

АНАЛИЗ КОАГУЛЯЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ТЕХНИЧЕСКИХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ

Е. И. МАЖУГИН, канд. техн. наук, доцент

А. Л. КАЗАКОВ, канд. техн. наук, доцент

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Горки, Республика Беларусь

Введение. При ремонте и техническом обслуживании машин в настоящее время наиболее широко используются водные растворы синтетических моющих средств (СМС), состоящих в основном из щелочных солей, вспомогательных веществ и синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ). Данные растворы имеют широкую сферу применения и используются в достаточно больших объемах. Утилизация загрязненных и непригодных к дальнейшему использованию моющих растворов представляет собой серьезную проблему, поэтому исследования по их очистке с целью продления сроков службы и снижения используемых объемов являются крайне актуальными.

Анализ источников. Схематически загрязненные жидкости можно рассматривать как гетерогенные системы, т. е. системы, характеризующиеся различием свойств в отдельных областях пространства, занимаемого системой, и существованием реальных физических поверхностей раздела между этими отдельными областями. Такие поверхности раздела существуют на границе между частицами загрязнений и очищаемыми жидкостями.

Способность дисперсных систем к разделению фаз в поле сил тяжести называется разделяемостью E , которая рассчитывается по следующей формуле [1]:

$$E = (\rho_1 - \rho) d^2 / \mu, \quad (1)$$

где ρ_1 – плотность частиц дисперсной фазы, кг/м³;

ρ – плотность дисперсионной среды, кг/м³;

d – диаметр частиц дисперсной фазы, м;

μ – динамическая вязкость дисперсионной среды, Па·с.

Как следует из уравнения (1), главным фактором, влияющим на разделяемость дисперсной системы, является крупность или диаметр частиц дисперсионной фазы. Практическим способом увеличения

диаметра является укрупнение частиц за счет их агрегатирования, в данном случае – коагуляции.

К числу возможных видов воздействия, способных вызывать коагуляцию дисперсной системы, Е. Д. Бабенков [2] относит интенсивное перемешивание, нагревание, замораживание, ультрафиолетовое облучение, ионизирующее (радиоактивное) облучение, ультразвуковую обработку, наложение электрического или магнитного полей.

В работах [3–6] предусматривается возможность очистки вод с использованием радиоактивного облучения. Эффект очистки является результатом разложения органических веществ, в том числе СПАВ, вследствие воздействия на воду жесткого радиоактивного излучения. Кроме деструкции органических веществ в облучаемой жидкости, может происходить и коагуляция. Возможность применения ионизирующих излучений для коагуляции дисперсий в настоящее время изучается.

Анализ теорий устойчивости дисперсных систем выполнен в работах Г. Фрейндлиха, Г. Мюллера, В. Оствальда, П. А. Ребиндера [7], Г. Р. Кройта [8]. Согласно их взглядам, агрегативная устойчивость дисперсных систем объясняется в основном тремя факторами стабилизации: электростатическим, структурно-механическим и адсорбционно-сольватным.

Широко распространена теория устойчивости и коагуляции, учитывающая электростатическую составляющую расклинивающего давления и его молекулярную составляющую, так называемая теория ДЛФО (Дерягин, Ландау, Фервей, Овербек) [9].

Теория электростатического фактора устойчивости дисперсных систем объясняет агрегативную устойчивость дисперсных частиц электростатическим отталкиванием и молекулярным притяжением диффузных слоев, имеющих на частицах. На границе раздела двух фаз различного химического состава происходит перераспределение электрического заряда, связанное с переходом заряженных частиц (ионов, электронов) из одной фазы в другую, что приводит к образованию равных, но противоположных по знаку зарядов на поверхностях двух фаз. Возникает двойной электрический слой (ДЭС), создающий вокруг частиц электрический потенциал и электростатический барьер. ДЭС состоит из противоположно заряженных ионов (анионов и катионов), которые возникают либо в результате избирательной адсорбции одного из ионов электролита, находящегося в моющем растворе, либо в результате ионизации поверхностных молекул вещества. Причиной возникновения ДЭС можно назвать разницу в диэлектрических свой-

ствах моющего раствора и частиц загрязнений. Согласно правилу Кое-на, из двух сопряженных непроводников фаза с большей диэлектрической постоянной заряжается положительно. В связи с этим вода, обладающая высокой диэлектрической постоянной, в большинстве случаев имеет положительный заряд, а поверхность частиц загрязнений заряжается отрицательно [10, 11].

Как известно, в случае адсорбции на частицах с гидрофобной поверхностью, к которым относятся твердые частицы загрязнений, молекулы СПАВ фиксируются на них углеводородными радикалами, а карбоксильными группами ориентируются наружу к воде, что обеспечивает диссоциацию функциональной группы, появление электростатического потенциала на поверхности частиц и соответственно агрегативную устойчивость загрязнений [8].

В водной среде из-за большой диэлектрической постоянной анионы гидратированы значительно меньше, чем катионы [9]. Из этого Г. П. Дегтеревым был сделан следующий вывод: «...вероятно, что анионы адсорбируются на поверхности частиц загрязнений в промежутках между предварительно адсорбированными молекулами СПАВ. При этом, чем меньше гидратация аниона щелочной соли и прочнее их связь с загрязнением, тем больше их остается в поверхностном слое.

Связь катионов с поверхностью загрязнений ослаблена, и они легко диссоциируют от поверхности частиц, образуя гидратную оболочку вокруг загрязнений. В результате этого образуется двойной электрический слой...» [12].

Распределение ионов вблизи поверхности раздела определяется действием противоположно направленных сил – сил молекулярного притяжения, удерживающих ионы у поверхности, сил электростатического притяжения или отталкивания и диффузионных сил, стремящихся выравнивать концентрацию ионов в объеме [12].

В результате взаимодействия этих сил катионы в моющем растворе образуют около поверхности загрязнений диффузную атмосферу. Концентрация катионов с удалением от поверхности загрязнения постепенно уменьшается. Часть ионов удерживается поверхностью на небольшом расстоянии, образуя плотный ионный слой, который называется слоем скольжения или адсорбционным слоем.

Неподвижный адсорбционный слой содержит лишь определенную часть катионов способных только понизить потенциал поверхности загрязнений, но не компенсировать ее заряд целиком. При этом в результате взаимодействия положительных и отрицательных зарядов в

адсорбционном слое остается не нейтрализованным некоторый потенциал, который является частью общего (термодинамического) потенциала поверхности загрязнений. Рассеянный диффузный слой, в котором на распределение ионов влияют силы теплового движения, является подвижным.

По поверхности скольжения между подвижным и неподвижным слоями при их движении создается разность потенциалов, называемая электрокинетическим потенциалом или дзета-потенциалом (ζ -потенциал). Величина ζ -потенциала зависит от состава моющего раствора, то есть концентрации и вида щелочных солей в моющем растворе.

По теории ДЛФО, учитывающей структурную составляющую расклинивающего давления, причина устойчивости двух сольватированных частиц заключается в том, что при их сближении сольватные слои перекрываются (по аналогии с перекрыванием ДЭС при действии электростатического фактора), возрастает осмотическое давление, следовательно, и давление отталкивания, что снижает стремление системы к коагуляции. При сближении частиц необходимо совершить работу для разрушения сольватных слоев и для частичной десорбции сольватного слоя.

В моющем растворе сольватация может иметь место только в том случае, когда поверхностные молекулы загрязнений достаточно активно взаимодействуют с молекулами моющего раствора за счет химических сил или водородных связей. Образование достаточно развитых сольватных оболочек на частицах загрязнений возможно только после их полной гидрофилизации молекулами СПАВ, то есть сольватация может обеспечить устойчивость частиц загрязнений в объеме моющего раствора только в редких случаях или может служить сопутствующим фактором стабилизации, дополняющим действие электростатических сил и структурно-механического барьера.

Присутствие в моющем растворе большего числа молекул СПАВ и ионов щелочных солей придает двойственный характер их влиянию на стабилизацию частиц загрязнений.

Анализируя возможные факторы стабилизации загрязнений в объеме моющего раствора, можно сделать заключение о том, что основными факторами стабилизации частиц загрязнений в растворах СМС являются электростатический, структурно-механический фактор, создаваемый молекулами СПАВ, и сольватационный. В объеме моющего раствора все факторы стабилизации взаимодополняют друг друга,

кроме того, большую роль играет гидратация. Схему стабилизирующего слоя представляют следующим образом (рис. 1, а) [12].

В теории ДЛФО учитывается общая энергия взаимодействия частиц. Взаимодействие крупных частиц можно рассматривать как взаимодействие между двумя плоскими параллельными пластинами, т. е. принять, что линейный размер частиц значительно больше толщины ДЭС.

Общая энергия взаимодействия между частицами, приходящаяся на единицу их площади, в общем виде равна [9]

$$U = U_0 + U_{\pi}, \quad (1)$$

где U_0 – энергия электростатического отталкивания, Дж/м²;

U_{π} – энергия молекулярного притяжения, Дж/м².

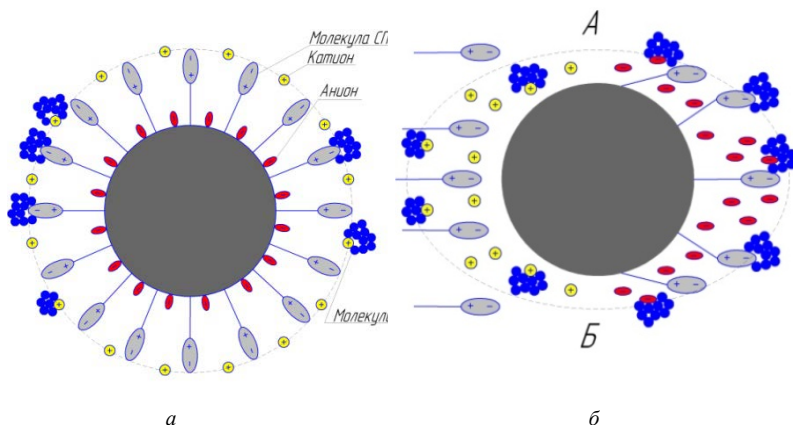


Рис. 1. Схема стабилизирующего слоя, образующегося вокруг дисперсной частицы в водном растворе СМС:

а – без внешнего воздействия; б – при воздействии магнитным полем

Выражение (1), после подстановки составляющих значений, принимает вид:

$$U = 2\varepsilon_0 \varepsilon \theta \varphi_s^2 e^{-\zeta h} - \frac{A}{12\pi h^2}, \quad (2)$$

где ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость, Ф/м;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость, Ф/м;
 θ – величина, обратная толщине диффузной части ДЭС, м⁻¹;
 ϕ_δ – электростатический потенциал диффузной части ДЭС, В;
 A – константа Гамакера, Дж;
 h – расстояние между частицами, м.

Выражение (2) определяет поведение дисперсных систем, их устойчивость или скорость коагуляции зависит от знака и значений общей потенциальной энергии взаимодействия частиц. Из выражения (2) видно, что энергия притяжения частиц U_n обратно пропорциональна квадрату расстояния между частицами h , а энергия отталкивания U_o пропорциональна толщине $1/\theta$ диффузной части ДЭС.

Таким образом, уменьшения электростатического барьера, а следовательно, уменьшения агрегативной устойчивости загрязнений, можно достичь, повлияв электромагнитной обработкой на уменьшение толщины диффузной части ДЭС и снизив тем самым потенциал ϕ_δ . В состав стабилизационных слоев, находящихся на поверхности загрязнений, входят заряженные частицы и поляризованные молекулы. Это дает основание предположить, что эти слои будут изменяться при воздействии на них магнитного поля.

Основная часть. Нами на основании проведенных предварительных исследований изучался, как наиболее приемлемый метод коагуляции загрязнений, метод магнитной обработки очищаемой жидкости.

При рассмотрении воздействия магнитного поля на агрегативную устойчивость загрязнений в моющем растворе следует учитывать, что дисперсионной средой в моющем растворе является вода, это во многом определяет поведение раствора в магнитном поле. Согласно исследованиям таких ученых, как В. И. Классен [13, 14], В. И. Миненко [15], П. С. Стукалов [16], Г. В. Никитенко [17], В. Е. Зеленков [18, 19], В. П. Порубаев [22] и др. магнитная обработка воды коренным образом изменяет ее физико-химические свойства.

В отличие от чистой воды, где благодаря равноценности всех молекул прецессии в идентичных атомах практически одинаковы, в моющем растворе (и других водно-дисперсных системах) ввиду различия поляризации молекул воды электрическими полями ионов, идентичные атомы и электронные облака не прецессируют с одинаковой частотой. Смещение электронных облаков в молекулах, непосредственно окружающих ион, в молекулах, прилегающих к гидратированному иону и в «свободных» молекулах, далеко отстоящих от иона и сохраняющих структуру воды, различно. По этой причине внутреннее маг-

нитное поле, индуцированное под воздействием внешнего магнитного поля, в различных точках моющего раствора не будет одинаковым. Точно также ввиду различной магнитной восприимчивости частиц в растворе индуцированные магнитные моменты, равные произведению магнитной восприимчивости на напряженность внешнего магнитного поля, в различных точках, для различных частиц будут отличаться один от другого.

Магнитная восприимчивость ионов выше, чем магнитная восприимчивость молекул воды, следовательно наибольшее влияние магнитное поле оказывает на ионы [15]. Изменяя распределение плотности электронных облаков ионов и молекул воды, магнитное поле изменяет структуру растворителя, энергии взаимодействия ионов с молекулами воды, являющимися непосредственным окружением ионов (ближнюю гидратацию), и поляризацию молекул в прилегающих к ионам слоях (дальнюю гидратацию), то есть изменяет структуру моющего раствора в целом. Следовательно, можно предположить, что магнитное поле оказывает сильное влияние на гидратацию. Гидратация же [9], как указывалось выше, определяет состояние границы раздела фаз «загрязнение – моющий раствор». В результате магнитной обработки моющего раствора возрастает относительное количество прочных связей между молекулами растворителя (воды), вследствие чего соотношение энергий связей изменяется, как и состояние всего раствора.

Влияние магнитного поля на моющий раствор не будет ограничиваться изменением его структуры и смещением равновесия в узлах кристаллической решетки воды. При движении моющего раствора в магнитном поле существенную роль будут играть силы Лоренца, действующие со стороны внешнего поля на заряженные частицы, которыми являются стабилизированные частицы загрязнений. Под влиянием этих сил траектории гидратированных ионов частиц загрязнений в области воздействия магнитного поля будут изменяться.

Так как стабилизированные частицы загрязнений имеют электрический заряд q , то сила F , действующая на частицы, движущиеся в магнитном поле напряженностью H , со скоростью v будет определяться по зависимости:

$$F = KqvH \sin \alpha, \quad (3)$$

где K – коэффициент пропорциональности;

q – электрический заряд частицы, Кл;

v – скорость движения частицы, м/с;

H – напряженность магнитного поля, А/м;

α – угол между направлением силовых линий магнитного поля и направлением движения частиц загрязнений, град.

Магнитное поле воздействует на молекулы воды, составляющие ближнее и дальнее окружение ионов, ослабляет связи одних и усиливает связи других. Кроме того, магнитное поле воздействует на молекулы ПАВ. Благодаря различию магнитных восприимчивостей ионов, молекул ПАВ и молекул воды магнитное поле вызывает деформацию адсорбционных оболочек, в результате чего создаются условия для уменьшения устойчивости загрязнений в объеме моющего раствора.

Под воздействием магнитного поля часть молекул ПАВ переориентируется, а часть из-за сжатия оболочки десорбируется. При этом в местах десорбции молекул ПАВ образуются зоны А и Б (рис. 1, б), по которым может происходить контактная коагуляция. Вместе с тем, вследствие переориентации молекул, на вершинах эллипсоидов создаются условия, благоприятные для агрегации частиц за счет взаимодействия молекул ПАВ.

Таким образом, магнитное поле, изменяя структуру моющего раствора и вызывая асимметрию гидратных оболочек, создает условия для снижения агрегативной устойчивости частиц загрязнений. Степень агрегации частиц загрязнений зависит, главным образом, от концентрации загрязнений в растворе, концентрации молекул ПАВ и напряженности магнитного поля. С увеличением количества отмытых загрязнений снижается концентрация ПАВ, что приводит к образованию более тонкого стабилизирующего слоя, уменьшается расстояние между частицами, что увеличивает вероятность коагуляции.

Нами [21] в лабораторных условиях при омагничивании искусственно загрязненного стандартной кварцевой пылью моющего раствора был установлен эффект коагуляции загрязнений в его объеме. Электромагнитная обработка привела к коагуляции загрязнений, находящихся в моющем растворе.

Для совмещения процесса омагничивания с гидроциклонированием моющего раствора нами было изготовлено устройство [22] для электромагнитной обработки жидкости, подвергаемой очистке гидроциклоном [23]. Результаты гидроциклонирования моющего раствора представлены на рис. 2, построенном по результатам микроскопирования проб раствора. Здесь по оси абсцисс откладывались значения размеров частиц загрязнений, по оси ординат – процентное содержание данной фракции. В связи с большим диапазоном размеров частиц за-

грязней, при построении дифференциальной кривой использовалась полулогарифмическая шкала.

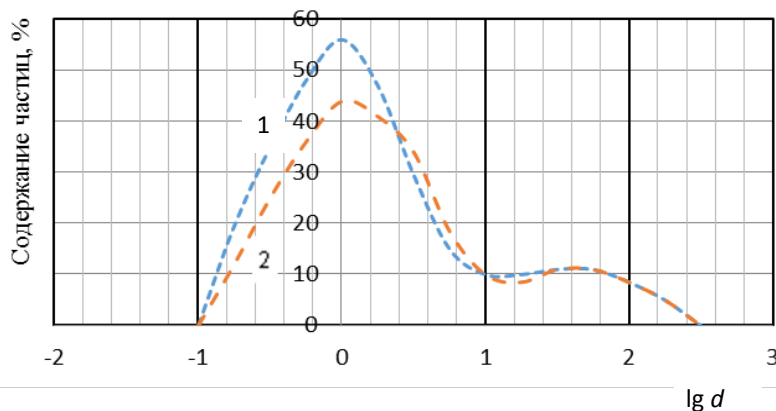


Рис. 2. Дифференциальные кривые весового распределения загрязнений в моющем растворе после гидроциклонной очистки
1 – без магнитной обработки; 2 – с магнитной обработкой

Как видно из рис. 2, при интенсификации гидроциклонной очистки электромагнитной обработкой, процентное содержание загрязнений в пробах моющего раствора после гидроциклона снизилось по сравнению с гидроциклонной очисткой без электромагнитной обработки.

При использовании магнитной обработки количество загрязнений размером до 3 мкм меньше процентного содержания загрязнений в тех же пробах раствора без обработки на 12 %. Количество загрязнений размерами от 3 мкм до 8 мкм в омагниченном растворе на 5 % выше, чем в неомагниченном, что можно объяснить образованием агрегатов из мелких загрязнений вследствие их коагуляции. Количество загрязнений размерами от 9 мкм до 250 мкм в обработанном и необработанном растворах примерно одинаково. Это можно объяснить тем, что крупные загрязнения при магнитной обработке не могут образовать устойчивых агрегатов.

Из рис. 2 следует, что общий объем загрязнений в очищенном растворе, прошедшем магнитную обработку, значительно меньше объема загрязнений, находящихся в растворе, очищенном без нее.

Процентное содержание загрязнений в пробах воды, после гидроциклонной очистки воды с магнитной обработкой и без нее, практиче-

ски одинаково и находится в пределах ошибки опыта. Т. е. можно сказать, что коагуляции загрязнений в воде не было. Все это подтверждает вышеизложенную гипотезу, объясняющую процесс магнитной коагуляции, и подтверждает работоспособность заявленного электромагнитного аппарата, способного интенсифицировать процесс гидроциклонной очистки за счет повышения эффективности удаления тонкодисперсных частиц.

Основные результаты были проверены и подтверждены в производственных условиях [24].

Заключение.

1. Очистка водных растворов СМС технического назначения является актуальной задачей.

2. Основными факторами стабилизации частиц загрязнений в растворах СМС являются электростатический, структурно-механический фактор и сольватационный. Все факторы стабилизации взаимодополняют друг друга, кроме того, большую роль играет гидратация.

3. Уменьшения агрегативной устойчивости загрязнений можно достичь электромагнитной обработкой.

4. При омагничивании искусственно загрязненного стандартной кварцевой пылью моющего раствора был установлен эффект коагуляции загрязнений в его объеме.

5. При интенсификации гидроциклонной очистки электромагнитной обработкой, процентное содержание загрязнений в пробах моющего раствора после гидроциклона снизилось по сравнению с гидроциклонной очисткой без электромагнитной обработки.

6. Содержание загрязнений в пробах воды, после гидроциклонной очистки воды с магнитной обработкой и без нее, практически одинаково и находится в пределах ошибки опыта, т.е. коагуляции загрязнений в воде нет. Это подтверждает разработанное теоретическое объяснение процесса магнитной коагуляции.

7. Основные результаты проверены и подтверждены в производственных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цитович, И. К. Курс аналитической химии / И. К. Цитович. – Москва: Высшая школа, 1985. – 400 с.
2. Бабенков, Е. Д. Очистка воды коагулянтами / Е. Д. Бабенков. – Москва: Наука, 1977. – 356 с.

3. Карташевич, А. Н. Интенсивная очистка жидкостей и газов в технических системах: монография / А. Н. Карташевич, Е. И. Мажугин. – Минск: Красико-Принт, 2002. – 290 с.
4. Мажугин, Е. И. Центробежная очистка моющих растворов при ремонте сельскохозяйственной техники: монография / Е. И. Мажугин, А. Л. Казаков, А. В. Пашкевич. – Горки: БГСХА, 2015. – 185 с.
5. Основы очистки сточных вод от радиоактивных загрязнений / Ю.В. Кузнецов [и др.]. – Москва: Атомиздат, 1974. – 360 с.
6. Пушкарев, В. В. Физико-химические особенности очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ/ В. В. Пушкарев, Д. И. Трофимов. – Москва: Химия, 1975. – 144 с.
7. Ребиндер, П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах / П. А. Ребиндер. – Москва: Наука, 1978. – 368 с.
8. Кройт, Г. Р. Наука о коллоидах / Г. Р. Кройт. – Москва: Иностранная литература, 1955. – 538 с.
9. Фролов, Ю. Г. Курс коллоидной химии / Ю. Г. Фролов. – Москва: Химия, 1989. – 464 с.
10. Моющие средства, их использование в машиностроении и регенерация / А. Ф. Тельнов [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1993. – 208 с.
11. Тельнов, Н. Ф. Технология очистки сельскохозяйственной техники / Н. Ф. Тельнов. – Москва: Колос, 1983. – 256 с.
12. Дегтерев, Г. П. Применение моющих средств / Г. П. Дегтерев. – Москва: Колос, 1981. – 239 с.
13. Классен, В. И. Омагничивание водных систем / В. И. Классен. – Москва: Химия, 1982. – 296 с.
14. Классен, В. И. О влиянии магнитной обработки воды на агрегативную устойчивость суспензии / В. И. Классен, Ю. З. Зиновьев // Коллоидный журнал. – 1967. – Т. 29. – № 5. – С. 758–759.
15. Миненко, В. И. Магнитная обработка водно-дисперсных систем / В. И. Миненко. – Киев: Техника, 1970. – 165 с.
16. Стукалов, П. С. Магнитная обработка воды / П. С. Стукалов, Е. В. Васильев, Н. А. Глебов. – Ленинград: Судостроение, 1969. – 190 с.
17. Никитенко, Г. В. Аппараты магнитной обработки воды для котельных низкого давления агропромышленного комплекса: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.02 / Г. В. Никитенко; Кубан. гос. аграр. ун-т. – Краснодар, 2004. – 45 с.
18. Зеленков, В. Е. Применение магнитной обработки воды, растворов и пульп в различных технологических процессах / В. Е. Зеленков, Ю. И. Малихов, Ю. К. Чернов // Очистка сточных и оборотных вод. – Москва: Металлургия, 1971. – С. 182–189.
19. Зеленков, В. Е. Изменение диамагнетизма воды при магнитной обработке / В. Е. Зеленков, Ю. К. Чернов // Очистка сточных и оборотных вод. – Москва: Металлургия, 1971. – С. 155–165.
20. Влияние магнитной обработки на процесс очистки растворов от ионов цинка / В. П. Порубаев [и др.] // Очистка сточных и оборотных вод. – Москва: Металлургия, 1971. – С. 165–174.
21. Мажугин, Е. И. Исследование влияния магнитной обработки на седиментацию загрязнений в воде и моющем растворе Лабомид-203 / Е. И. Мажугин, А. Л. Казаков // Агропанорама. – 2006. – № 6. – С. 35–39.
22. Электромагнитный аппарат: пат. 6224 Респ. Беларусь, МПК В 01J 19/12. / Е. И. Мажугин, А. Л. Казаков; заявитель УО БГСХА. – № u 20090825; заявл. 12.10.2009;

опубл. 16.02.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 3. – С. 161–162.

23. Гидроциклон: пат. 2457 Респ. Беларусь, МПК В 04С 5/14. / Е. И. Мажугин, А. Н. Карташевич, А. Л. Казаков; заявитель Бел. гос. с/х акад. – № u 20050113; заявл. 04.03.2005; опубл. 28.02.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 1. – С. 166–167.

24. Мажугин, Е. И. Результаты определения эффективности интенсификации гидроциклонной очистки моющих растворов в условиях ремонтного производства / Е. И. Мажугин, А. Л. Казаков // Вестник БГСХА. – 2007. – № 3. – С. 106–107.

Аннотация. Обоснована актуальность очистки водных растворов СМС технического назначения. Теоретическим анализом установлено, что основными факторами стабилизации частиц загрязнений в растворах СМС являются электростатический, структурно-механический и сольватационный факторы. Все факторы стабилизации дополняют друг друга. Показано, что уменьшения агрегативной устойчивости загрязнений можно достичь электромагнитной обработкой раствора.

Приведены основные результаты экспериментальных исследований. Основные результаты проверены и подтверждены в производственных условиях.

Ключевые слова: водные растворы моющих средств, двойной электрический слой, магнитная обработка воды, гидроциклонирование.

УДК 621.436.004:665.753.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

А. Н. КАРТАШЕВИЧ¹, д-р техн. наук, профессор
А. В. ГОРДЕЕНКО¹, канд. техн. наук, доцент
О. В. ПОНТАЛЕВ², канд. техн. наук, доцент

¹УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Горки, Республика Беларусь

²УО «Барановичский государственный университет»,
Барановичи, Республика Беларусь

Введение. Одна из важнейших эксплуатационных характеристик дизельного топлива – его низкотемпературные свойства, характеризующие подвижность топлива при отрицательной температуре. В ди-