



Установка для приготовления эмульсий и суспензий

П.Г. Кудрявцев, Н.П. Кудрявцев

*Polymate Ltd - Израильский нанотехнологический научно-исследовательский центр,
Migdal HaEmek, Israel,*

Аннотация: Установка для приготовления эмульсий и суспензий относится к устройствам, предназначенным для получения дисперсных систем. Она может использоваться при синтезе многоатомных спиртов и других органических и металлоорганических соединений, где осуществляется взаимодействие несмешивающихся друг с другом жидкости. Установка содержит гидравлический струйный насос-смеситель, соединенный с выходом гидромеханического насоса - диспергатора. Установка содержит одну или несколько систем дозирования компонентов, каждая из которых состоит из расходной емкости и дозатора. Технический результат работы созданной установки состоит в интенсификации процесса смешения компонентов и улучшении качества конечных продуктов.

Ключевые слова: технологическая установка; эмульсия; суспензия; приготовление эмульсий и суспензий; интенсификация гетерофазных процессов.

ВВЕДЕНИЕ

Процессы диспергирования гетерогенных систем лежат в основе множества технологических процессов и производств в самых различных отраслях промышленности: химической, нефтехимической, угольной, горнорудной, микробиологической, пищевой, фармацевтической, парфюмерной, биотехнологической, лакокрасочной, машиностроительной и многих других. [1]. Особое место среди них занимают процессы диспергирования систем «жидкость – жидкость» и «жидкость - твердое тело». Диспергирование систем «жидкость – газ» также имеет важное технологическое значение. При этом существуют различные требования к осуществлению этих процессов. В одних случаях, таких как микробиология и биотехнология, часто требуется очень мягкое, неразрушающее диспергирование, которое обеспечивает сохранение целостности микроорганизмов и живых клеток в питательном бульоне при их поддержании во взвешенном состоянии [2,3]. С другой стороны, в химической, горнодобывающей, пищевой, угольной,



горнорудной и других отраслях промышленности необходимой стадией различных технологических процессов является получение многокомпонентных эмульсий, дисперсий и суспензий различной концентрации. Интенсификация таких процессов диспергирования может быть достигнута применением гидромеханических приборов, в которых реализуются нестационарные процессы с высокой энергетической насыщенностью [4-7].

Повышение эффективности, совершенствование гидромеханических процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности требует создания и использования в промышленном производстве новых видов высокопроизводительного оборудования. На сегодняшний день эта проблема решается путем применения самых разнообразных способов интенсификации процессов диспергирования: нестационарные течения, акустические колебания, вибрации, пульсации и т.д. [8].

Одним из направлений применения процессов интенсивного диспергирования является приготовление промывочных жидкостей, используемые в бурении. Такие жидкости в большинстве своем представлены глинистыми суспензиями на водной основе. Повышение качества таких суспензий возможно путем дополнительного диспергирования глинистых частиц. Перспективным способом диспергирования является гидромеханический в роторно-импульсных аппаратах. Основным интенсифицирующим фактором массообменных процессов и процессов диспергирования в аппаратах такого типа является кавитация [5,6,9,10].

Наибольший эффект диспергирования компонентов эмульсий и суспензий достигается обычно в турбулентном режиме. Механизм диспергирования в турбулентном режиме заключается, в основном, в проявлении и противоборстве следующих физических факторов:



- 1) деформирующего воздействия, представляющего собой разность динамического напора, которая, в свою очередь, определяется длиной капли, при ее деформации во время диспергирования;
- 2) силы поверхностного натяжения, которая препятствуют деформации капли при диспергировании.

В аппаратах, предназначенных для диспергирования эмульсий и суспензий, перепад динамического напора также определяется двумя причинами:

- 1) градиентом скорости дисперсионной среды в окрестности капли дисперсной фазы;
- 2) градиентом скорости самой капли, который определяется ее моментом инерции и гидродинамическим сопротивлением дисперсионной среды, при этом ее скорость переменна не только в пространстве, но и во времени, и может отличаться от локальной скорости частиц дисперсионной среды.

Условием диспергирования является превышение динамического напора над капиллярным давлением. Для первого случая, когда динамический напор ΔP определяется градиентом скорости сплошной среды [8,11], это условие может быть записано в виде

$$\Delta P = \Delta \left(\frac{\rho_1 v^2}{2} \right) > \frac{4\sigma}{d_d} \quad (1)$$

для второго случая, когда динамический напор определяется движением самой капли это выражение можно записать в виде

$$\Delta P = \Delta \left(\frac{\rho_2 v^2}{2} \right) > \frac{4\sigma}{d_d} \quad (2)$$



где $\rho_1, \rho_2 \sim$ плотности дисперсионной среды и дисперсной фазы соответственно; σ - коэффициент межфазного натяжения; d_d - диаметр деформируемой капли дисперсной фазы.

При выполнении условий (1) или (2) капля деформируется: ее форма из сферической преобразуется в эллипсоидную. При этом капля теряет свою устойчивость, а площадь ее поверхности увеличивается. Деформированная капля может разрушиться, если площадь ее поверхности, в процессе ее деформации в эллипсоид, превысит сумму площадей поверхностей двух или большего количества капель, при постоянстве их суммарного объема. В этих условиях разрушение такой капли становится неизбежным, так как система капель стремится к такому состоянию, при котором их поверхностная энергия будет минимальна. Такая ситуация наблюдается только в том случае, когда капля принимает форму сферы [12].

Критериями предельных размеров частиц эмульсии, которые могут сформироваться в турбулентном потоке, являются микрошкалы Колмогорова, которые представляют собой наименьшие масштабы в турбулентном потоке. На шкале Колмогорова доминирует вязкость, и турбулентная кинетическая энергия рассеивается в тепло.

Турбулентность начинают формироваться в виде больших вихрей, эти большие вихри передают кинетическую энергию вновь сформированному меньшему вихрю и так далее, пока в системе не будут достигнуты самые маленькие вихри, которые больше не могут передавать энергию. Таким образом, самые маленькие вихри рассеивают энергию как теплоту из-за вязкости. Наименьший масштаб турбулентности был получен Колмогоровым [13,14], при условии, что диссипация энергии происходит в наименьшем масштабе. Необходимыми физическими параметрами для описания этого



поведения являются вязкость и скорость диссипации турбулентной кинетической энергии. Исходя из этого, шкала длины Колмогорова выражается следующим образом [13]:

Шкала длины Колмогорова (λ):

$$\lambda = \left(\frac{\nu^3}{\varepsilon} \right)^{1/4} \quad (3)$$

Шкала времени Колмогорова (τ_λ):

$$\tau_\lambda = \left(\frac{\nu}{\varepsilon} \right)^{1/2} \quad (4)$$

Шкала скорости Колмогорова (u_λ):

$$u_\lambda = (\nu\varepsilon)^{1/4} \quad (5)$$

где ε - средняя скорость диссипации кинетической энергии турбулентности на единицу массы и ν - кинематическая вязкость жидкости.

Теория Колмогорова – это теория среднего поля или теория самосогласованного поля, которая представляет собой определенный подход к изучению поведения больших и сложных стохастических систем через исследование простых моделей. Такие модели рассматривают многочисленные малые компоненты, которые взаимодействуют между собой. Влияние других индивидуальных компонент на заданный объект аппроксимируется усредненным эффектом, благодаря чему задача многих тел сводится к



одночастичной задаче. В жидкостной турбулентности скорость рассеивания энергии колеблется в пространстве и времени. Однако общий подход сводится к использованию осредненных значений, поскольку они представляют собой типичные значения параметров в данном потоке.

На основе вышеизложенного можно заключить, что ввод механической энергии с помощью мешалок является наиболее важным случаем, когда мешалки генерируют макро-вихри с характерной длиной в порядке диаметра мешалки. В свою очередь макро-вихри постепенно распадаются на микровихри с регрессией масштабов соответствующих вихрей, вплоть до минимальной характерной длиной λ , определяемой уравнением (3). Эти вихри в пределе имеют размер длины Колмогорова, периоды вращения образующихся капель жидкой фазы стремятся к предельному времени Колмогорова, определяемому уравнением (4), а скорости вращения к предельным скоростям Колмогорова, определяемым уравнением (5). В конечном итоге эти вихри ответственны за перенос энергии, а, следовательно, и разрушение капель макроскопической фазы.

Таким образом на процесс эмульгирования влияют различные параметры, а именно:

- соотношение фазовых объемов;
- вязкость обеих фаз;
- взаимная растворимость обеих фаз;
- вид и концентрация добавок;
- наличие и тип мешалки, а также геометрия сосуда, в котором осуществляется смешение;
- энергия уменьшения размеров капель и потребляемая мощность;



- термодинамические изменения в процессе эмульгирования (химические реакции, изменение температуры).

В литературе описан способ получения дисперсных систем путем многократной циркуляции ингредиентов через смеситель, представляющий собой сосуд с перемешиванием и диспергирующее устройство. При этом в смесителе происходит смешение на макроуровне, а в диспергирующем устройстве осуществляется гомогенизация частиц и смешение на микроуровне сплошной и диспергируемой фаз [15]. При многократной циркуляции ингредиентов через диспергирующее устройство и смеситель с перемешиванием через некоторое время достигается равномерное перемешивание и распределение ингредиентов. Однако в этом случае не обеспечивается быстрое достижение высокой однородности диспергирования и смешения на микроуровне. Так отдельные микрообъемы и частицы, взятые для перемешивания и диспергирования компонентов, могут не попадать в диспергирующее устройство в течение длительного времени и концентрационное соотношение их в различных точках реактора-смесителя различно и не является оптимальным. Это приводит к ухудшению качества и снижению выхода конечных продуктов дисперсных систем, а также к увеличению продолжительности процесса. Особенно это важно при их применении в процессах органического синтеза.

1. Установка для приготовления суспензий и эмульсий на базе роторного гомогенизатор-диспергатор

На основе этих теоретических предпосылок была разработана установка для получения эмульсий и суспензий. Эта установка может использоваться в технологии получения различных дисперсных систем, например, при синтезе многоатомных спиртов. Для создания такой установки была разработана



конструкция гидравлической системы, необходимой для осуществления ее функционирования.

В патенте [16] описана гидравлическая система установки для приготовления рабочей среды для горнодобывающих систем, содержащая фильтр грубой очистки, сообщенный гидравлической линией с входом измельчителя, выход которого подключен к входу емкости деаэратора, связанного своим выходом с насосом, выход которого связан, в свою очередь, со смесителем. Отличительной особенностью такой системы является то, что она включает в себя последовательно соединенные трубопроводами: расходную емкость, фильтр грубой очистки, проточные роторные гомогенизаторы-диспергаторы первой и второй ступеней.

Недостатками данной конструкции являются ограниченные технологические возможности при обработке высоконаполненных густых суспензий различного химического состава с высоким содержанием твердой фазы и недостаточно эффективное диспергирование суспензий. Кроме того, данное устройство обладает следующими дополнительными недостатками: оно не обеспечивает получение достаточно высокого выхода конечных продуктов и их приемлемого качества в процессах, сопровождаемых химическим взаимодействием, например, при синтезе многоатомных спиртов [17-21].

В монографиях [8,22] описана гидравлическая система установки для приготовления суспензий, используемая в производстве синтетических моющих средств башенным методом. В ее состав входит расходная емкость, фильтр грубой фильтрации, гомогенизатор-диспергатор роторного типа первой ступени с электроприводом и гомогенизатор-диспергатор роторного типа второй ступени с электроприводом, последовательно соединенные с системой трубопроводов. К недостаткам этого устройства следует отнести



ограниченность технологических возможностей и недостаточно эффективное диспергирование при приготовлении суспензий.

Для решения этих проблем было разработано другое устройство. Это устройство относится к системам для приготовления жидких сред и суспензий, включающих операции гомогенизации и диспергирования. Оно может быть использовано при приготовлении сложных смесей, в том числе эмульсий и густых суспензий с высоким содержанием твердой фазы. Такие системы требуются в горнорудной, строительной, химической, пищевой и других отраслях промышленности. Гидравлическая система установки для приготовления суспензий и эмульсий, включает последовательно соединенные трубопроводами расходную емкость, роторный гомогенизатор-диспергатор первой ступени и роторный гомогенизатор-диспергатор второй ступени. Привод роторного гомогенизатора-диспергатора второй ступени и/или первой ступени снабжен устройством регулирования числа оборотов. Выход гомогенизатора-диспергатора первой ступени и/или второй ступени соединен с расходной емкостью или с входом этого же гомогенизатора-диспергатора трубопроводом с установленным на нем регулируемым запорным устройством. Техническим результатом такой разработки явилось расширение технологических возможностей системы.

Модернизацией этой системы является патент [23]. В основе этого патента лежит задача создания гидравлической системы для гомогенизации суспензий и жидких сред различного химического состава, позволяющую осуществлять настройку гидравлической системы при переходе от одного химического состава суспензии к другому. Система, описанная в патенте [9], позволяет более эффективно проводить процесс гомогенизации и диспергирования за счет подбора оптимального времени пребывания среды в зоне гомогенизации и

оптимизации параметров частотно-импульсного воздействия в рабочей зоне роторно-импульсных гомогенизаторов-диспергаторов.

Эта задача решается с помощью такой гидравлической системы, которая была реализована на установке для приготовления суспензий и эмульсий, представленной на рисунке 1.

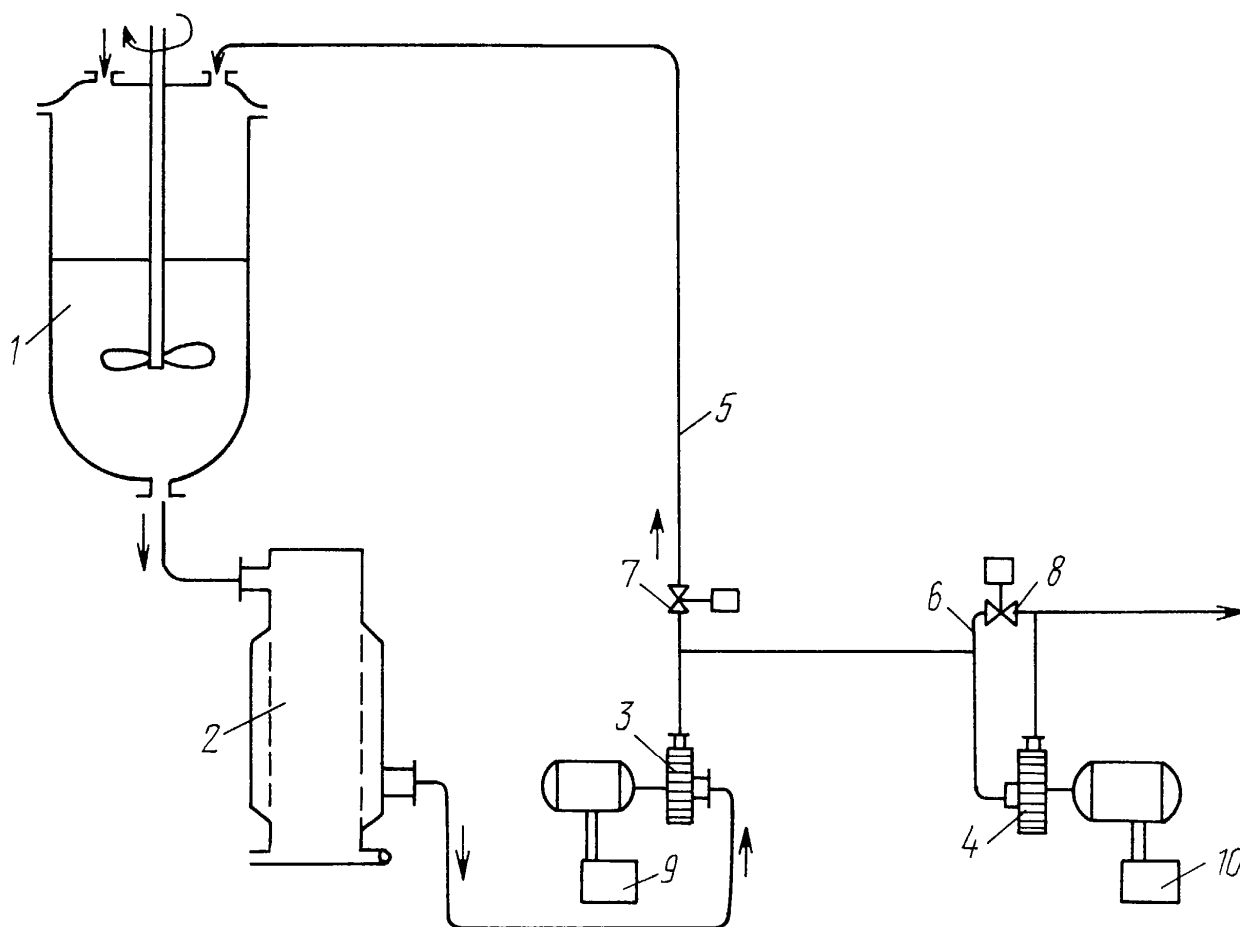


Рисунок 1. Гидравлическая система установки для приготовления суспензий и эмульсий [9].

1 - расходная емкость; 2- фильтр грубой очистки; 3 - роторный гомогенизатор-диспергатор первой ступени; 4 - роторный гомогенизатор-диспергатор второй ступени; 5, 6 – трубопроводы; 7, 8 - регулируемые запорные устройства, например, шаровые краны с дистанционным управлением; 9, 10 - устройства регулирования числа оборотов, выполненные в виде блоков частотного регулирования оборотов электроприводов или регулируемого гидравлического привода.



Эта установка содержит расходную емкость, последовательно соединенную трубопроводами с роторным гомогенизатором-диспергатором первой ступени и роторным гомогенизатором-диспергатором второй ступени. Также к существенным отличительным признакам относится то, что приводы роторных гомогенизаторов-диспергаторов первой и второй ступеней снабжены устройствами регулирования числа оборотов. Выходы роторных гомогенизаторов-диспергаторов первой ступени и второй ступеней соединены с расходной емкостью. Кроме того, выход гомогенизатора-диспергатора первой ступени соединен с входом гомогенизатора-диспергатора второй ступени трубопроводом с установленным на нем регулируемым запорным устройством.

Техническим преимуществом данной установки является расширением технологических возможностей гидравлической системы за счет возможности настройки режимов обработки при переходе с одного химического состава обрабатываемой среды к другому, а также возможностью регулирования времени пребывания обрабатываемой суспензии в активной зоне роторного гомогенизатора-диспергатора путем многократного пропускания ее через гомогенизатор-диспергатор, при открытом запорном устройстве, установленном на байпасе. Устройство позволяет оптимизировать параметры воздействия на суспензию рабочих элементов гомогенизаторов-диспергаторов за счет возможности регулирования числа оборотов ротора. Система также обеспечивает возможность поддержания в оптимальных пределах давления обрабатываемой среды на выходе из системы.

Гидравлическая система работает следующим образом. Исходная суспензия поступает из расходной емкости 1 через фильтр грубой очистки 2 в гомогенизатор-диспергатор первой ступени 3 роторно-импульсного типа, где суспензия подвергается первичной обработке и диспергированию. Далее суспензия полагается в гомогенизатор-диспергатор второй ступени 4 и при



открытом запорном устройстве 7 по трубопроводу 5 - в расходную емкость 1. Кратность циркуляции суспензии через гомогенизатор-диспергатор 3 регулируется запорным устройством 7.

В гомогенизаторе-диспергаторе второй ступени 4 суспензия вновь подвергается обработке, при этом часть обработанной суспензии далее поступает в трубопровод нагнетания (выхода) суспензии, а через регулируемое запорное устройство 8 (при открытом запорном устройстве 8) по трубопроводу 6 поступает на вход этого же гомогенизатора-диспергатора 4. Кратность циркуляции, как и для первой ступени, регулируется степенью открытия запорного устройства 8. Оптимальные параметры и режимы обработки суспензии, а также давление в системе регулируются изменением числа оборотов приводов гомогенизаторов-диспергаторов с помощью блоков частотного регулирования 9 и 10.

При приготовлении суспензий синтетических моющих средств в производстве детергентов башенным методом в зависимости от типа рецептуры давление после первой ступени гомогенизатора-диспергатора поддерживается в пределах от $0,5 \div 2,5$ атм, после второй ступени - $2,0 \div 5,0$ атм, скорость вращения роторов гомогенизаторов-диспергаторов устанавливается в интервале $1000 \div 4000$ об/мин.

Система обеспечивает гибкое регулирование и изменение параметров обработки (диспергирования), что очень важно для случаев сложного химического состава суспензий, например, используемых в производстве детергентов. Система также позволяет производить настройку оптимальных режимов обработки суспензий при переходе с одного химического состава (рецептуры) на другой при изменении параметров плотности и вязкости суспензии. Также возможным вариантом исполнения предлагаемой системы



является гидравлическая система с одним гомогенизатором-диспергатором, принцип работы которой аналогичен описанному выше.

2. Установка для приготовления суспензий и эмульсий на базе гидромеханического насоса-диспергатора и гидравлического струйного насоса-смесителя

Развитие прикладных исследований в направлении создания эффективных способов приготовления эмульсий и суспензий позволило создать новые установки, позволяющие интенсифицировать этот процесс и улучшить качество получаемых продуктов, что особенно важно при химическом синтезе некоторых веществ.

Поставленная задача решается с помощью технических решений, которые были реализованы в способе приготовления эмульсий и суспензий, при синтезе многоатомных спиртов, путем смешения и циркуляции ингредиентов через смеситель и диспергирующее устройство. При этом существенными отличиями являются такие факторы, как осуществление ступенчатого ввода в смесь, по крайней мере одного из компонентов, с постепенным увеличением объемов, взятых для перемешивания. При этом перемешивание компонентов ведут в нестационарном режиме при сдвиговых деформациях потока, обеспечивающих тонкое и быстрое диспергирование во всем объеме взаимодействующих веществ, взятых для перемешивания. Оптимальные условия процесса поддерживают изменением скорости ввода, одного из вводимых компонентов. При этом конструкция установки позволяет осуществлять подобное введение не только одного, но и двух и более компонентов. Для этого требуется только подключение дополнительного блока. Такой подход позволяет интенсифицировать процесс химического синтеза, улучшить качество и повысить выход конечных продуктов.



В предлагаемой конструкции включена дополнительная операция для создания и поддержания оптимальных условий осуществления технологического процесса. Оптимальные условия его осуществления дополнительно поддерживаются путем охлаждения или подогрева смеси, с использованием внешнего источника. Для осуществления этой операции система снабжена теплообменником нагрева – охлаждения. Этот теплообменник может быть включен в напорную линию как после гидравлического струйного насоса-смесителя, так и после гидромеханического насоса-диспергатора.

Важным фактором является то, что скорость ввода, по крайней мере, одного из реакционных компонентов на первую и вторую ступени перемешивания устанавливаются в зависимости от величины термического эффекта, возникающего после перемешивания и фиксируемого по изменению температуры реакционной смеси. Такой подход позволяет успешно автоматизировать технологический процесс.

Гидравлическая система установки для приготовления эмульсий и суспензий включает в себя емкость с патрубками входа и выхода, которые соединены трубопроводами с гидромеханическим насосом-диспергатором с приводом. Этот насос-диспергатор, в свою очередь, подключен своим входом к выходному патрубку емкости, а выходом - к одному из входных патрубков емкости. Отличительной особенностью системы является гидравлический струйный насос-смеситель, патрубок рабочей жидкости которого соединен с выходом гидромеханического насоса-диспергатора. Входной патрубок подсасываемого потока подключен к выходному патрубку емкости, а патрубок нагнетания с одним из входных патрубков емкости. Разработанная установка имеет, по крайней мере, систему дозирования одного из компонентов, состоящую из расходной емкости и дозатора, соединенного своим выходом



посредством трубопровода с входом гидромеханического насоса-диспергатора и/или струйного насоса-смесителя. Такая конструкция позволяет интенсифицировать технологический процесс и улучшить качество конечных продуктов.

Другой конструктивной особенностью созданной установки является привод гидромеханического насоса-диспергатора, который снабжен устройством регулирования числа оборотов. На линии, соединяющей выход дозатора и входной патрубков гидромеханического насоса-диспергатора, установлен регулирующий клапан. Этот клапан связан с устройством регулирования числа оборотов гидромеханического насоса-диспергатора через регулятор соотношения потоков.

Важной частью разработанной конструкции является емкость, обладающая важной конструктивной особенностью своего выполнения. Входной патрубок емкости, к которому подключен гидравлический струйный насос-смеситель, внутри емкости имеет нисходящую часть входного патрубка, выполненную в виде трубы с закрепленной на конце камерой смешения эжекторного типа и размещенной в нижней части емкости.

Последней важной особенностью созданной технологической установки является то, что ее конструкция снабжена вихревым статическим диспергатором. Вихревой статический диспергатор может быть включен как в напорную линию после гидромеханического насоса-диспергатора, так и после гидравлического струйного насоса-смесителя.

Указанные выше отличительные признаки каждый в отдельности и все совместно направлены на решение поставленной задачи и являются существенными. Объединение двух технических решений в одной установке связано с тем, что разработанное устройство предназначено для интенсификации процесса и повышение качества готового продукта. На



рисунке 2 представлена схема гидравлической системы разработанной и созданной установки для приготовления эмульсий и суспензий.

Гидравлическая система установки для приготовления эмульсий и суспензий включает соединенные трубопроводами 1 емкость 2 с патрубками входа 3 и выхода 4, гидромеханический насос-диспергатор 5 с приводом 6, подключенный своим входом 7 к выходному патрубку 4 емкости 2, а выходом 8 - к одному из входных патрубков 3 емкости 2. Система дополнительно включает гидравлический струйный насос-смеситель 9, патрубок рабочей жидкости 10 которого соединен с выходом 8 гидромеханического насоса-диспергатора 5, входной патрубок 11 подсасываемого потока подключен к выходному патрубку 4 емкости 2, а патрубок нагнетания 12 с одним из входных патрубков 3 емкости 2. Система содержит систему дозирования, по крайней мере, одного из компонентов, состоящую из расходной емкости 13 и дозатора 14, соединенного своим выходом 15 посредством трубопровода 16 с входом 7 гидромеханического насоса-диспергатора 5 и/или струйного насоса-смесителя 9. Привод 6 гидромеханического насоса-диспергатора 5 снабжен устройством регулирования числа оборотов 17, а на линии 16, соединяющей выход 15 насоса дозатора 14 и входной патрубок 7 гидромеханического насоса-диспергатора 5 установлен регулирующий клапан 18, который связан с устройством регулирования числа оборотов 17 гидромеханического насоса-диспергатора 5 через регулятор соотношения 19. Входной патрубок 3 емкости 2, к которому подключен гидравлический струйный насос-смеситель 9, внутри емкости 2 имеет нисходящую часть входного патрубка, выполненную в виде трубы 20 с закрепленной на конце камерой смешения эжекторного типа 21, размещенной в нижней части емкости 2. Система снабжена теплообменником нагрева - охлаждения 22, включенного в напорную линию 23 после гидравлического струйного насоса-смесителя 9 и/или после гидромеханического насоса 5. На

трубопроводах перед входными патрубками гидравлического струйного насоса 9 установлены регулирующие клапаны 24 и 25. Система снабжена вихревым статическим диспергатором 26 и 27, включенным в напорную линию 28 на выходе гидромеханического насоса-диспергатора 5 и/или на выходе гидравлического струйного насоса-смесителя 9. На конструкции струйного насоса-смесителя мы останавливаться отдельно не будем, так как данные по подобным диспергаторам можно найти, например, в [24].

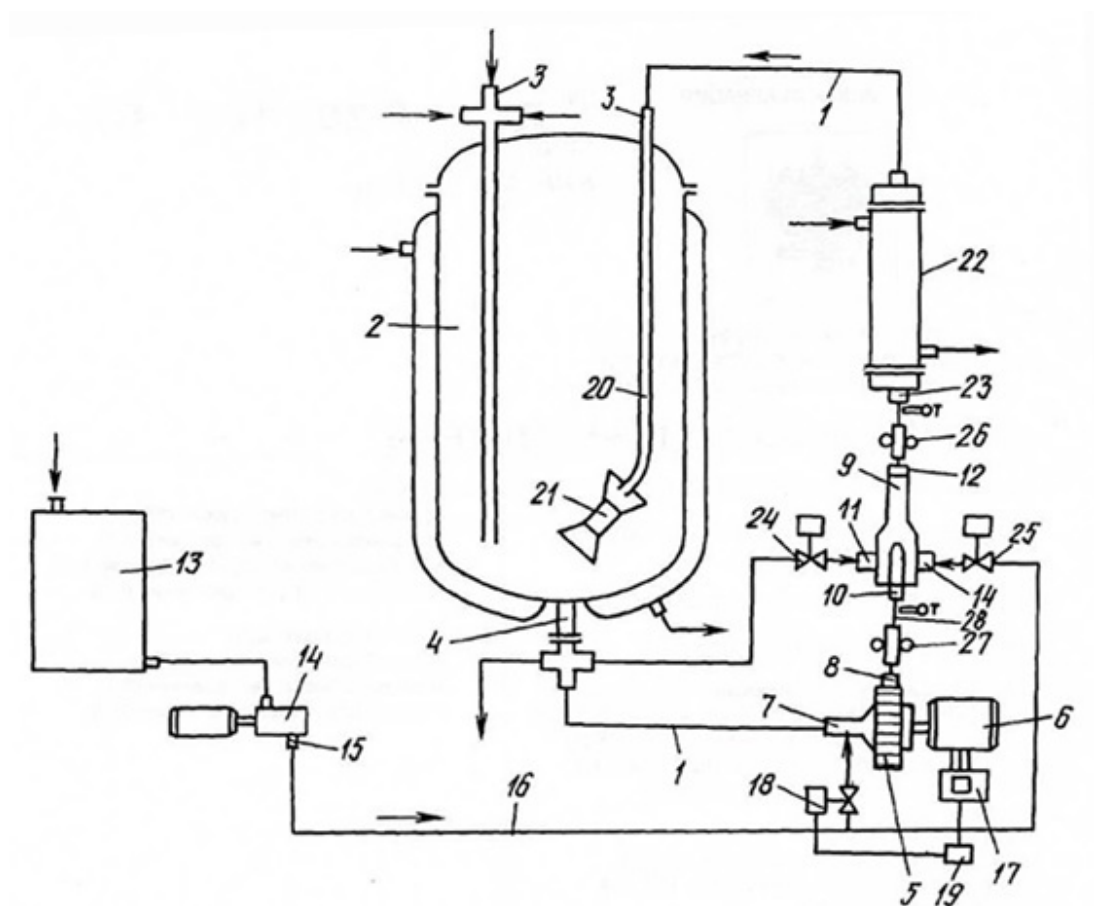


Рисунок 2. Гидравлическая схема установки для приготовления эмульсий и суспензий.
1 – трубопроводы; 2 – реакционная емкость с рубашкой; 3 - патрубки входа; 4 - патрубок выхода; 5 - гидромеханический насос-диспергатор; 6 – привод насоса-диспергатора; 7,8 – входы насоса-диспергатора; 9 - гидравлический струйный насос-смеситель; 10 - патрубок рабочей жидкости; 11 - входной патрубок подсасываемого потока; 12 - патрубок нагнетания; 13 - расходная емкость системы дозирования (возможна совокупность нескольких систем



дозирования); 14 - дозатор системы дозирования; 15 – выход дозатора системы дозирования; 16 – трубопровод; 17 - устройством регулирования числа оборотов привода насоса-диспергатора; 18 - регулирующий клапан; 19 - регулятор соотношения потоков насоса-диспергатора и гидравлического струйного насоса-смесителя; 20 – нисходящая часть входного патрубка; 21 - камера смешения эжекторного типа; 22 - теплообменник нагрева – охлаждения; 23, 28 - напорная линия; 24, 25 - регулирующие клапаны; 26, 27 - вихревые статические диспергаторы.

Устройство работает следующим образом. Исходные компоненты, которые необходимо подвергнуть диспергированию, загружают в емкости 2, 13. Включают гидромеханический насос-диспергатор 5 и осуществляют циркуляцию загруженных в емкость компонентов по контуру: емкость 2 - гидромеханический насос-диспергатор - 5 вихревой статический диспергатор 26 - гидравлический струйный насос-смеситель 9 - вихревой статический диспергатор 27 - теплообменник 22 - емкость 2. Устанавливают требуемый расход смеси компонентов в линии циркуляции с помощью устройства регулирования числа оборотов (частотный регулятор) 17. Из расходной емкости 13 насосом-дозатором 14 подаются компоненты, вступающие во взаимодействие с компонентами, циркулирующими в системе. Количество компонента, подаваемого насосом 14 на вход гидромеханического насоса-диспергатора 5, устанавливается регулирующим клапаном 18 через регулятор соотношения 19 в необходимом соотношении с компонентами, всасываемыми из емкости 2 гидромеханическим насосом-диспергатором 5.

В гидромеханическом насосе-диспергаторе 5 производится первая ступень мгновенного диспергирования смешиваемых компонентов в течение 2-3 секунд. После гидромеханического насоса-диспергатора 5 смесь поступает в статический вихревой диспергатор 26, где завершается первая ступень перемешивания-диспергирования и далее в струйный гидравлический насос, диспергатор 9, в который через входной патрубок подсосываемого потока за



счет разряжения, создаваемого струей рабочей жидкости (смесь из гидромеханического насоса-диспергатора 5), подсасывается из емкости 2 вторая порция исходных компонентов, количество которых определяется и устанавливается регулирующим клапаном 24. Во второй входной патрубок гидравлического насоса - диспергатора из расходной емкости 13 насосом дозатором 14 подается вторая порция компонента (реагента), количество которого устанавливается и поддерживается в определенном соотношении с введенным через первый патрубок объемом компонентов, регулирующим клапаном 25. В гидравлическом струйном насосе-диспергаторе 9 осуществляется вторая ступень форсированного перемешивания компонентов, поступающих из первой ступени перемешивания-диспергирования, и вновь взятых объемов исходных компонентов. Диспергирование второй ступени смешения завершается в статическом вихревом диспергаторе 27. Требуемая температура смеси после перемешивания (взаимодействия) поддерживается охлаждением/подогревом ее в теплообменнике 22. Режим включения теплоносителя/хладагента определяется по температуре смеси после гидромеханического и гидравлического смесителя, замеряемой соответствующим прибором. Подготовленная смесь поступает в емкость через нисходящую часть входного патрубка 20, смешивается с компонентами смеси, находящимися в емкости, в камере смешения 21. Установка может работать как в периодическом, так и в непрерывном проточном режиме. В последнем случае смесь после теплообменника 22 направляется не в емкость 2, а дополнительную емкость (на рисунке 2 не показана).

3. Практическое использование установки для приготовления эмульсий и суспензий

Функционирование предложенной конструкции было конкретно испытано при реализации одного из разработанных нами технологических



процессов. Следующий пример опытно-промышленного осуществления технологического процесса наглядно иллюстрирует работу установки. Следует подчеркнуть, что возможности использования разработанной установки не ограничиваются только этой сферой использования. Она может найти применение и в других производственных процессах.

Нами ранее был разработан и запатентован метод синтеза 2,2-диметилолпропана (неопентилгликоля) [16-19]. Для производственной реализации данного технологического процесса была создана и использована разработанная нами технологическая установка для приготовления эмульсий и суспензий. В этом разделе мы кратко опишем принципы реализации данного технологического процесса.

Исходным сырьем для синтеза неопентилгликоля являются изомасляный альдегид и формальдегид. Процесс осуществляют в одну стадию и используют в качестве катализатора водные растворы щелочей.

В емкость 2 загружают 495 кг воды, 156 кг 40% раствора NaOH и 233 кг 37% раствора формалина (смесь компонентов А). Включают гидромеханический насос-диспергатор и производят непродолжительное перемешивание компонентов в циркуляционном режиме по схеме емкость - гидромеханический насос-диспергатор - статический вихревой диспергатор - гидравлический струйный насос-диспергатор - статический вихревой диспергатор - теплообменник-емкость - камера смешения в емкости. В расходную емкость 13 загружают 100 кг изомасляного альдегида (компонента Б). Далее устройством регулирования числа оборотов гидромеханического насоса-диспергатора устанавливают расход всасываемой из емкости 2 исходной смеси (смесь компонентов А), например, $5 \text{ м}^3/\text{час}$, а регулирующим клапаном 24 расход смеси (смесь компонентов А) всасываемую из емкости 2 в гидравлический струйный насос-смеситель, например, $5 \text{ м}^3/\text{час}$.



Насосом-дозатором 14 из расходной емкости 13 подают изомасляный альдегид (компонент Б) на вход гидромеханического насоса-диспергатора и гидравлического струйного насоса-смесителя. Количество подаваемого изомасляного альдегида регулируют регулирующими клапанами 18, 25. Расход изомасляного альдегида устанавливают из такого расчета, чтобы весь его объем, взятый на операцию, вступил во взаимодействие (без избытка) с компонентами А. Ввод компонента Б в циркулирующий раствор осуществляют, например, в течение одного часа. В гидромеханическом насосе-диспергаторе производится первая ступень диспергирования взаимодействующих компонентов А и Б и взаимодействие изомасляного альдегида с формалином в щелочной среде. Причем за счет тонкого и быстрого диспергирования сред (размер частиц $5\div 15$ мкм, время $2\div 5$ сек) и увеличения поверхности контакта, взаимодействие компонентов идет в направлении получения целевого продукта – неопентилгликоля с минимальным образованием побочных продуктов синтеза. Диспергирование на первой ступени перемешивания завершается в статическом вихревом диспергаторе, установленном в напорной линии после гидромеханического насоса-диспергатора. В гидравлическом струйном насосе-диспергаторе аналогичным образом производится вторая ступень перемешивания-диспергирования взаимодействующих компонентов. Рабочей жидкостью в этом случае является продиспергированная и прореагировавшая смесь компонентов, подаваемая под давлением гидромеханического насоса-диспергатора. Диспергирование второй ступени смешения завершается в статическом вихревом диспергаторе, установленном в напорной линии струйного насоса-смесителя. Ввиду того, что образование неопентилгликоля при диспергировании компонентов А и Б сопровождается выделением тепла, то далее смесь компонентов, содержащая целевой продукт - неопентилгликоль,



охлаждается в поверхностном теплообменнике (охлаждающий агент - вода), при этом температура смеси поддерживается в пределах $20\div 25^{\circ}\text{C}$.

Количество охлаждающей воды устанавливается в зависимости от температуры смеси, которую замеряют после гидромеханического насоса-диспергатора и после гидравлического струйного насоса. После прохождения теплообменника, реакционная смесь поступает в емкость, где смешивается с находящимся в ней раствором при истечении потока в камере смешения. Здесь, за счет эжекционного эффекта, подсасывается раствор, находящийся в емкости. После завершения введения изомаляного альдегида производится непродолжительная работа установки в режиме циркуляции и процесс завершается. В результате работы этой установки удается получить смесь продуктов синтеза, содержащую не менее 10,5% неопентилгликоля. При этом достигается выход целевого продукта не менее 94%, при минимальном содержании вторичных продуктов не более 6%.

После этого смесь продуктов синтеза подвергается обработке с целью выделения целевого продукта - неопентилгликоля, а технологический цикл повторяется.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье представлена установка для приготовления эмульсий и суспензий, которая относится к устройствам, предназначенным для получения дисперсных систем. Она может использоваться, например, при синтезе многоатомных спиртов и других органических и металлоорганических соединений, где осуществляется взаимодействие несмешивающиеся друг с другом жидкостей. Установка содержит гидравлический струйный насос-смеситель, соединенный с выходом гидромеханического насоса - диспергатора. В ее конструкцию также входит одна или несколько систем дозирования компонентов, каждая из которых состоит из расходной емкости и дозатора.



Технический результат работы созданной установки состоит в интенсификации процесса смешения компонентов и улучшении качества конечных продуктов. Приведенный в статье конкретный пример ее использования свидетельствует о промышленной применимости предлагаемого технического решения.

Литература

1. Encyclopedic Handbook of Emulsion Technology, edited by J. Sjöblom, 2001, New-York, Basel, Marcel Dekker, Inc., 729 p.
2. Peter C.P., Suzuki Y., Büchs J. Hydromechanical stress in shake flasks: Correlation for the maximum local energy dissipation rate. *Biotechnology and Bioengineering*, Vol. 93, No 6, pp. 1164-1176. doi:10.1002/bit.20827.
3. Henzler H-J. Particle stress in bioreactors. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, Vol. 67, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2000, pp.35-82.
4. Балабышко А.М., Суслин Ю.И., Жилин Н.М., Шмелев Ю.В. Гидравлическая система установки для приготовления рабочей среды. Патент РФ №1760990, МПК F 15 В 21/04, бюл. №33, 1992.
5. Булгаков Б.Б., Булгаков А.Б., Доброногов В.Г. Способ регенерации донных отложений мазутохранилищ и устройство для его осуществления. Патент РФ №2139467 С1, по заявке: №98111960/06, от 24.06.1998, Опубликовано 10.10.1999.
6. Воржев Ю.И., Гимбутис К.К. Устройство для подготовки водотопливной эмульсии. Патент СССР №1250686 А1, от 15.08.1986.
7. Halliday P.S.J., Smith J.G.B. Mobile mixing device for explosives. Patent GB 2126910 (A), 04.04.1984.
8. Балабышко А.М., Зимин А.И., Ружицкий В.П. Гидромеханическое диспергирование. М: Наука, 1998, с. 298.



9. Stelzer C.E., Wittek A. Mixing method and apparatus. Patent WO 0156687 (A1), 09.08.2001.

10. Спиридонов А.Н. Использование гидромеханического диспергирования для интенсификации процессов, происходящих при приготовлении промывочных жидкостей. Известия Томского политехнического университета, 2002, с.224-226.

11. Колмогоров А.Н. О дроблении капель в турбулентном потоке // Докл. АН СССР. 1949. Т. 66, № 5. С. 825-828.

12. Гегузин Я.Е. Капля. М, Наука, 1973, 160 с.

13. Landahl M.T., Mollo-Christensen E. (1992). Turbulence and Random Processes in Fluid Mechanics (2nd ed.). Cambridge University Press. p. 10. 978-0521422130.

14. George, William K. "Lectures In Turbulence For The 21st Century." Department of Thermo and Fluid Engineering, Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden (2005). 354 p.

15. Теория и практика перемешивания в жидких средах. М.: НИТЭХИМ. 1973, с.308-311.

16. Балабышко А.М., Зимин А.И., Ружицкий В.П., Ракитин А.Н. Установка для приготовления рабочей жидкости для гидросистем механизированных крепей. Патент РФ №2133890 С1, по заявке: № 97106437/06, 17.04.1997, Опубликовано: 27.07.1999.

17. Коркин А.М., Кудрявцев П.Г., Балабышко А.М., Недугов А.Н. Установка для приготовления эмульсий и суспензий. Патент РФ №2283168 С2, МПК В01F 3/08 (2006.01), по заявке: №2002102269/15, от 30.01.2002, Опубликовано: 27.07.2003 Бюл. № 21.

18. Кудрявцев П.Г. Котельникова М.В., Кудряшева О.С. Способ разделения многоатомных спиртов, например, неопентилгликоля, и формиата



натрия (варианты). Патент РФ №2340590, по заявке № 2007107727/04 от 01.03.2007.

19. Kudryashova O.S., Kudryavtsev P.G., Kotelnikova M.V. Processes of Neopentylglycol Extraction from Water Organic Mixtures. Journal "Scientific Israel - Technological Advantages", Vol.17, №1-2, 2015, pp. 85-121, ISSN: 1565-1533.

20. Кудряшева О.С., Кудрявцев П.Г. Котельникова М.В. Процессы извлечения неопентилгликоля из водно-органических систем. Часть I. Инженерный вестник Дона, №4, 2014. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2738.

21. Кудряшева О.С., Кудрявцев П.Г., Котельникова М.В. Процессы извлечения неопентилгликоля из водно-органических систем. Часть II. Инженерный вестник Дона, №4, ч.2, 2014. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2014/2745.

22. Ковалев В.М., Петренко Д.С. Технология производства синтетических моющих средств. М.: Химия, 1992, с. 145-147.

23. Коркин А.М., Балабышко А.М. Гидравлическая система установки для приготовления суспензий и эмульсий. Патент РФ №2187724 С2, по заявке: № 2000121366/06, от 16.08.2000. Опубликовано: 20.08.2002 Бюл. № 23.

24. Старцев В.Н., Балабышко А.М., Зимин А.И. Статический смеситель-диспергатор с регулируемой площадью поперечного сечения входного канала. //Тезисы докл. Междунар. научно-техн. семинара Проблемы безопасности труда на предприятиях Солигорска. Минск: 1998, с.9-13.

References

1. Encyclopedic Handbook of Emulsion Technology, edited by J. Sjöblom, 2001, New-York, Basel, Marcel Dekker, Inc., 729 p.
2. Peter C.P., Suzuki Y., Büchs J. Biotechnology and Bioengineering, Vol. 93, No 6, P. 1164-1176. doi:10.1002/bit.20827.



3. Henzler H-J. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, Vol. 67, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2000, p.35-82.

4. Balabyshko A.M., Suslin YU.I., ZHilin N.M., SHmelev YU.V. Gidravlicheskaya sistema ustanovki dlya prigotovleniya rabochej sredy. Hydraulic system installation for the preparation of the working environment. Patent RF №1760990, MPK F 15 V 21/04, byul. №33, 1992 g.

5. Bulgakov B.B., Bulgakov A.B., Dobronogov V.G. Sposob regeneracii donnyh otlozhenij mazutohranilishch i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya. [The method of regeneration of bottom sediments of oil storages and device for its implementation]. Patent RF №2139467 S1, po zayavke: №98111960/06, ot 24.06.1998, Opublikovano 10.10.1999.

6. Vorzhev YU.I., Gimbutis K.K. Ustrojstvo dlya podgotovki vodotoplivnoj ehmul'sii. [Device for the preparation of water-fuel emulsion]. Patent SSSR №1250686 A1, ot 15.08.1986.

7. Halliday P.S.J., Smith J.G.B. Mobile mixing device for explosives. Patent GB 2126910 (A), 04.04.1984.

8. Balabyshko A.M., Zimin A.I., Ruzhickij V.P. Gidromekhanicheskoe dispergirovanie. [Hydromechanical dispersion]. M: Nauka, 1998, p. 298.

9. Stelzer C.E., Wittek A. Mixing method and apparatus. Patent WO 0156687 (A1), 09.08.2001.

10. Spiridonov A.N. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2002, pp.224-226.

11. Kolmogorov A.N. p Dokl. AN SSSR. 1949. T. 66, № 5. pp. 825-828.

12. Geguzin YA.E. Kaplya. [A drop]. M., Nauka, 1973, 160 p.

13. Landahl M.T., Mollo-Christensen E. (1992). Turbulence and Random Processes in Fluid Mechanics (2nd ed.). Cambridge University Press. p. 10. 978-0521422130.



14. George, William K. "Lectures In Turbulence For The 21st Century." Department of Thermo and Fluid Engineering. Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden (2005). 354 p.

15. Teoriya i praktika peremeshivaniya v zhidkih sredah. [Theory and practice of mixing in liquid media]. M.: NITEHKHIM. 1973, pp.308-311.

16. Balabyshko A.M., Zimin A.I., Ruzhickij V.P., Rakitin A.N. Ustanovka dlya prigotovleniya rabochej zhidkosti dlya gidrosistem mekhanizirovannyh krepej. [Installation for the preparation of hydraulic fluid for mechanized roof supports]. Patent RF №2133890 S1, po zayavke: № 97106437/06, 17.04.1997. Opublikovano: 27.07.1999.

17. Korokin A.M., Kudryavcev P.G., Balabyshko A.M., Nedugov A.N. Ustanovka dlya prigotovleniya ehmul'sij i suspensij. [Installation for the preparation of emulsions and suspensions]. Patent RF №2283168 C2, MPK B01F 3/08 (2006.01), po zayavke: №2002102269/15, ot 30.01.2002, Opublikovano: 27.07.2003 Byul. № 21.

18. Kudryavcev P.G. Kotel'nikova M.V., Kudryasheva O.S. Sposob razdeleniya mnogoatomnyh spirtov, naprimer, neopentilglukolya, i formiata natriya (varianty). [The method of separation of polyhydric alcohols, for example, neopentyl glycol, and sodium formate (options)]. Patent RF №2340590, po zayavke № 2007107727/04 ot 01.03.2007.

19. Kudryashova O.S., Kudryavtsev P.G., Kotelnikova M.V. Journal "Scientific Israel - Technological Advantages", Vol.17, №1-2, 2015, pp. 85-121, ISSN: 1565-1533.

20. Kudryasheva O.S., Kudryavcev P.G. Kotel'nikova M.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), №4, 2014. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2738.



21. Kudryasheva O.S., Kudryavcev P.G., Kotel'nikova M.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), №4, ch.2, 2014. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2014/2745.

22. Kovalev V.M., Petrenko D.S. Tekhnologiya proizvodstva sinteticheskikh moyushchih sredstv. [Production technology of synthetic detergents]. M.: Himiya, 1992, pp. 145-147.

23. Korokin A.M., Balabyshko A.M. Gidravlicheskaya sistema ustanovki dlya prigotovleniya suspenzij i ehmul'sij. [Hydraulic system installation for the preparation of suspensions and emulsions]. Patent RF №2187724 S2, po zayavke: № 2000121366/06, ot 16.08.2000. Opublikovano: 20.08.2002 Byul. № 23.

24. Starcev V.N., Balabyshko A.M., Zimin A.I. Tezisy dokl. Mezhdunar. nauchno-tekhn. seminar. Problemy bezopasnosti truda na predpriyatiyah Soligorska. Minsk: 1998, pp.9-13.