

УДК 66.013.8

**ВЛИЯНИЕ АМПЛИТУДЫ ПУЛЬСАЦИЙ СКОРОСТИ ПОТОКА  
НА ДИСПЕРСНОСТЬ ЭМУЛЬСИИ НА ОСНОВЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ****В.А. ДРОНЧЕНКО***(Полоцкий государственный университет)*

*Дана оценка нефтесодержащим отходам, образующимся на участке по разборке и очистке технологического оборудования. Предложены способы их переработки и утилизации. Проведен анализ влияния амплитуды пульсаций скорости потока на процесс эмульгирования двух несмешивающихся жидкостей, одной из которых являются нефтесодержащие отходы. Расчеты проведены для отходов с различной плотностью. Даны рекомендации, позволяющие повысить потребительские качества получаемой эмульсии.*

**Ключевые слова:** *геоэкология, утилизация, нефтесодержащие отходы, дисперсность, стабильность эмульсии.*

**Введение.** В результате производственной деятельности предприятия образуются опасные для рабочих и окружающей среды отходы. По данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды в Республике Беларусь в 2017 году образовалось 55 506 тыс. тонн отходов производств. Использовано, передано за год лишь 15 798 тыс. тонн [1]. Таким образом, в Республике Беларусь масса отходов производств за это время увеличилась и превысила 1,17 млрд тонн. При таком темпе прироста (3...4% в год) отходов на предприятиях республики через 25...30 лет будет находиться более двух миллиардов тонн отходов, которые даже при соблюдении всех существующих правил и норм хранения и захоронения представляют потенциальную опасность как для работников этих предприятий, так и для окружающей среды в целом [2; 3].

Темпы прироста отработанных растворов и отходов эмульсий и смесей нефтепродуктов (НП) превышают от 3 до 10 раз темпы прироста отходов в среднем по республике [4], что требует проведения соответствующих мероприятий, направленных на улучшение ситуации. Среди таких отходов особое место занимают отработанные растворы технических моющих средств (ТМС) и нефтесодержащие отходы (НСО) участка по разборке и очистке технологического оборудования, которые, с одной стороны, представляют угрозу для здоровья и жизни работников предприятий, населения и окружающей среды, а с другой – содержат моторные и трансмиссионные масла, консистентные смазки, топливные фракции, смазочно-охлаждающие технические средства (СОТС), промывочные жидкости и другие вещества, которые могут быть не только веществами, угрожающими окружающей среде, но и ценным сырьем, позволяющим снизить зависимость страны от импорта [3; 5].

Говоря о маслах, доля которых в нефтесодержащей составляющей отходов участка по разборке и очистке технологического оборудования составляет 94% [2], следует отметить неудовлетворительное состояние вопроса с их сбором и утилизацией, требующее безотлагательной его проработки. Так, в Республике Беларусь ежегодно потребляется около 100 тысяч тонн автомобильных и промышленных масел [6], а количество отходов, образующихся в результате их использования, составляет 80...85% от их первоначального объема. Ежегодно предприятиями страны собирается и перерабатывается (без учета сжигания) всего 8300 тонн отработанных масел, что составляет менее 10% от потребления [6]. Между тем мировой сбор отработанных масел составляет более 50% производства свежих [7]. Как видим, Республика Беларусь в настоящее время существенно отстает от промышленно развитых стран, хотя и в странах Евросоюза до 1,4 млн тонн масел в год просто сливается в окружающую среду либо нелегально сжигается [7].

В качестве комплексного решения в части исключения вредного влияния на здоровье рабочих и окружающую среду НСО предлагается их переработка и утилизация. В частности, в Полоцком государственном университете проводятся исследования с целью разработки технологии приготовления мелкодисперсной эмульсии из НСО с возможностью использования отработанных растворов ТМС [2; 5; 8; 9]. В процессе приготовления эмульсии поверхности раздела двух несмешивающихся жидкостей разрушаются ударными волнами, возникающими при работе пневматического излучателя (ПИ). Использование этой технологии позволит защитить окружающую среду от вредного воздействия НСО. Для усовершенствования технологии получения эмульсии с требуемой стабильностью необходима оценка влияния амплитуды пульсаций скорости потока на стабильность эмульсии.

**Основная часть.** Процесс распада зависит от вязкости, плотности и поверхностного натяжения жидкости, а также скорости течения и амплитуды её пульсации. Влияние вынуждающей силы резко ускоряет процесс [10]. Генерируя в ёмкости с жидкостями пневматическим излучателем ударно-волновые процессы, можно достигнуть роста нестабильности поверхности раздела и её разрушения. В объёме

жидкости кроме волновых явлений около ПИ будут возникать кавитационные процессы с образованием в жидкости воздушных полостей с последующим их быстрым захлопыванием [10]. При этом жидкость в окрестности воздушного пузыря и часть нижележащей жидкости перемещаются по направлению к центру захлопывающегося пузыря. Образующиеся струи дробят капли эмульсии.

Стабильность эмульсии (способность сохранять свои первоначальные свойства по всему объему с течением времени) определяется объемом выделившегося неэмульгированного вещества в процентах от общего объема эмульсии [9]. На стабильность эмульсии влияют ее концентрация, размер частиц и вязкость, с одной стороны, а также число возможных рекомбинаций, т.е. слияние мелких капель жидкости в более крупные – с другой.

Скорость оседания капель воды в эмульсии выражается формулой Стокса, которая показывает, что скорость оседания капли пропорциональна квадрату её радиуса. Чем меньше радиус капли, тем выше стабильность эмульсии. Так, например, при размере в 30...50 мкм капля будет оседать более месяца на глубину до одного метра [2]. Поэтому для получения стабильной эмульсии необходимо стремиться к уменьшению размеров капель воды в эмульсии.

**Механизм образования эмульсии на основе нефтесодержащих отходов.** Разрушение поверхностных разделов сред при эмульгировании, распад струй и капель рассматривались в [10]. В основе процесса формирования эмульсий лежит потеря гидродинамической устойчивости течения двух жидкостей. Разрушение раздела двух несмешивающихся жидкостей происходит с проникновением тяжелой жидкости в более легкую [10], сначала в виде узкого клина, который с ростом возмущения поверхности разрывается на капли.

Для упрощения расчета выбрана форма импульсной функции  $\psi(\tau)$ , представленная на рисунке 1, и введены следующие безразмерные величины:  $\tau = \omega t$  – безразмерное время (где  $\omega$  – круговая частота пульсаций скорости,  $t$  – время);  $\Omega = \rho_1 / \rho_2$  – безразмерная плотность (где  $\rho_1$  – плотность НСО,  $\rho_2$  – плотность воды);  $E = \Delta v / v_0$  – безразмерная амплитуда пульсаций скорости потока (где  $v_0$  – начальная скорость потока;  $\Delta v_0$  – изменение скорости потока);  $\Lambda = \sigma \varphi / \rho_1 v_0^2$  – безразмерное волновое число (где  $\sigma$  – поверхностное натяжение,  $\varphi = 2\pi/\lambda$  – волновое число,  $\lambda$  – длина волны);  $Sh = \sigma \omega / \rho_1 v_0^3$  – критерий Струхалы.

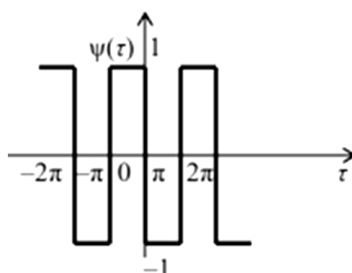


Рисунок 1. – Расчетная схема импульсной функции  $\psi(\tau)$

Все это позволило получить уравнение, описывающее движение поверхности раздела двух несмешивающихся жидкостей в виде обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка

$$U'' + (a + b\psi)U = 0, \quad (1)$$

где  $a = \frac{1}{Sh^2} \left( \frac{2\Lambda^3}{1-\Omega} + \Lambda^2(1+E^2) \right)$ ,  $b = 2\Lambda^2 \frac{E}{Sh^2}$ .

Уравнение (1) является аналогом уравнения Хилла [11; 12] и имеет решение в следующем виде:

$$U(\tau) = e^{\mu\tau} \phi(\tau), \quad (2)$$

где  $\mu$  – характеристический показатель, зависящий от  $a$  и  $b$ ;  $\phi(\tau)$  – периодическая функция с действительным периодом  $2\pi$ .

Решение (2) будет устойчивым или неустойчивым в зависимости от того, будет ли характеристический показатель  $\mu$  мнимым или будет иметь действительную часть. Именно действительная часть характеристического показателя позволяет определить параметры работы пневматического излучателя, соответствующие максимально растущему возмущению. То есть именно характеристический показатель определяет длину волны наиболее неустойчивого возмущения поверхности раздела двух сред и размер капель воды в эмульсии на основе НСО.

Полученная формула позволяет вычислить значения характеристического показателя  $\mu$  для выбранной формы импульсной функции  $\psi(\tau)$ :

$$ch2\pi\mu = \cos(\pi\sqrt{a+b})\cos(\pi\sqrt{a-b}) - \frac{a}{\sqrt{a^2-b^2}}\sin(\pi\sqrt{a+b})\sin(\pi\sqrt{a-b}). \quad (3)$$

Решение (3) имеет вид

$$\mu = \mu_R + i\mu_I, \quad (4)$$

где  $\mu_R$  – действительная часть;  $\mu_I$  – мнимая часть.

Решения (3), соответствующие действительной части  $\mu_R > 0$ , позволяют определять то значение волнового числа, которое соответствует максимально растущему возмущению.

Также проведены исследования по оценке влияния плотности НСО на значение  $\mu_R$ . Графики, устанавливающие зависимость  $\mu = f(\Omega, \Lambda)$  от плотности НСО при  $E = 1$  и  $Sh = 1$ , представлены на рисунке 2, из которых видно, что возникает несколько областей неустойчивого возмущения. Области с максимальным значением  $\mu_R$  показаны на рисунке 3.

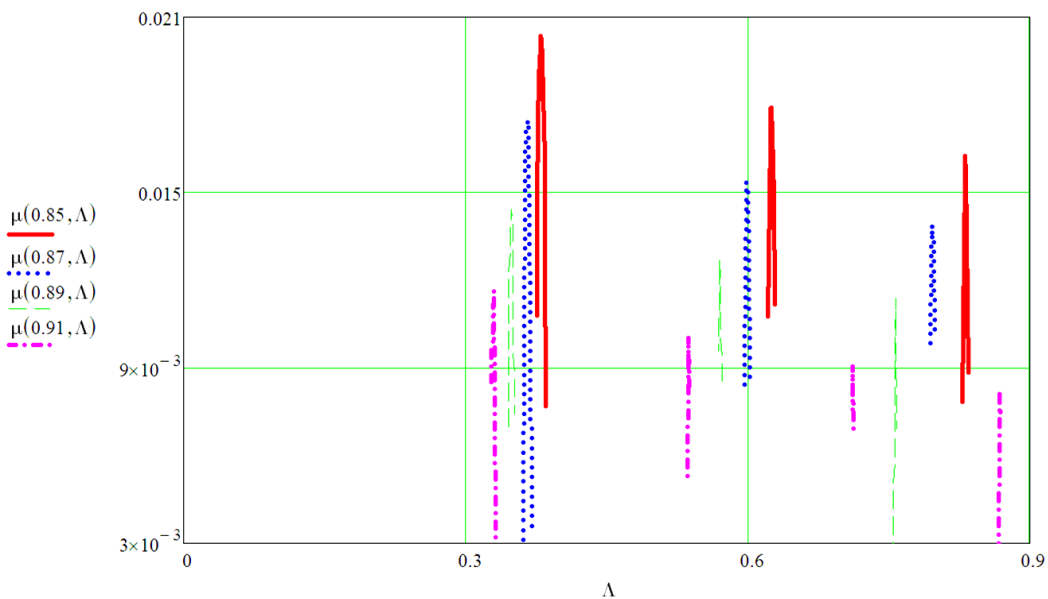


Рисунок 2. – Зависимости  $\mu(\Omega, \Lambda)$  при  $E = 1, Sh = 1$

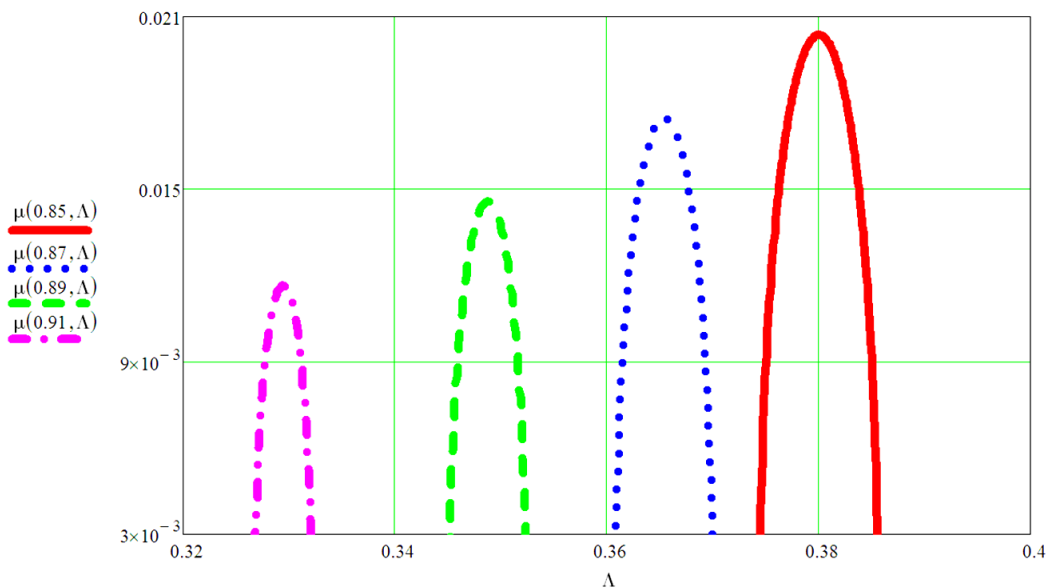


Рисунок 3. – Зависимости  $\mu(\Omega, \Lambda)$  при  $E = 1, Sh = 1$

Результаты исследования влияния параметра амплитуды пульсаций скорости потока на значение  $\mu_R$  в виде графиков, устанавливающих зависимость  $\mu = f(E, \Lambda)$  при  $E = 0,25; 0,50; 0,75; 1,00$  и постоянных значениях  $\Omega = 0,9$ ,  $Sh = 1$ , представлены на рисунках 4 и 5, из которых также видно, что возникает несколько областей неустойчивого возмущения.

На рисунке 5 показаны области с максимальным значением  $\mu_R$ . Анализ зависимостей, представленных на рисунках 4 и 5, позволяет сделать вывод о том, что увеличение амплитуды пульсаций скорости потока способствует увеличению значений  $\mu_R$ . Это приводит к уменьшению размеров капель воды в эмульсии на основе НСО, а значит и к повышению стабильности полученной эмульсии.

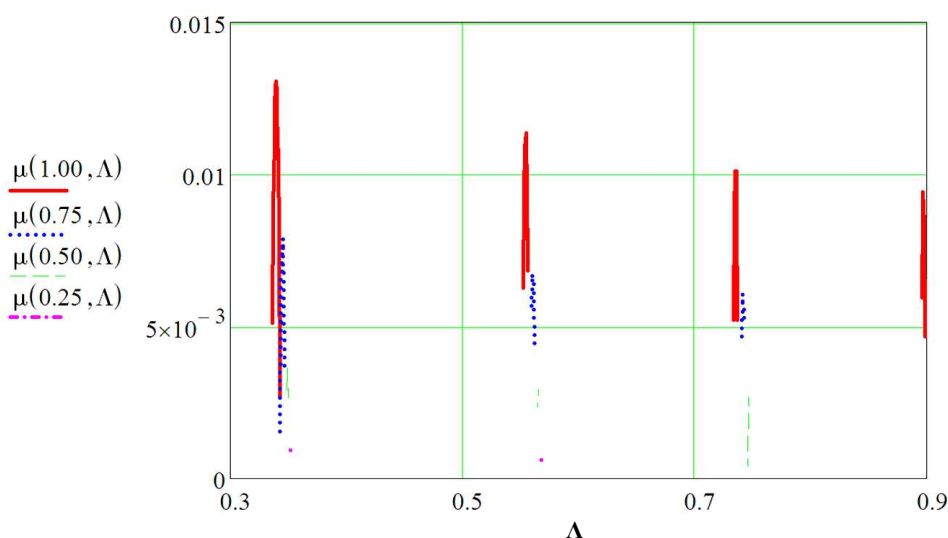


Рисунок 4. – Зависимости  $\mu(E, \Lambda)$  при  $\Omega = 0,9$ ,  $Sh = 1$

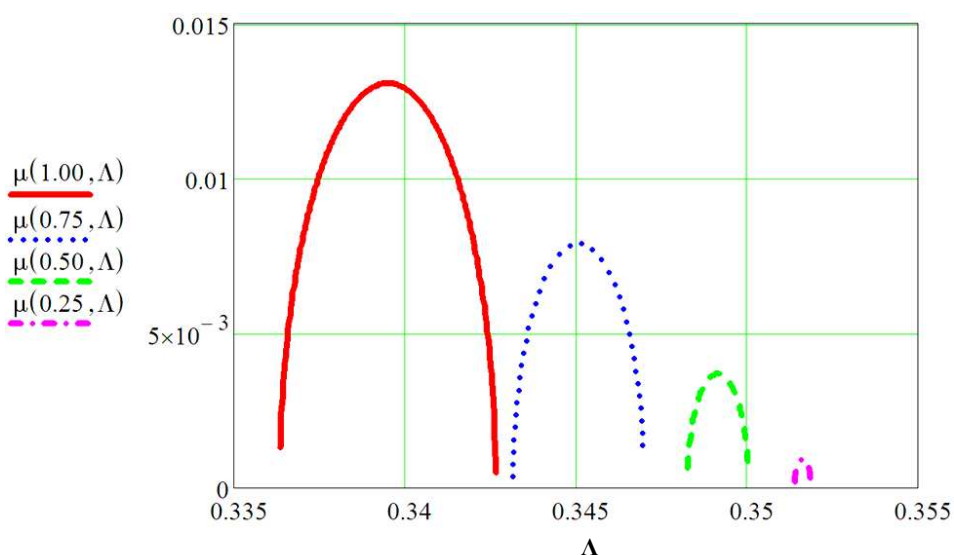


Рисунок 5. – Зависимости  $\mu(E, \Lambda)$  при  $\Omega = 0,9$ ,  $Sh = 1$

Таким образом, приходим к выводу, что установленные зависимости позволяют значительно сократить объем экспериментальных исследований по получению эмульсии на основе НСО и растворов ТМС с заранее заданной стабильностью. В результате появляются возможности для широкого использования предложенных технологий с охраной труда работников от воздействия вредных факторов, связанных с влиянием указанных отходов на их здоровье.

*Экспериментальные исследования* подтверждают теоретические расчеты, связанные с определением параметров работы ПИ, позволяющих получить капли эмульсии определенного размера. Разме-

ры капель дисперсной фазы (воды) определяли при помощи объект-микрометра и микроскопа стереоскопического МБС-10. На рисунке 6 представлен фотоснимок эмульсии на основе НСО под микроскопом.

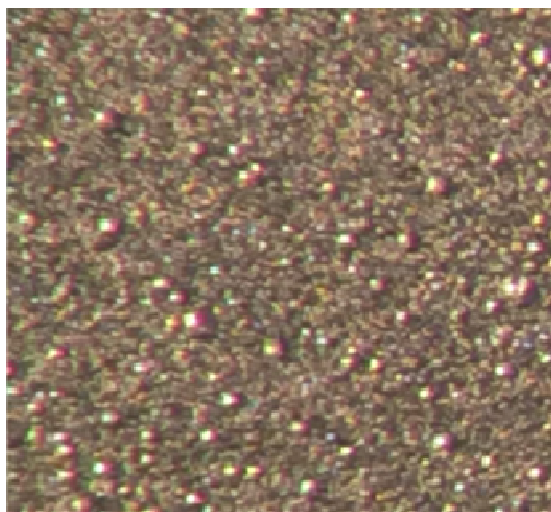


Рисунок 6. – Фотоснимок эмульсии при увеличении ( $\times 100$ )

На рисунке 7 показано распределение размеров капель дисперсной фазы (воды) эмульсии по линейным размерам, приготовленной на основании НСО с помощью ударных волн, генерируемых ПИ, с содержанием воды 40% от объема эмульсии. Максимальное число капель лежит в диапазоне размеров 40...60 мкм и составляет 37%.

Содержание капель размером менее 20 мкм составляет около 8%, а содержание крупных капель воды размером более 120 мкм близко к нулю. Из данной эмульсии выделилось 2% воды за 9 суток, что соответствует теоретическим расчетам, проведенным для капель диаметром 50 мкм.

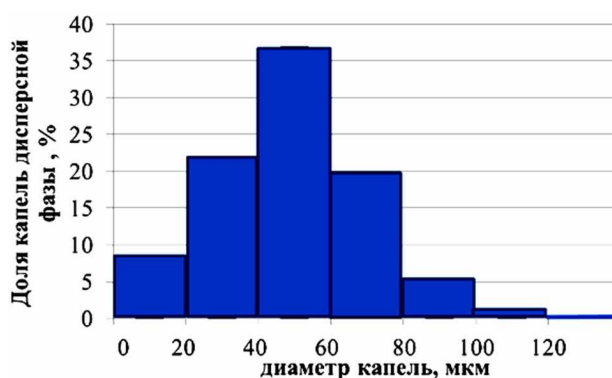


Рисунок 7. – Распределение капель дисперсной фазы (воды) эмульсии по диаметру

Экспериментальные исследования показали, что уменьшение диаметра капель воды в эмульсии до 20 мкм достигается благодаря уменьшению длины волны поверхности раздела НСО и воды до 40 мкм. В такой эмульсии при содержании воды до 30% в течение 30 суток выделяется воды не более 2% (об.), что позволяет использовать эмульсию в качестве товарного продукта (например, в качестве материала антиадгезионного покрытия форм при изготовлении железобетонных изделий либо в качестве добавки к основному топливу котельных).

**Заключение.** В результате проведенного исследования *раскрыт механизм* эмульгирования двух несмешивающихся жидкостей за счет разрушения поверхности их раздела ударными волнами, генерируемыми ПИ, *определяющий условия* образования пригодной для дальнейшего использования эмульсии из НСО, *обеспечивающий защиту* окружающей среды и работников от вредного воздействия НСО и *устанавливающий*, что размер капель воды в эмульсии зависит от длины волны наиболее неустойчиво-

го возмущения поверхности раздела НСО и воды, которое, в свою очередь, определяется значениями действительной части характеристического показателя, которые возрастают при увеличении амплитуды пульсаций скорости потока.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сократить объем экспериментальных исследований и оптимизировать технологию приготовления эмульсии на основе НСО, что в определенной мере решит проблему защиты окружающей среды и здоровья работников предприятий от воздействия НСО и отработанных растворов ТМС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : статистический отчет. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2018. – Режим доступа: <http://www.belstat.by>. – Дата доступа: 30.08.2018.
2. Иванов, В.П. Охрана труда рабочих и защита окружающей среды от вредного влияния нефтесодержащих отходов / В.П. Иванов, В.А. Дронченко. – Новополоцк : ПГУ, 2016. – 248 с.
3. Иванов, В.П. Защита окружающей среды от отработавших водных растворов технических моющих средств / В.П. Иванов, В.А. Дронченко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2016. – № 8. – С. 160–165.
4. Республика Беларусь Ежегодный статистический отчет [Электронный ресурс] : статистический ежегодник 2016. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2016. – Режим доступа: <http://www.belstat.by>. – Дата доступа: 17.08.2017.
5. Иванов, В.П. Утилизация нефтесодержащих отходов вспомогательного производства нефтехимических предприятий / В.П. Иванов, В.А. Дронченко // Природопользование. – 2016. – № 30. – С. 136–145.
6. Информация о сборе отработанных масел в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belta.by>. – Дата доступа: 15.11.2016.
7. Смазочные материалы и проблемы экологии / А.Ю. Евдокимов [и др.]. – М. : Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2000. – 424 с.
8. Дронченко, В.А. Рециклинг жидких производственных отходов, содержащих нефтепродукты / В.А. Дронченко // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии ; под ред. А.И. Свириденка. – Ч. II. Труды второй науч.-техн. конф. – Гродно, 1997. – С. 308–311.
9. Дронченко, В.А. Влияние содержания воды на стабильность эмульсии на основе отработавших нефтесодержащих продуктов / В.А. Дронченко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2015. – № 11. – С. 82–86.
10. Иванов, В.П. Разрушение поверхности раздела двух несмешивающихся жидкостей при эмульгировании / В.П. Иванов, В.А. Дронченко // Вестник БрГТУ. Машиностроение. – 2014. – № 4 (88). – С. 38–42.
11. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М. : Наука, 1970. – 904 с.
12. Якубович, В.А. Линейные дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами и их приложения / В.А. Якубович, В.М. Старжинский. – М. : Наука, 1972. – 720 с.

Поступила 20.12.2018

#### ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE DISPERSITY OF THE EMULSION BASED ON OILY WASTE

V. DRONCHENKO

*The assessment of oily waste generated at the site for disassembly and cleaning of technological equipment is given. The ways of their processing and utilization are offered. The influence of the amplitude of the flow rate pulsations on the emulsification process of two immiscible liquids, one of which is oily waste, is analyzed. Calculations are carried out for waste with different density. Recommendations are given to improve the consumer quality of the resulting emulsion.*

**Keywords:** *geo-ecology, utilization, oily waste, dispersion, emulsion stability.*