

5. Биологическая диагностика и индикация почв: Краткий курс лекций / под ред. И. Н. Безкорованной. Красноярск, 2001. 188 с.
6. Викторов С. В., Ремезова Г. Л. Индикационная геоботаника. М.: Изд-во МГУ, 1988. 168 с.
7. Головчиц В. А., Чумаков Л. С. Биологический мониторинг окружающей среды. Минск, 2002. 50 с.
8. Боронина Л. В., Байдулова М. К. Комплексный экологический мониторинг водных источников на примере Волго-Ахтубинской поймы // Стратегия устойчивого развития регионов России: сборник материалов XXXIII Всероссийской научно-практической конференции. Новосибирск, 2016. С. 60–65.

© М. К. Байдулова, И. В. Волкова, Л. В. Боронина

Ссылка для цитирования:

Байдулова М. К., Волкова И. В., Боронина Л. В. Результаты биотестирования почвы при проведении мониторинга полигонов твердых бытовых отходов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2016. № 4 (18). С. 44–48.

УДК 696.42

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ВЯЗКОСТЬ ЖИДКОГО ТОПЛИВА

Р. В. Муканов, В. Я. Свинцов

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

Использование мазута при производстве энергии порождает определенные трудности при его транспортировке, хранении и сжигании. Анализ современной литературы показал, что существуют методы диспергирования и сжигания, основанные на инновационных электротехнологиях; в качестве примера можно привести электростатическое диспергирование. Экспериментальные исследования, проведенные на разработанной авторами экспериментальной установке, показали, что при воздействии на топливо электростатического поля происходит изменение его физических характеристик – поверхностного натяжения и вязкости. В дальнейшем это позволит уменьшить затраты на нагрев топлива перед сжиганием в электростатических форсунках и горелках. Полученные результаты будут положены в основу методики проектирования устройства электростатического диспергирования с прогнозируемыми параметрами.

Ключевые слова: электростатическое диспергирование, мазут, жидкая среда, электродная система, высокопотенциальное электростатическое поле, коэффициент поверхностного натяжения, динамическая вязкость.

INFLUENCE ELECTROSTATIC FIELD ON THE VISCOSITY OF THE LIQUID FUEL

R. V. Mukanov, V. Ya. Svintsov

Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

The use of fuel oil in energy production imposes certain difficulties in its transport, storage and incineration. Analysis of modern literature has shown that there are dispersion and combustion technology based on innovative electrotechnology, as an example, electrostatic dispersion. Experimental studies conducted on the pilot plant developed by the authors showed that when exposed to fuel an electrostatic field is changing its physical properties: surface tension and viscosity. In the future this will reduce the costs of heating the fuel prior to combustion by dispersing it in the electrostatic atomizers and burners. The results will form the basis for a technique of electrostatic dispersion device design with the predicted parameters.

Keywords: electrostatic dispersion, heating oil, liquid medium, electrode system, high potential electrostatic field, surface tension, dynamic viscosity.

В настоящее время в теплоэнергетике в качестве топлива для выработки тепловой и электрической энергии в регионах, где отсутствует централизованное газоснабжение, в большинстве случаев используется топочный мазут. Статистика за 2016 г. показывает, что из-за падения стоимости нефти на мировом рынке стоимость мазута в России в январе 2016 г. стала меньше практически в три раза по сравнению с тем же периодом 2014 г. Парадоксальная ситуация привела к тому, что в некоторых случаях сжигать мазут для производства энергии стало дешевле, чем использовать газ. В настоящее время стоимость мазута на рынке составляет 2,7 тыс. руб. за тонну [1], что в 3,7 раза ниже, чем в середине 2015 г. В связи с этим некоторые теплогенерирующие компании начинают переводить часть своих активов на работу с мазутом. Падение цен на мазут и постоянный рост цены на газ делают такой перевод рентабельным.

В отличие от газа, использование мазута предполагает определенные сложности при его транспортировке, хранении, и сжигании [2]. Например, для слива мазута в емкости для хранения необходимо его подогревать: мазут марки М40 – до 30 °С, мазута марки М100 – до 60 °С, а для снижения вязкости при диспергировании и сжигании мазут подогревают до температуры, величина которой определяется маркой мазута и типом устройства диспергирования [3] (см. табл. 1).

Очевидно, что необходимость подогрева мазута усложняет технологическую схему и увеличивает затраты на производство тепловой энергии. Вместе с тем разработка новых способов диспергирования может в определенной степени решить эту проблему без значительного нагрева мазута. В частности, это относится к разработке устройств диспергирования на базе нового энергоэффективного метода с использованием энергии высокопотенциального электростатического поля [4].

Режимы подогрева мазута для форсунок различных типов

Тип форсунок	Температура подогрева мазута, °С, для марки мазута		
	M40	M100	M200
Механического и паромеханического распыливания	100	120	130
Механического распыливания ротационные	85	105	110
Воздушного распыливания низконапорные	90	110	115
Парового или воздушного распыливания высоконапорные	85	105	110

Проводимые нами экспериментальные исследования [5–8] процесса диспергирования в электростатическом поле показали, что наряду с улучшением собственно процесса диспергирования и уменьшением энергозатрат высокопотенциальное электростатическое поле оказывает значительное влияние на большинство физических характеристик распыливаемой жидкой среды, в частности на уменьшение коэффициента поверхностного натяжения мазута в зависимости от величины электростатического поля [8].

Кроме того, наблюдаемый в этих экспериментах процесс истечения показал, что увеличение напряжения на электродной системе сопровождается увеличением скорости истечения при неизменных температуре и геометрических параметрах канала истечения.

Этот результат может быть объяснен только уменьшением вязкости топлива, подвергшегося воздействию высокопотенциального электростатического поля.

Наблюдаемый нами эффект уменьшения вязкости в электростатическом поле хорошо согласуется с аналитической зависимостью изменения коэффициента поверхностного натяжения σ и коэффициента динамической вязкости η [9–10]:

$$\sigma = \frac{4 \cdot \eta \cdot l \cdot Q}{\pi \cdot R^3} \quad (1)$$

Из этого выражения следует, что при неизменных геометрических параметрах канала истечения и расхода η будет соответствовать:

$$\eta = \frac{\pi \cdot \sigma \cdot R^3}{4 \cdot l \cdot Q} \quad (2)$$

где η – динамическая вязкость; σ – коэффициент поверхностного натяжения; l – длина капиллярного канала вискозиметра; R – радиус капиллярного канала вискозиметра; Q – объем жидкости, вытекающей из капилляра за единицу времени.

Учитывая, что уменьшение величины поверхностного натяжения σ пропорционально квадрату U (q, E) [11],

$$\begin{aligned} \sigma_q &= \sigma - \varepsilon \cdot \frac{\varepsilon_0}{4} \cdot \frac{U^2}{r} \\ \sigma_q &= \sigma - \frac{q^2}{\varepsilon \cdot 64 \cdot \varepsilon_0 \cdot \pi^2 \cdot r^3} \\ \sigma_q &= \sigma - \frac{r}{4} \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2 \end{aligned} \quad (3)$$

где $\varepsilon = 1 + 2 \cdot (\varepsilon_p - 1) / (\varepsilon_p + r)$ – относительная диэлектрическая проницаемость; ε_p – диэлектрическая постоянная; U – потенциал электродной группы; ε_0 – постоянная электрического поля, для воздуха; E – напряженность электростатического поля; q – заряд на электродной группе; σ_q – коэффициент поверхностного натяжения под действием поля; σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости; r – начальный радиус капли при истечении из канала без воздействия поля.

Обобщая приведенные выше положения о связи динамической вязкости с величиной воздействия электростатического поля $\eta = f(U)$, можно сделать вывод, что она тоже будет квадратичной, а связь между σ и η может быть представлена в следующем виде:

$$\sigma = K \cdot \eta \quad (4)$$

$$\eta = K \cdot \sigma \quad (5)$$

Для установления количественных характеристик σ от U была использована апробированная нами в экспериментах установка на базе модернизированного сталагмометра.

При разработке экспериментальной установки в основу были положены результаты экспериментальных исследований электрического метода распыления пищевых продуктов, изложенные в работе [5]. К числу основных конструктивных характеристик, которые должны быть учтены при конструировании, относятся диаметр электрода-капилляра, из которого происходит истечение, а также форма второго электрода.

В разработанной нами экспериментальной установке в качестве капилляра 1 (см. рис. 1), из которого происходит истечение, применялась металлическая игла диаметром 0,51 мм, закрепленная неподвижно на платформе из электроизолирующего материала. Ниже капилляра расположен высоковольтный электрод 2, имеющий форму диска диаметром значительно (более чем в 300 раз) больше диаметра капилляра и расположенный на его оси. Электроизолирующая платформа позволяет менять расстояние от капилляра до электрода-диска (то есть изменять геометрию электрического поля), а также работать с высоковольтными электродами разной формы и размеров. К капилляру блока подачи исследуемого вещества подключен высоковольтный блок питания, состоящий из повышающего трансформатора и высоковольтного выпрямительного столба.

Он позволяет подавать на электродную систему блока подачи исследуемого вещества напряжение в диапазоне от 0 до 30 кВ. Исследуемая жидкость подавалась для обеспечения одинакового расхода в экспериментах посредством погружного насоса 3.

Схема высоковольтного блока питания (ВВБ) показана на рис. 2. В качестве повышающего трансформатора выбран измерительный трансформатор ЗНОМ-35-65 (рис. 3) с максимальным значением напряжения 35 кВ при мощности 1 кВт (в табл. 2 приведены основные параметры ВВБ). Измерительный трансформатор ЗНОМ-35-65 используется как повышающий с коэффициентом трансформации 300.

Однополупериодный выпрямитель изготовлен на базе высоковольтного селенового выпрямительного столба 15 ГЕ 144 ОУ-С с верхним пределом напряжения 40 кВ и током до 0,75 А.

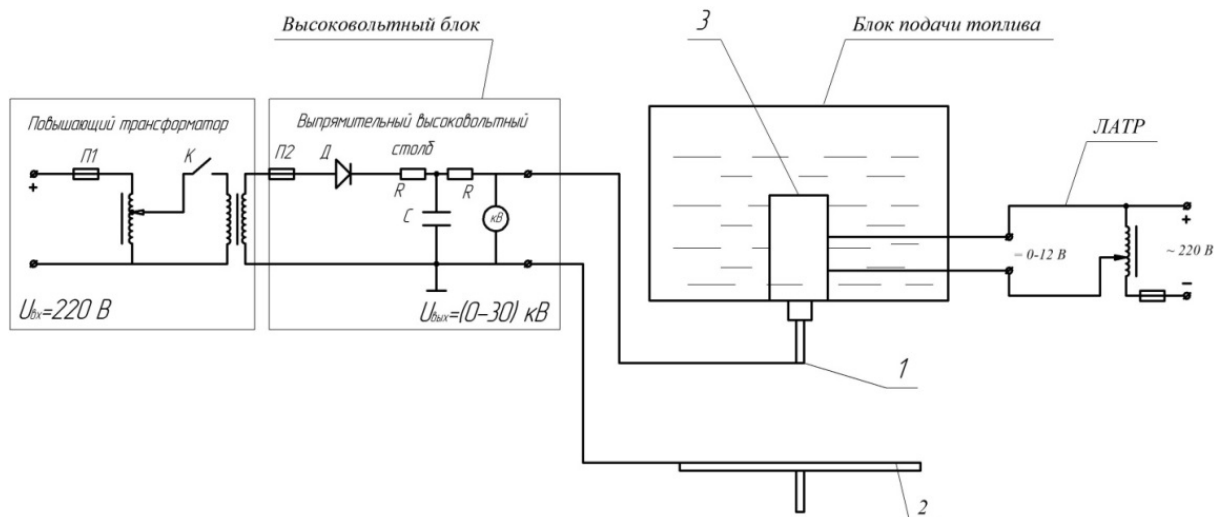


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки: 1 – электрод-капилляр; 2 – плоский электрод-диск; 3 – насос для подачи исследуемой жидкости

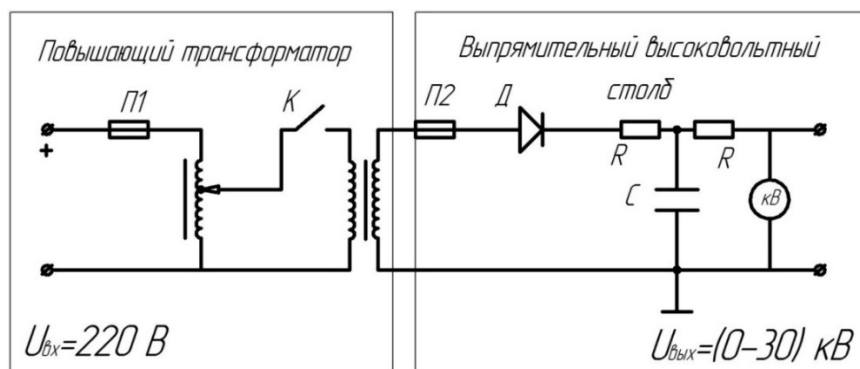


Рис. 2. Схема высоковольтного блока

Таблица 2

Параметры высоковольтного блока ЗНОМ-35-65

Тип	Номинальные напряжения обмотки ВН, кВ	Номинальная мощность, ВА	Предельная мощность, ВА	Масса, кг	Длина × ширина × высота, мм
ЗНОМ-35-65 У1 (Т1)	27,5	150-400	1000	82	495 × 377 × 955



Рис. 3. Измерительный трансформатор ЗНОМ-35-65



Рис. 4. Общий вид электростатического киловольтметра марки С196

Высоковольтный столб помещен в емкость, заполненную трансформаторным маслом. Электрические вводы к высоковольтному столбу осуществляются через фарфоровые изоляторы от измерительного высоковольтного трансформатора.

Первичная обмотка подключается к сети 220 В. К внутренней первичной обмотке трансформатора подключен конечный выключатель, исключающий подачу напряжения на первичную обмотку трансформатора, когда в опасной зоне работает персонал. Напряжение $U_{\text{вых}}$ с выхода блока питания подавалось на распылительный узел, который представляет собой или резистивно-емкостную нагрузку при наличии токов утечки между электродами распылителя, или чисто емкостную нагрузку при отсутствии токов утечки.

Напряжение, подаваемое на распылительный узел, фиксировалось электростатическим вольтметром С196 (см. рис. 4), имеющим три шкалы: на 7,5 кВ, 15 кВ и 30 кВ. Класс точности киловольтметра 0,5. При помощи электростатического вольтметра возможно измерение величины напряжения как постоянного, так и переменного тока. Разработанная методика экспериментальных исследований заключается в следующем. Предварительно с помощью высокоточных электронных весов производится взвешивание пустой бюретки, которая далее устанавливается соосно под нижней поверхностью капиллярного канала блока подачи топлива для дальнейшего сбора исследуемого вещества при проведении эксперимента. Подготовленное к исследованию вещество, в данном случае мазут Ф5, помещается в блок подачи топлива, который подключается к ВВБ. Измерения начинают при нулевом потенциале высоковольтного блока экспериментальной установки.

Под действием сил тяжести и создаваемого насосом напора исследуемое вещество из блока подачи поступает в металлический электрод-капилляр, в котором и происходит формирование капли. Формирование одиночной капли

определяется действием внешних сил и сил поверхностного натяжения. В соответствии с законом Лапласа:

$$\Delta P = \frac{2 \cdot \sigma}{r} = \frac{4 \cdot \sigma}{d} \quad (6)$$

где Δp – перепад гидростатического давления на линии раздела фаз, Па; r – отрывной радиус капли, м; σ – поверхностное натяжение капли, Н/м; $d_{\text{кр}}$ – отрывной диаметр капли, м;

$$d_{\text{кр}} = \frac{4 \cdot \sigma}{\Delta P} \quad (7)$$

При достижении критического диаметра $d_{\text{кр}}$ происходит отрыв капли от капилляра, и исследуемое вещество попадает в бюретку.

Так как масса одиночной капли мала и несопоставима с массой бюретки, для повышения точности исследования эксперименты проводились при отрыве 100 капель.

После сбора в бюретке 100 капель исследуемое вещество взвешивалось, и рассчитывался диаметр одиночной капли, истекающей из капилляра, по следующей формуле:

$$d_{\text{кр}} = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot m_{100}}{4 \cdot \pi \cdot n \cdot \rho}} \quad (8)$$

где $d_{\text{кр}}$ – отрывной диаметр капли, м; m – масса исследуемого вещества, кг; σ – поверхностное натяжение капли, Н/м; π – число Пи; n – число капель исследуемого вещества в бюретке, шт.; ρ – плотность жидкого топлива.

Далее рассчитывался коэффициент поверхностного натяжения:

$$\sigma = \frac{m \cdot g}{\pi \cdot d \cdot n} \quad (9)$$

где m – масса исследуемого вещества, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; π – число Пи; d – диаметр капилляра, м; n – число капель исследуемого вещества в опыте; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м.

В таблице 3 приведены экспериментальные данные значения величины поверхностного натяжения и диаметра образующихся капель истечения для мазута Ф5 (см. рис. 5). Эксперименты проводились при температуре 20 °С.

Таблица 3

Результаты при определении дисперсных характеристик и величины коэффициента поверхностного натяжения капель чистого флотского мазута Ф5

Вид топлива		Напряжение, кВ							
		0	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Мазут Ф5	Диаметр капли $d \times 10^3, \text{ м}$	2,21	2,13	2,01	2,00	1,82	1,73	1,47	-
	Коэффициент поверхностного натяжения $\sigma, 10^3 \text{ Н/м}$	7,99	7,41	6,61	6,54	5,42	4,89	3,53	-

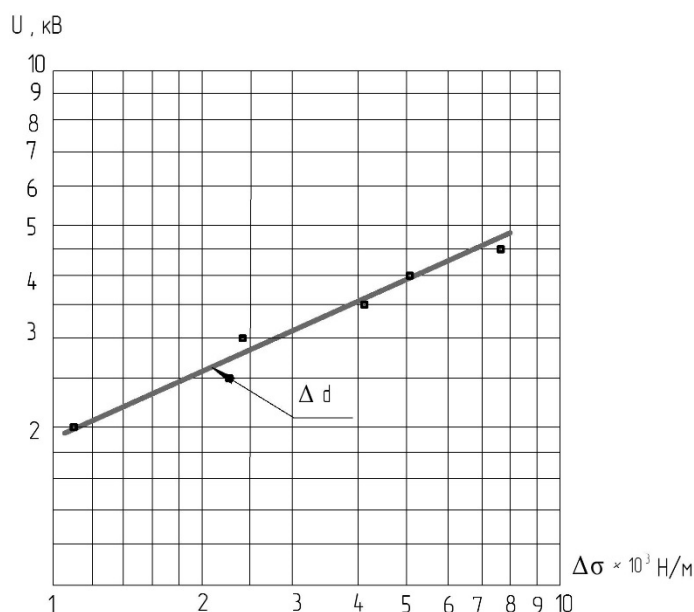


Рис. 5. Графическая зависимость изменения $\Delta\sigma$ от U

Согласно ГОСТ 10585-75, динамическая вязкость мазута при 20 °С составляет не более 2,7 Па·с; тогда по экспериментальному значению σ , определенному без воздействия электростатического поля (см. табл. 3), можно вычислить коэффициент K для флотского мазута Ф5.

$$K = \frac{\sigma}{\eta} = \frac{7.99 \cdot 10^3}{2.7} = 2.959 \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{Па} \cdot \text{с}} \quad (10)$$

Аналогично можно определять коэффициент для любого сорта топлива, если известны параметры динамической вязкости и поверхностного натяжения или их значения определены экспериментально. Применительно к электростатическому диспергированию можно сказать, что динамическая вязкость уменьшилась в 2,26 раза в диапазоне от 0 до 4,5кВ.

Так как зависимости σ (1) и η (2) при прочих равных условиях имеют линейный характер, то, зная коэффициент K для используемого при электростатическом диспергировании топлива, можно определить изменение динамической вязкости в зависимости от коэффициента поверхностного натяжения, который, в свою очередь, изменяется под действием электростатического поля. В работе [8] на основе экспериментальных данных получены кривые изменения коэффициента поверхностного натяжения в зависимости от величины электростатического поля, а также их математические выражения. Зная значение σ , а значит и напряжение U , можно определить значение динамической вязкости при данном напряжении электродов электростатического устройства диспергирования.

Список литературы

1. Фомичева А., Скорлыгина Н., Барсуков Ю. Мазут выходит из резервов: Энергетикам выгоднее жечь его, а не газ. URL: <http://www.kommersant.ru/doc/2902208> (дата обращения: 28.11.2016).
2. Щелоков Я. М. Мазут как топливо: рекомендации по рациональному использованию // Новости теплоснабжения. 2001. № 6 (10). С. 15–18.
3. Кулагин Т. А., Каютин О. Типичные проблемы сжигания жидких топлив в топках малого объема на примере работы АБЗ // Вестник КрасГАУ. 2007. № 2. С. 153–157.
4. Электростатическое распыление. URL: <http://www.lkmportal.com/enc/elektrostaticheskoe-raspylenie> (дата обращения: 28.11.2016).
5. Свинцов В. Я. Влияние электрического поля на физические характеристики биосырья // Хранение и переработка сельхозсырья. 1995. № 6. С. 14–15.

6. Свинцов В. Я., Муканов Р. В. Новый метод сжигания жидкого топлива в топочных устройствах котельных агрегатов // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 21–23.
7. Свинцов В. Я., Шматова Е. Н., Хлыстунов М. С., Муканов Р. В. Электростатический способ диспергирования жидких топлив применительно к котельным установкам // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С. 255–258.
8. Муканов Р. В., Свинцов В. Я., Дербасова Е. М. Исследование процесса электростатического диспергирования // Вестник МГСУ. 2016. № 5. С. 130–139.
9. Марков И. И., Хрынина Е. И. О взаимосвязи коэффициента поверхностного натяжения и коэффициента вязкости жидкости // Вестник Северо-Кавказского технического университета. МО РФ СКГТУ. АТН РФ. 2004. № 1 (8). С. 80–82.
10. Марков И. И., Камениченко Е. И., Хрынина Е. И. О взаимосвязи коэффициента поверхностного натяжения с коэффициентом вязкости // Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону : материалы XIII региональной конференции. Ставрополь, 2009. Т. 1. С. 273–274.
11. Пажид Д. Г., Галустов В. С. Основы техники распыливания жидкостей. М. : Химия, 1984. 256 с.

© Р. В. Муканов, В. Я. Свинцов

Ссылка для цитирования:

Муканов Р. В., Свинцов В. Я. Влияние электростатического поля на вязкость жидкого топлива // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2016. № 4 (18). С. 48–53.

УДК 628.35

МОДИФИКАЦИЯ РИСОВОЙ СОЛОМЫ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД ОТ ИОНОВ АММОНИЯ

Н. С. Серпокрялов, В. Ю. Борисова, А. Халил, Н. В. Кондакова

Донской государственный строительный университет (г. Ростов-на-Дону)

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова

(г. Новочеркасск)

Университет Кафр Эль-Шейх (Республика Египет)

Для придания сорбционных свойств исследована активация рисовой соломы из Египта с целью извлечения ионов NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- из природной воды. Проведен сравнительный анализ разного вида термической обработки материала.

Ключевые слова: рисовая солома, ионный обмен, сорбция, термическая обработка.

MODIFICATION OF RICE STRAW WITH THE AIM OF OBTAINING SORPTION MATERIAL FOR PURIFICATION OF WATER MEDIA FROM AMMONIUM IONS

N. S. Serpokrilov, V. Yu. Borisova, A. Khalil, N. V. Kondakova

Don State Building University (Rostov-on-Don)

South-Russian State Technical University (NPI) to M. I. Platov (Novocherkassk)

University of Kafr El-Sheikh (Republic of Egypt)

To give sorption properties of the investigated activation of rice straw from Egypt to extract the ions NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- from natural water. A comparative analysis of the different types of heat treatment of rice straw was studied in this article.

Keywords: rice straw, ion exchange, sorption, heat treatment.

По данным Всемирной организации здравоохранения, более половины всех болезней на планете происходит от загрязнения воды, связанного с негативным антропогенным и техногенным воздействием на окружающую среду.

На Земле есть отдельные районы, где вода отличается высоким содержанием азота в виде аммонийных солей, нитритов и нитратов [1].

Присутствующий аммонийный азот является одной из основных причин эвтрофирования водоемов, оказывает токсичное воздействие на живые организмы водоемов, способствует увеличению расходования обеззараживающих реагентов и времени обеззараживания на водоочистных установках. Из этого следует, что очистка природных вод от примесей группы азота – актуальная задача, требующая сбаланси-

рованных экологических и экономических решений.

Одним из наиболее перспективных и экономически целесообразных методов удаления соединений азота является ионный обмен. Для этого метода характерна высокая эффективность, надежность в условиях колебания расходов воды, возможность осуществлять процесс в широком диапазоне концентраций, независимость от климатических факторов, возможность автоматически регулировать процесс [2].

В последние годы для удаления ионов тяжелых металлов, ионов солей, растворенных в воде, стали успешно применять сорбционные материалы на основе растительных отходов: скорлупы кокосового и кедрового орехов,