
- обеспечивают большую адгезионную способность ко всем типам поверхностей, чем у стандартных нефтяных вяжущих (включая модифицированный битум);
- удовлетворяют экологическим требованиям (так, в ряде европейских стран запрещены к применению битумные эмульсии, требующие применения органических растворителей);
- реализуют технологические и экономические функции (нет нужды в нагреве или применении с влажными и холодными поверхностями);
- обеспечивают пожаробезопасность.

Кроме области строительства и ремонта автомагистралей с асфальтобетонным покрытием, нефтяные эмульсии также используют при гидроизоляции любых поверхностей фундаментов, сооружений и ремонте мягких кровель.

Такие эмульсии применяют как основу при производстве тампонажного состава, текстильных материалов, бумаги, красок, пигментов и др., а также (в некоторых странах) даже в качестве котельного топлива.

Перечисленные достоинства битумных эмульсий на водной основе, помноженные на широкий спектр их применения, делают актуальной разработку инновационных технологий их производства, предполагающую, помимо прочего, появление новых составов (несмотря на уже традиционно

известные марки как катионных, так и анионных битумных эмульсий российских производителей). В работах представлены технологии получения на основе стандартных и модифицированных битумов (термоэластопластами и другими модификаторами) битумных эмульсий и их свойств [1–20].

Основные задачи исследований в данном направлении, выделяемые в контексте введенных против нашей страны запретительных санкций (запрещен ввоз как технологического оборудования для нефтепереработки, так и всего перечня эмульгаторов и всех видов термоэластопластов) на базе национальных продуктов, следующие:

- разработать технологию производства базовой водно-нефтяной смеси для битумных эмульсий в рамках дорожного, кровельного и других применений;
- разработать составы эмульгаторов как для катионной, так и для анионной эмульсий;
- синтезировать новые селективные эмульгаторы для конкретных составов вяжущих и воды с определенными свойствами;
- предложить технологию введения новых эмульгаторов в базовую смесь водно-нефтяной эмульсии с учетом применения инновационных смесителей российского производства;
- ориентироваться на действующие стандарты в РФ к требуемому качеству битумных эмульсий [21–30].

Главный функциональный узел установки при производстве любых видов эмульсий — это коллоидная мельница (colloid mill), обеспечивающая диспергирование нефтепродукта (высоковязкого нефтяного остатка, дорожного битума и т. д.) в воду и последующее смешивание всех компонентов эмульсии. Именно коллоидная мельница с ее техническими параметрами (скорость вращения вала ротора, формой ротор-статорной насадки) обеспечивает полноценное смешивание двух не смешивающихся жидкостей, достигая состояния классической эмульсии.

Задача нашего исследования состояла, во-первых, в получении нефтяных водных эмульсий (как базовых составов) в лабораторных условиях для последующего использования при создании новых комбинаций различных компонентов (рецептур) битумных эмульсий, а во-вторых — в изучении свойств компонентов при создании новых материалов с определенными свойствами.

Для этого нам требовалась лабораторная коллоидная мельница — настольная и безопасная в работе модель с набором различных статорных головок, простая в промывке и замене различных роторно-статорных узлов и доступная по цене.

К сожалению, в настоящее время (как и раньше) на рынке отсутствует предложение по лабораторным коллоидным мельницам с необходимыми для исследователей условиями, соблюдаемыми при создании нефтяных эмульсий на водной основе. Все научные публикации, в которых упоминается работа коллоидных мельниц с нефтепродуктами, ориентируют нас на промышленные модели. Так, все разработки, посвященные созданию и контролю

качества новых составов битумных эмульсий на водной основе, осуществлялись именно на промышленных моделях. Эта практика представляет собой чрезмерно дорогой способ проведения научно-поисковых работ, не позволяющий проводить широкий спектр исследований.

#### Объекты и методы исследования

Как следствие, для проведения исследований нами был выбран лабораторно-пилотный смеситель с большим усилием сдвига модели (high shear mixer) модели AX5 с двумя специальными статорными эмульсионными экранами, служащими для получения эмульсий, удовлетворяющий всем нашим требованиям. Лабораторно-пилотный смеситель модели AX5 представлен на рис. 1.

Благодаря электродвигателю мощностью 750 Вт данная модель позволяет работать со скоростью вращения вала 6000 об/мин (по воде) и с образцами жидкости, имеющими максимальную вязкость 10 000 сантипуаз (сП). На цифровом дисплее отображается или скорость вращения ротора вала, или величина потребляемого тока. Задавать изначальную скорость вращения вала ротора можно ручкой реостата. Через порт USB смеситель соединяется с персональным компьютером; таким образом фиксируют и регистрируют или скорость вращения ротора, или потребляемый ток электрическим двигателем во времени.



Рис. 1. Лабораторно-пилотный смеситель модели AX5

Ротор в стандартном узле смешивания остается постоянным. Он представляет собой нож из высококачественной нержавеющей стали с четырьмя лопастями индивидуальной формы, имеющими тонкую заточку. Статор в данном случае — это специальные эмульсионные экраны (стандартный или тонкий). Разница в этих экранах — количество вертикальных сквозных прямоугольных зазоров (стандартный — 20, тонкий — 40). С точки зрения гидродинамики стандартный узел смешивания работает следующим образом: за счет высокой скорости вращения происходит втягивание жидкого образца в центр узла; далее центробежная сила отбрасывает образец к периферии узла смешивания и происходит механическое перемалывание. Это сопровождается сильным гидравлическим сдвигом, в результате которого образец выталкивается с высокой скоростью через отверстия статора к стенкам емкости. Эффект от выброса образца в горизонтальном (радиальном) направлении к стенкам сосуда и всасывания в узел смешивания новой порции создает постоянный циркулирующий процесс смешивания. В процессе работы стандартного узла смешивания на поверхности нет ненужных турбулентных движений. При этом наблюдается минимальное насыщение смеси воздухом.

Специальное программное обеспечение (ПО), разработанное именно для этой модели смесителя, делает его ценным и удобным инструментом при создании эмульсий, позволяя отображать на мониторе ПК график зависимости скорости вращения смесительного узла и потребляемой мощности (в амперах) во времени и сохранять получаемые корреляции для дальнейшего анализа эксперимента. Наличие такого ПО исключительно важно для определения момента окончания данного процесса эмульгирования и обеспечения повторяемости.

Реостат на рабочей панели позволяет задавать изначально требуемую скорость вращения вала ротора. Тахометр регистрирует скорость вращения вала ротора смесительного узла, и на цифровом дисплее отображается ее величина. Также на цифровом дисплее может отображаться величина потребляемого тока.

На начальном этапе, когда смесь неоднородна по вязкости во всем объеме емкости, наблюдается небольшой скачок скорости вращения вала ротора смесительного узла (или потребляемого тока), сигнализируя о начале перемешивания всей смеси. Далее осуществляется прогон всей смеси через стандартный узел с эмульсионным экраном, и к моменту завершения смешивания и достижения одинаковой вязкости во всем объеме происходит плавное уменьшение скорости вращения вала ротора и потребляемого тока электрическим мотором. Зависимость скорости вращения вала ротора или потребляемого тока от времени выходит на горизонтальную линию. Это свидетельствует о том, что процесс смешивания во всем объеме полностью завершился. Работу смесителя можно останавливать — для экономии времени экспериментального исследования и потребляемой электроэнергии.

На рис. 2 показан график, отображающийся на экране монитора ПК. Видны изменения потребляемого электрического тока мотором и скорости вращения вала ротора во времени при выполнении любого смешивания.

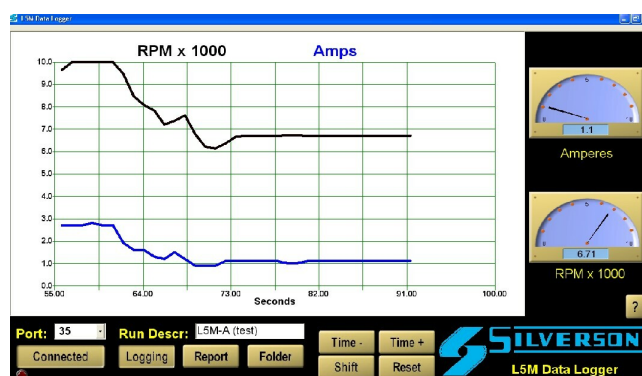


Рис. 2. Зависимость скорости вращения ротора двигателя и величины потребляемого тока от времени смешивания

Смешивание гудронов и битума с водой всегда осуществляли в одной емкости из высококачественной нержавеющей стали (внутренний диаметр 12 см, высота 30 см). Общий объем образца — 2 л. Во всех экспериментах готовили прямой тип эмульсии.

В гудроны, имеющие температуру 50 °С, добавляли воду, также температурой 50 °С. Затем осуществляли дополнительный нагрев до 95 °С и потом приступали к смешиванию.

В битумы, имеющие температуру 90 °С, добавляли воду, нагретую до температуры 50 °С. Далее осуществляли дополнительный нагрев всей смеси до 95 °С, после чего начиналось смешивание.

При всех экспериментах положение ручки реостата, регулирующую скорость вращения вала ротора смесителя AX5, изначально устанавливали на величину, соответствующую 3000 об/мин по чистой воде, и только потом включали вращение.

Смешивание осуществляли стандартным узлом смешивания с установленным туда в качестве статора стандартного (standard emulsor screen) или тонкого эмульсионного экрана (fine emulsor screen). Применение данных экранов требовалось для создания эмульсий. Экраны отличались разной толщиной стенок и общим количеством круглых отверстий. Стандартный эмульсионный экран имеет толщину стенки 1,05 мм (270 отверстий), а тонкий эмульсионный — 0,8 мм (300 отверстий).

Все эти процедуры позволили нам унифицировать процесс эмульсификации всех смесей, чтобы выявить влияние консистенции образцов, вида эмульсификационного экрана и концентрации воды на сам процесс смешивания и окончательное время получения готовой эмульсии.

Оценку качества полученных эмульсий проводили по ГОСТ 31740–2012 (органолептический контроль на однородность), ГОСТ Р 58952.9–2020 (определение на расслоение при хранении в течение 7 сут), ГОСТ Р 58952.11–2020 (определение на расслоение при встряхивании, 130 движений в минуту с амплитудой 8 мм в течение 2 ч).

Таблица 1

Структурно-механические свойства исследуемых образцов эмульсий

| №<br>п/п | Структурно-механические<br>показатели                             | Битум                             |                                 |                                                   | Гудрон                         |                                |
|----------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|          |                                                                   | Дорожный,<br>марка БНД<br>100/130 | Дорожный,<br>марка БНД<br>50/70 | Строительный,<br>марка БН 90/10<br>(ГОСТ 6617–76) | Марка СБ 20/40,<br>образец № 1 | Марка СБ 20/40,<br>образец № 2 |
| 1        | Глубина проникания иглы<br>при 0 °С 0,1 мм (ГОСТ 33136–2014)      | 36                                | 22                              | 0                                                 | 95                             | 85                             |
| 2        | Глубина проникания иглы<br>при 25 °С 0,1 мм,<br>(ГОСТ 33136–2014) | 119                               | 63                              | 14                                                | 410                            | 386                            |
| 3        | Температура размягчения, °С<br>(ГОСТ 33142–2014)                  | 44                                | 52                              | 102                                               | 26                             | 30                             |
| 4        | Растяжимость при 0 °С, мм<br>(ГОСТ 33138–2014)                    | 4,8                               | 4                               | 0                                                 | —                              | —                              |
| 5        | Растяжимость при 25 °С, мм<br>(ГОСТ 33138–2014)                   | 78                                | 64                              | 3,4                                               | —                              | —                              |

Эмульсии дополнительно исследовали на расслоение при стандартных условиях встряхивания в течение 3 и 4 ч и при 200 движениях в минуту с амплитудой 8 мм в течение 2 ч. Введенные нами дополнительные нагрузки при испытании (увеличенное время, большее количество движений) позволили наблюдать за поведением образцов при моделировании удлиненного периода транспортировки.

Для встряхивания образцов эмульсий объемом 200 мл нами был выбран специальный лабораторный встряхиватель-шейкер Vibromatic, позволяющий одновременно тестировать восемь колб (объемом 250 мл) с выбираемой частотой встряхивания от 100 до 950 в минуту, амплитудой 8 мм и программируемым таймером. Данный встряхиватель-шейкер полностью удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 58952.11 и позволяет проводить тестирование нефтяных эмульсий в более жестком режиме (т. е. значительно увеличивать частоту встряхивания и программируемое время).

В табл. 1 представлены структурно-механические свойства выбранных нами образцов для исследования.

На рис. 3 показаны зависимости скорости вращения вала ротора от времени полного смешивания для двух марок гудрона, а также 30 и 50 % воды (применяли стандартный эмульсионный экран).

Красная линия на рис. 3 обозначает гудрон (образец № 1) + 50 %масс. воды, синяя — гудрон (образец № 2) + 50 %масс. воды, зеленая — гудрон (образец № 1) + 30 %масс. воды, черная — гудрон (образец № 2) + 30 %масс. воды.

Мы видим, что время полного смешивания гудрона марки СБ 20/40 (образец № 1) с водой при концентрации 30 и 50 %масс. составляет соответственно 3,2 и 2,0 мин.

До полного смешивания гудрона марки СБ 20/40 (образец № 2) с водой при концентрации 30 и 50 %масс. время составляет соответственно 3,4 и 2,3 мин.

Было также выполнено смешивание описанных выше образцов с использованием тонкого эмульсионного экрана.

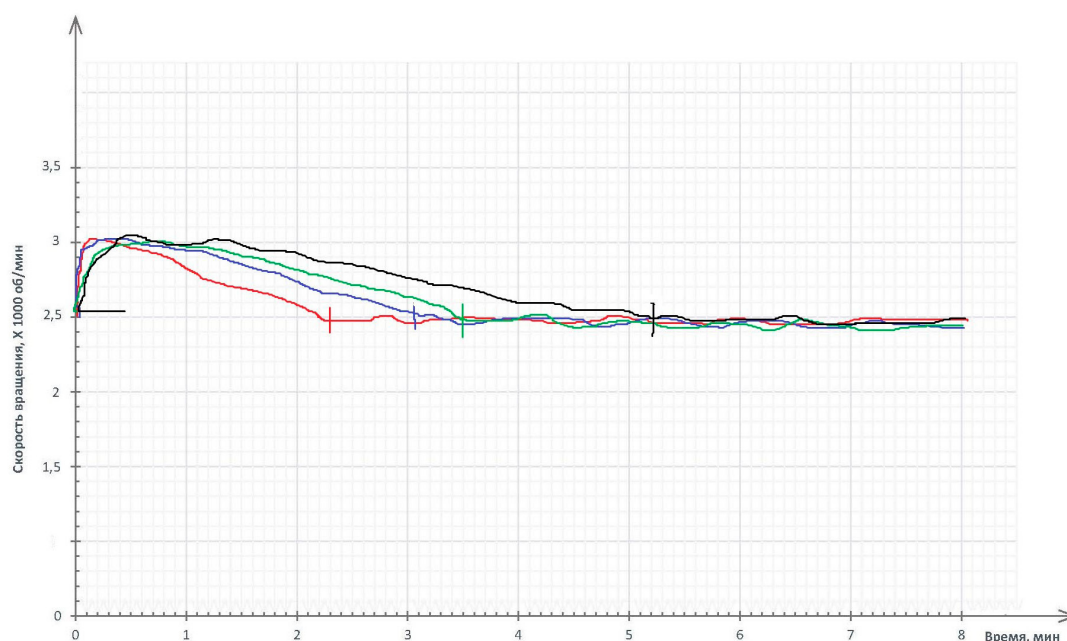


Рис. 3. Изменение времени вращения вала ротора во время смешивания

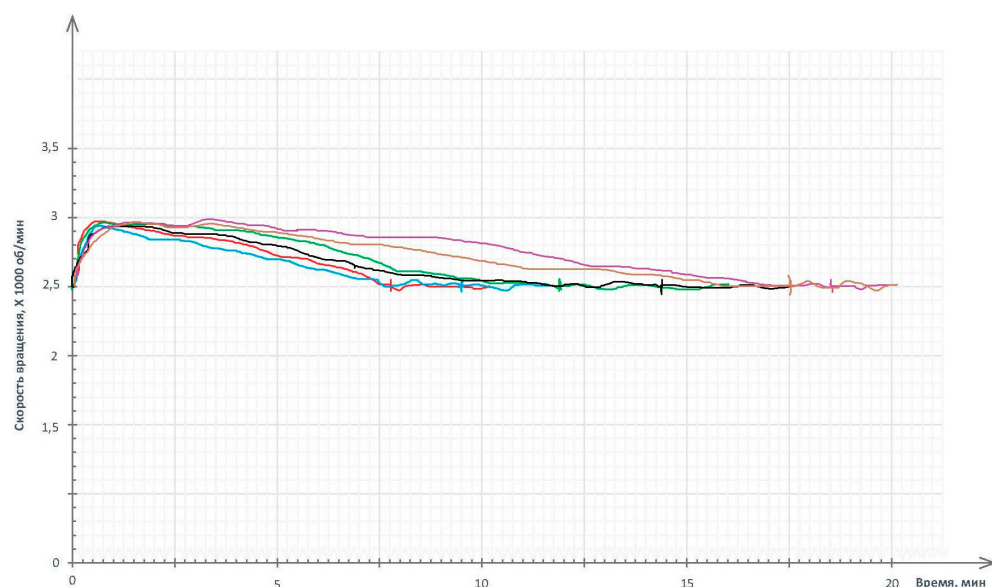


Рис. 4. Изменение времени вращения вала ротора во время смешивания

На рис. 4 представлены зависимости скорости вращения вала ротора от времени полного смешивания для трех марок битума и 50 % воды. Применяли стандартный эмульсионный и тонкий эмульсионный экраны.

Красная линия на рис. 4 представляет битум 100/130 и стандартный эмульсионный экран (время полного смешивания 9,6 мин), синяя — битум 100/130 и тонкий эмульсионный экран (время полного смешивания 7,7 мин), зеленая — битум 50/70 и стандартный эмульсионный экран (время полного смешивания 14,4 мин), черная — битум 50/70 и тонкий эмульсионный экран (время полного смешивания 11,8 мин), лиловая — битум 90/10 и стандартный эмульсионный экран (время полного смешивания 18,8 мин), коричневая — битум 90/10 и тонкий эмульсионный экран (время полного смешивания 17,6 мин).

Первостепенное требование, предъявляемое к водно-битумной эмульсии (с точки зрения заказчика), — это время нерасслоения (проще говоря, устойчивость против расслоения) на нефтяную составляющую и воду. Оно играет важную роль как в статических (хранение на складе), так и в динамических условиях (время транспортировки эмуль-

сии к месту непосредственного применения). Как правило, производители битумных эмульсий дают двухмесячную гарантию ее нерасслоения при хранении на складе, что не всегда устраивает заказчиков (особенно в зимний период). Поэтому контроль однородности и нерасслоения полученных базовых эмульсионных смесей осуществляли по следующим стандартам:

- ГОСТ 31740–2012 (пункт 5) и ГОСТ Р 58952.9 — моделируют хранение эмульсии на складе;
- ГОСТ Р 58952.11 — моделирует транспортировку эмульсии;
- ГОСТ Р 58952.11 (с увеличенным временем встряхивания 3 и 4 ч и повышенной частотой встряхивания) — 200 в минуту (2 ч).

В табл. 2 представлены сведенные воедино результаты по времени получения эмульсий на основе гудронов с двумя эмульсионными экранами и данными тестирования по качеству при статических условиях (хранение на складе) согласно ГОСТ 31740–2012 (пункт 5) и ГОСТ Р 58952.9.

Органолептический контроль на однородность (ГОСТ 31740, пункт 5) полученных смесей подтвердил соответствие нефтяных эмульсий на основе

Таблица 2

Влияние концентрации гудронов с различной вязкостью на время получения эмульсий и их товарные свойства

| № п/п | Исследуемые образцы                                 | Время смешивания, мин          |                           | Определение однородности | Определение расслоения                                                             |
|-------|-----------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                                                     | Стандартный эмульсионный экран | Тонкое эмульсионный экран | ГОСТ 31740–2012, п. 5    | ГОСТ Р 58952.9, процент расслаиваемости, не более (стандартный эмульсионный экран) |
| 1     | Гудрон марки СБ 20/40, образец № 1 (30 %масс. воды) | 3,2                            | 2,8                       | Однородный               | 2,5                                                                                |
| 2     | Гудрон марки СБ 20/40, образец № 2 (30 %масс. воды) | 3,4                            | 3,0                       | »                        | 2,5                                                                                |
| 3     | Гудрон марки СБ 20/40, образец № 1 (50 %масс. воды) | 2,0                            | 1,7                       | »                        | 2,8                                                                                |
| 4     | Гудрон марки СБ 20/40, образец № 2 (50 %масс. воды) | 2,3                            | 2,0                       | »                        | 2,8                                                                                |

Таблица 3

**Влияние концентрации битумов с различной вязкостью на время получения эмульсий  
и их товарные свойства**

| №<br>п/п | Исследуемые образцы                                                      | Время смешивания, мин                |                                 | ГОСТ<br>31740–2012,<br>п. 5 | ГОСТ Р 58952.9, процент<br>расслаиваемости, не более |                                 |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------|
|          |                                                                          | Стандартный<br>эмульсионный<br>экран | Тонкий<br>эмульсионный<br>экран |                             | Стандартный<br>эмульсионный<br>экран                 | Тонкий<br>эмульсионный<br>экран |
| 1        | Битум дорожный, марка<br>БНД 100/130 (30 %масс. воды)                    | 8,5                                  | 6,8                             | Однородный                  | 2,7                                                  | 2,3                             |
| 2        | Битум дорожный, марка<br>БНД 100/130 (50 %масс. воды)                    | 9,6                                  | 7,7                             | »                           | 3,3                                                  | 3,0                             |
| 3        | Битум дорожный, марка<br>БНД 50/70 (30 %масс. воды)                      | 12,8                                 | 10,4                            | »                           | 1,9                                                  | 1,5                             |
| 4        | Битум дорожный, марка<br>БНД 50/70 (50 %масс. воды)                      | 14,4                                 | 11,8                            | »                           | 2,2                                                  | 1,7                             |
| 5        | Битум строительный, марка<br>БН 90/10 (ГОСТ 6617–76)<br>(30 %масс. воды) | 16,8                                 | 14,3                            | »                           | 2,1                                                  | 1,9                             |
| 6        | Битум строительный, марка<br>БН 90/10 (ГОСТ 6617–76)<br>(50 %масс. воды) | 18,8                                 | 17,6                            | »                           | 2,7                                                  | 2,2                             |

гудронов требованиям данного стандарта. Анализ времени полного приготовления эмульсий показал: менее твердый гудрон (температура размягчения по методу кольца и шара +26 °С) при двух разных концентрациях воды быстрее превращается в нефтяную эмульсию, чем гудрон с температурой размягчения по методу кольца и шара +30 °С. Таким образом, увеличение вязкости нефтепродуктов (гудронов) приводит к увеличению времени приготовления эмульсий.

Тестирование по ГОСТ Р 58952.9 показало, что все полученные эмульсии на основе гудронов удовлетворяют требованиям стандарта.

В табл. 3 представлены сведенные воедино результаты по времени получения эмульсий на основе битумов с двумя эмульсионными экранами и показателями тестирования на качество при статических условиях (хранение на складе) по ГОСТ 31740–2012 (пункт 5) и ГОСТ Р 58952.9.

Органолептический контроль на однородность (ГОСТ 31740, пункт 5) полученных смесей подтвердил соответствие нефтяных эмульсий на основе различных битумов требованиям данного стандарта. Анализ времени полного приготовления эмульсий показал, что менее вязкие образцы битумов

при обеих концентрациях воды быстрее превращаются в нефтяную эмульсию, чем более вязкие. Таким образом, увеличение вязкости нефтепродуктов (битумов) приводит к увеличению времени приготовления эмульсий. Применение тонкого эмульсионного экрана сокращает время получения эмульсии примерно на 20 %, если применять стандартный эмульсионный экран.

Тестирование по ГОСТ Р 58952.9 показало, что все полученные эмульсии на основе битумов удовлетворяют требованиям стандарта. Очевидно, что применение тонкого эмульсионного экрана делает эмульсию более устойчивой против расслоения, если сравнивать эту ситуацию с эмульсиями, приготовленными с применением стандартного эмульсионного экрана.

В табл. 4 включены результаты тестирования эмульсий на основе гудронов и битумов, полученных с двумя эмульсионными экранами, на устойчивость против расслоения при разных динамических условиях по ГОСТ Р 58952.11, а также результаты специального теста с увеличенной частотой встряхивания (200 движений в минуту). Некоторые образцы эмульсий при определенных условиях тестирования расслаивались.

Таблица 4

**Влияние концентрации гудронов и битумов с различных марок на время получения эмульсий  
и их товарные свойства**

| №<br>п/п | Исследуемые образцы                                                                    | ГОСТ Р 58952.11, продолжительность<br>встряхивания |                  |               | Встряхивание<br>с качанием<br>(200 движений<br>в минуту, 2 ч) |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------|---------------|---------------------------------------------------------------|
|          |                                                                                        | 2 ч                                                | 3 ч              | 4 ч           |                                                               |
| 1        | Гудрон марки СБ 20/40, образец № 1 (30 %масс. воды).<br>Стандартный эмульсионный экран | Не расслаивается                                   | Не расслаивается | Расслаивается | Не расслаивается                                              |
| 2        | Гудрон марки СБ 20/40, образец № 2 (30 %масс. воды).<br>Стандартный эмульсионный экран | »                                                  | »                | »             | »                                                             |

**Влияние концентрации гудронов и битумов с различных марок на время получения эмульсий и их товарные свойства**

| № п/п | Исследуемые образцы                                                                               | ГОСТ Р 58952.11, продолжительность встряхивания |                  |               | Встряхивание с качанием (200 движений в минуту, 2 ч) |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------|---------------|------------------------------------------------------|
|       |                                                                                                   | 2 ч                                             | 3 ч              | 4 ч           |                                                      |
| 3     | Гудрон марки СБ 20/40, образец № 1 (50 %масс. воды). Стандартный эмульсионный экран               | Не расслаивается                                | Не расслаивается | Расслаивается | Не расслаивается                                     |
| 4     | Гудрон марки СБ 20/40, образец № 2 (50 %масс. воды). Стандартный эмульсионный экран               | »                                               | »                | »             | »                                                    |
| 5     | Гудрон марки СБ 20/40, образец № 1 (50 %масс. воды). Тонкий эмульсионный экран                    | »                                               | »                | »             | »                                                    |
| 6     | Гудрон марки СБ 20/40, образец № 2 (50 %масс. воды). Тонкий эмульсионный экран                    | »                                               | »                | »             | »                                                    |
| 7     | Битум дорожный, марка БНД 100/130 (50 %масс. воды). Стандартный эмульсионный экран                | »                                               | »                | »             | »                                                    |
| 8     | Битум дорожный, марка БНД 50/70 (50 %масс. воды). Стандартный эмульсионный экран                  | »                                               | Расслаивается    | »             | »                                                    |
| 9     | Битум дорожный, марка БНД 50/70 (50 %масс. воды). Тонкий эмульсионный экран                       | »                                               | Не расслаивается | »             | »                                                    |
| 10    | Битум строительный, марка БН 90/10 (ГОСТ 6617–76, 30 %масс. воды). Стандартный эмульсионный экран | »                                               | Расслаивается    | »             | Расслаивается                                        |
| 11    | Битум строительный, марка БН 90/10 (ГОСТ 6617–76, 50 %масс. воды). Стандартный эмульсионный экран | »                                               | »                | »             | Не расслаивается                                     |
| 12    | Битум строительный, марка БН 90/10 (ГОСТ 6617–76, 30 %масс. воды). Тонкий эмульсионный экран      | »                                               | Не расслаивается | »             | »                                                    |
| 13    | Битум строительный, марка БН 90/10 (ГОСТ 6617–76, 50 %масс. воды). Тонкий эмульсионный экран      | »                                               | Расслаивается    | »             | »                                                    |

Следующие образцы выдержали все четыре испытания на расслаиваемость:

- стандартный эмульсионный экран (БНД 100/130 + 30 % воды, БНД 50/70 + 30 % воды);
- тонкий эмульсионный экран (БНД 100/130 + 30 % воды, БНД 100/130 + 50 % воды, БНД 50/70 + 30 % воды).

Эмульсии, созданные на базе всех выбранных гудронов с использованием двух типов экранов и при концентрациях воды 30 и 50 %, удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 58952.11. Увеличение частоты встряхиваний до 200 в минуту не сказалось на устойчивости эмульсий (два типа эмульсионных экранов).

Однако при тестировании в более жестких условиях (увеличение встряхиваний по времени в 1,5 и 2 раза) не все полученные образцы выдержали испытание. При встряхивании в течение 3 ч все образцы соответствовали требованиям ГОСТ Р 58952.11, чего нельзя сказать про 4-часовое испытание.

Эмульсии, созданные на базе всех выбранных нами марок битумов и при концентрациях воды 30 и 50 %, удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 58952.11 (при использовании эмульсионных экранов обоих типов). Увеличение частоты встряхиваний до 200 в минуту образцов, полученных с применением двух типов экранов, не сказалось на устойчивости эмульсий. Но при тестированиях с более жесткими требованиями (увеличение встряхиваний по времени

в 1,5 и 2 раза) не все полученные образцы выдержали испытание.

Очевиден факт, что применение тонкого эмульсионного экрана для получения нефтяных эмульсий (для выбранных нами марок гудронов и различных битумов) наиболее предпочтительно.

Эффективность работы смесителя с большим усилием сдвига по эмульгированию двух не смешиваемых жидкостей определяется главным образом частотой сдвига (SF) и числом сдвигов (Nsh) при эмульгировании. Чем больше величина данных показателей, тем выше дисперсность получаемых эмульсий. Оба параметра имеют прямую зависимость от количества зазоров в статоре (в нашем случае это стандартный и тонкий эмульсионный экраны) [31–38].

Чем больше зазоров в статоре (эмульсионном экране), тем выше два этих показателя (при прочих равных условиях процесса смешивания). Отличие двух эмульсионных экранов между собой только в количестве зазоров (геометрические размеры обоих абсолютно одинаковые). Таким образом, правомерно считать, что именно увеличенное количество зазоров в тонком эмульсионном экране (относительно стандартного эмульсионного экрана) позволяет получить базовую эмульсионную композицию с увеличенной дисперсностью и, как следствие, с лучшей устойчивостью к расслоению.

## Выводы

1. Полученные в лабораторных условиях эмульсии как базовые смеси на основе гудронов и битумов удовлетворяют требованиям ГОСТ 31740–2012 (пункт 5), ГОСТ Р 58952.9 и ГОСТ Р 58952.11.

2. Экспериментально установлено, что с возрастанием вязкости использованных битумов устойчивость к расслоению сначала возрастает, а затем уменьшается. Необходимо выявление влияния структурно-группового состава образцов на данную зависимость.

3. Вполне вероятно, что при добавлении селективных эмульгаторов в полученные нефтяные эмульсии на основе выбранных марок гудронов и битумов устойчивость к расслоению (при хранении и транспортировке) будет значительно превосходить требования вышеупомянутых стандартов.

4. Подтверждена возможность получения устойчивых нефтяных эмульсий с помощью лабораторно-пилотного смесителя с большим усилием сдвига.

5. Показано, что использование тонкого эмульсионного экрана позволяет получить более устойчивые эмульсии против расслоения, чем при участии стандартного эмульсионного экрана.

6. Применение различных эмульсионных экранов с разработанными специальными конфигурациями позволит получать механическим способом целевые нефтяные эмульсии с улучшенными свойствами — и в первую очередь с увеличенной устойчивостью к расслоению (как при хранении, так и при транспортировке).

## Список литературы

1. Ружицкий В. П. Обоснование, выбор параметров и создание оборудования по приготовлению водомасляных эмульсий для механизированных крепей : дис. ... д-ра техн. наук, специальность 05.05.06. Москва, 2000.
2. Абдуллин А. И., Идрисов М. Р. Битумные эмульсии в дорожном строительстве // Вестник технологического университета. 2019. Т. 21, № 25. С. 117.
3. Бикмухаметова Г. К., Емельянычева Е. А., Абдуллин А. И., Сибгатулина Р. И. Битумные материалы в дорожном строительстве. Применение водобитумных эмульсий // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 20. С. 128.
4. Антонова И. И., Аюпов Д. А., Хакимуллин Ю. Н., Хозин В. Г. Битумные эмульсии для гидроизоляционных и кровельных покрытий // Известия КГАСУ. 2023. № 1 (63). С. 6–14. DOI: 10.52409/20731523\_2023\_1\_6. EDN: DPAXIV.
5. Саванчук Р. В., Яценко Н. Д., Сазонова О. И., Попова Л. Д. Контроль содержания воды в битумных дорожных эмульсиях с использованием диэлькометрического метода // Известия высших учебных заведений [Северо-Кавказский регион]. 2019. № 2. С. 81.
6. Шрубко А. О., Хаппи Вако Б. Ж., Степанович Ю. А. Анализ и совершенствование методов оценки стабильности полимерно-битумных вяжущих // Труды БГТУ. (Сер. 2: Химические технологии, биотехнологии, геоэкология.) Минск : БГТУ, 2020. № 2 (235). С. 69–75.

7. Сухова Т. Н., Духовный Г. С., Хоружая Н. В. Инновационная технология в производстве битумных эмульсий // Строительные материалы. 2010. № 2. С. 30.

8. Будник В. А., Евдокимова Н. Г., Жирнов Б. С. Ультразвуковой способ получения битумных эмульсий // Материалы международной научно-практической конференции «Нефтепереработка и нефтехимия-2005». Уфа, 2005. С. 25–28.

9. Будник В. А., Евдокимова Н. Г., Жирнов Б. С. Механический способ эмульгирования битума в воде. Установка. Методика. Результаты апробирования // Нефтегазовое дело. 2006. Т. 5. С. 15.

10. Будник В. А., Евдокимова Н. Г., Жирнов Б. С. Битумные эмульсии. Особенности состава и применения. Тематический обзор // Нефтегазовое дело. 2006. № 1 (04.05.2006).

11. Будник В. А., Евдокимова Н. Г., Пушкарева Т. В. Процессы эмульгирования битума в воде и способы их совершенствования // Нефтегазовое дело. 2008. № 1. С. 15 (28.02.2008).

12. Будник В. А. Исследование и разработка способов получения нефтяных битумных эмульсий : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2009. 27 с.

13. Милицин Д. А. Полимерно-битумные эмульсии и органоминеральные смеси на их основе : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Улан-Уде, 2013. 26 с.

14. Цымбалова А. С., Ларина А. И., Толстоухова С. А., Блиничев В. Н. Диспергирование состава масло — вода в роторно-кавитационной машине // Российский химический журнал. 2019. Т. LXIII, № 3-3. С. 91.

15. Гладий Е. А., Кемалов А. Ф., Кемалов Р. А. [и др.]. Приготовление битумных эмульсий на основе зюзе-евского битума марки БНД 60/90 // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 16. С. 123.

16. Земляков А. Ю., Лобаков Е. В., Ромаденкина С. Б. Разработка составов битумных эмульсий для дорожного строительства // Башкирский химический журнал. 2019. Т. 26, № 3. С. 52.

17. Стариков В. А., Асадуллин Р. Р., Арсланов И. Р. [и др.]. Разработка селективных тампонажных составов на основе битумных эмульсий для проведения водоизоляционных работ // Разработка нефтяных и газовых месторождений. 2021. Т. 19, № 4. С. 71.

18. Сиволоцкий М. О., Чагин О. В., Блиничев В. Н., Постникова И. В. Экспериментальное исследование получения эмульсии в статическом смесителе вихревого типа // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2018. № 4 (56). С. 84.

19. Цымбалов А. С., Ларина А. И., Блиничев В. Н. Исследование водомасляной эмульсии при трех режимных оборотах роторно-кавитационного диспергатора с применением теплообменного аппарата // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2021. № 2 (66). С. 94.

20. Лепешинский И. А., Решетников В. А., Заранкевич И. А. [и др.]. Экспериментальное исследование газодинамического смесителя закрытого типа // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2016. Т. 15, № 3. С. 70.

21. ГОСТ 18659–2005. Эмульсии битумные дорожные. Технические условия.

22. ГОСТ Р 52128–2003. Эмульсии битумные дорожные. Технические условия.

23. ГОСТ 31740–2012. Битумы и битумные вяжущие. Методы испытаний битумных эмульсий, используемых для защитных покрытий.

24. ГОСТ Р 55420–2013. Дороги автомобильные общего пользования. Эмульсии битумные дорожные катионные. Технические условия.

25. ГОСТ Р 55423–2013. Дороги автомобильные общего пользования. Эмульсии битумные дорожные катионные. Метод определения расслоения.

26. ГОСТ 58952.1–2020. Дороги автомобильные общего пользования. Эмульсии битумные дорожные катионные. Технические требования.

27. ГОСТ 58952.4–2020. Дороги автомобильные общего пользования. Эмульсии битумные дорожные катионные. Метод определения скорости распада.

28. ГОСТ 58952.8–2020. Дороги автомобильные общего пользования. Эмульсии битумные дорожные катионные. Метод определения устойчивости при хранении.

29. ГОСТ 58952.9–2020. Дороги автомобильные общего пользования. Эмульсии битумные дорожные катионные. Метод определения расслоения.

30. ГОСТ 58952.11–2020. Дороги автомобильные общего пользования. Эмульсии битумные дорожные катионные. Метод определения устойчивости при транспортировании.

31. Методические рекомендации по технологиям импортозамещения при приготовлении катионных битумо-полимерных эмульсий (Росавтодор, Москва, 2020, ОДМ 218.8.10.001–2020).

32. Инструкция компании производителя по работе лабораторного смесителя с большим усилием сдвига модели AX5.

33. Инструкция компании производителя по работе лабораторного встряхивателя модели Vibromatic.

34. Комов В. А. Гидравлика. М. ; Л. : Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1951. 236 с.

35. Ртищева А. С. Теоретические основы гидравлики и теплотехники : учебное пособие. Ульяновск : УлГТУ, 2007. 171 с.

36. Моргунов К. П. Гидравлика : учебник. СПб. : Лань, 2014. 288 с.

37. Методические рекомендации по выбору ротор-статорных узлов смешивания для различных применений и масштабирования : презентация. URL: <https://www.silverson.co.uk/en/products/pilot-scale-batch-mixers/>

38. Балабышко А. М., Зимин А. И., Ружицкий В. П. Гидромеханическое диспергирование. М. : Наука, 1998. 330 с.

**Stupak S. V., Kapustin V. M.**

(Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russia)

**Emulsification of Oil Residues and Binders as a Base Mixture for Bitumen Emulsions**

## Abstract

The article presents the possibility of producing basic emulsion mixtures from tars and petroleum bitumen of various consistencies using laboratory pilot mixers with high shear force model AX5. The resulting emulsion mixtures were tested according to GOST 31740–2012, GOST R 58952.9; GOST R 58952.11. A non-linear dependence of the consistency of oil samples on the separation time of the resulting emulsions was revealed. It has been shown that the use of emulsion sieves of various designs makes it possible to obtain emulsions with different storage times under both static and dynamic conditions.

**Keywords:** tars; petroleum bitumens; laboratory pilot mixer with high shear force model AX5; bitumen emulsions; vibromatic laboratory shaker; testing according to GOST 31740–2012, GOST R 58952.9, GOST R 58952.11.

## References

1. Ruzhitsky V. P. Justification, selection of parameters and creation of equipment for the preparation of water-oil emulsions for powered supports : Dr. Sci. Tech. Thesis, 05.05.06. Moscow, 2000.
2. Abdullin A. I., Idrisov M. R. Bitumen emulsions in road construction // Bulletin of the Technological University. 2019. Vol. 21, No. 25. P. 117.
3. Bikmukhametova G. K., Emelyanycheva E. A., Abdullin A. I., Sibgatulina R. I. Bitumen materials in road construction. Application of water-bitumen emulsions // Bulletin of the Technological University. 2015. Vol. 18, No. 20. P. 128.
4. Antonova I. I., Ayupov D. A., Khakimullin Yu. N., Khozin V. G. Bitumen emulsions for waterproofing and roofing coatings // News of KGASU. 2023. No. 1(63). Pp. 6–14. DOI: 10.52409/20731523\_2023\_1\_6. EDN: DPAXIV.
5. Savanchuk R. V., Yatsenko N. D., Sazonova O. I., Popova L. D. Control of water content in bitumen road emulsions using the dielectric method // News of Higher Educational Institutions of the North Caucasus Region. 2019. No. 2. P. 81.
6. Shrubok A. O., Hapki Vako B. Zh., Stepanovich Yu. A. Analysis and improvement of methods for assessing the stability of polymer-bitumen binders // Proceedings of BSTU. (Ser. 2 “Chemical technologies, biotechnologies, geoecology”). Minsk : BSTU, 2020. No. 2 (235). Pp. 69–75.
7. Sukhova T. N., Dukhovny G. S., Khoruzhaya N. V. Innovative technology in the production of bitumen emulsions // Construction Materials. 2010. No. 2. P. 30.
8. Budnik V. A., Evdokimova N. G., Zhirnov B. S. Ultrasonic method for producing bitumen emulsions // Proceedings of the International scientific and practical conference “Oil Refining and Petrochemistry-2005”. Ufa, 2005. Pp. 25–28.
9. Budnik V. A., Evdokimova N. G., Zhirnov B. S. A mechanical method for emulsifying bitumen in water. Installation. Methodology. Testing results // Oil and Gas Business. 2006. Vol. 5. P. 15.

10. Budnik V. A., Evdokimova N. G., Zhirnov B. S. Bitumen emulsions. Features of composition and application. Thematic review // Oil and Gas Business. 2006. No. 1 (05/04/2006).
11. Budnik V. A., Evdokimova N. G., Pushkareva T. V. Processes of emulsification of bitumen in water and methods for their improvement // Oil and Gas Business. 2008. No. 1 (02/28/2008).
12. Budnik V. A. Research and development of methods for producing oil bitumen emulsions : pHD in Sci. Tech. Thesis. Ufa, 2009. 27 p.
13. Miliutin D. A. Polymer-bitumen emulsions and organomineral mixtures based on them : pHD in Sci. Tech. Thesis. Ulan-Ude, 2013. 26 p.
14. Tsybalova A. S., Larina A. I., Tolstoukhova S. A., Blinichev V. N. Dispersion of the oil-water composition in a rotary cavitation machine // Russian Chemical Journal. 2019. Vol. LXIII, No. 3-3. P. 91.
15. Gladiy E. A., Kemalov A. F., Kemalov R. A. [et al.]. Preparation of bitumen emulsions based on Zyuzeevsky bitumen BND 60/90 // Bulletin of the Technological University. 2015. Vol. 18, No. 16. P. 123.
16. Zemlyakov A. Yu., Lobakov E. V., Romadenkina S. B. Development of compositions of bitumen emulsions for road construction // Bashkir Chemical Journal. 2019. Vol. 26, No. 3. P. 52.
17. Starikov V. A., Asadullin R. R., Arslanov I. R. [et al.]. Development of selective cementing compositions based on bitumen emulsions for waterproofing work // Development of Oil and Gas Fields. 2021. Vol. 19, No. 4. P. 71.
18. Sivolotsky M. O., Chagin O. V., Blinichev V. N., Postnikova I. V. Experimental study of the production of emulsion in a static vortex-type mixer // Modern high technology. Regional application. 2018. No. 4 (56). P. 84.
19. Tsybalov A. S., Larina A. I., Blinichev V. N. Study of water-oil emulsion at three speeds of a rotary-cavitation dispersant using a heat exchanger // Modern High-Tech Technologies. Regional Application. 2021. No. 2 (66). P. 94.
20. Lepeshinsky I. A., Reshetnikov V. A., Zarankevich I. A. [et al.]. Experimental study of a closed-type gas-dynamic mixer // Bulletin of Samara University. Aerospace Engineering, Technology and Mechanical Engineering. 2016. Vol. 15, No. 3. P. 70.
21. GOST 18659–2005. Bitumen road emulsions. Technical conditions.
22. GOST R 52128–2003. Bitumen road emulsions. Technical conditions.
23. GOST 31740–2012. Bitumen and bitumen binders. Test methods for bitumen emulsions used for protective coatings.
24. GOST R 55420–2013. Public roads. Cationic bitumen road emulsions. Technical conditions.
25. GOST R 55423–2013. Public roads. Cationic bitumen road emulsions. Method for determining delamination.
26. GOST 58952.1–2020. Public roads. Cationic bitumen road emulsions. Technical requirements.
27. GOST 58952.4–2020. Public roads. Cationic bitumen road emulsions. Method for determining decay rate.
28. GOST 58952.8–2020. Public roads. Cationic bitumen road emulsions. Method for determining storage stability.
29. GOST 58952.9–2020. Public roads. Cationic bitumen road emulsions. Method for determining delamination.
30. GOST 58952.11–2020. Public roads. Cationic bitumen road emulsions. Method for determining stability during transportation.
31. Guidelines for import substitution technologies in the preparation of cationic bitumen-polymer emulsions (Rosavtodor, Moscow, 2020, ODM 218.8.10.001–2020).
32. Instructions from the manufacturer for the operation of the laboratory mixer with high shear force, model AX5.
33. Instructions from the manufacturer for the operation of the vibromatic laboratory shaker.
34. Komov V. A. Hydraulics. Moscow; Leningrad : State Publishing House of Agricultural Literature, 1951. 236 p.
35. Rtishcheva A. S. Theoretical foundations of hydraulics and heat engineering : study guide. Ulyanovsk : Ulyanovsk State Technical University, 2007. 171 p.
36. Morgunov K. P. Hydraulics : textbook. Saint Petersburg : Lan' Publishing House, 2014. 288 p.
37. Guidelines for selecting rotor-stator mixing units for various applications and scaling. URL: <https://www.silverson.co.uk/en/products/pilot-scale-batch-mixers/>
38. Balabyshko A. M., Zimin A. I., Ruzhitsky V. P. Hydro-mechanical dispersion. Moscow : Nauka, 1998. 330 p.