

- скрайбирования $\alpha_{2,3} = 15^\circ$ и 30° двойники базовой сетки расположены под углами $\delta_2 = 45^\circ, 75^\circ$ и $\delta_3 = 30^\circ, 90^\circ$ соответственно.
- С увеличением глубины внедрения индентора возрастают механические напряжения у царапины и как следствие, увеличивается деформация и искажение кристаллической решетки вдоль границ царапины. В результате угловое направление двойников у устья отличается от расположения базовой сетки двойниковых ансамблей недеформированной области кристалла.
 - В начале царапины наблюдаются двойники, первоначально образованные от нормального к поверхности (111) монокристалла висмута внедрения индентора и подрастающие в результате деформации у устья при скрайбировании.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Кульгейко, Н.М. Особенности двойникования монокристалла висмута при скрайбировании его поверхности (111) индентором Виккерса / Н.М. Кульгейко, О.М. Остриков // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2015. – № 2(61). – С. 42–50.

- Кульгейко, Н.М. Закономерности образования двойников у границ царапины при скрайбировании поверхности (111) монокристалла висмута индентором Виккерса / Н.М. Кульгейко, О.М. Остриков // Веснік Магілёўскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.А. Куляшова. – 2016. – № 1(47). – С. 74–81.
- Савенко, В.С. Двойникование монокристаллов висмута, облученных ионами бора / В.С. Савенко, В.В. Углов, О.М. Остриков, А.П. Ходоскин // Письма в журнал технической физики. – 1998. – Т. 24, № 8. – С. 1–9.
- Савенко, В.С. Влияние импульсов электрического тока на двойникование монокристаллов висмута, облученных ионами углерода / В.С. Савенко, В.В. Углов, О.М. Остриков, А.П. Ходоскин // Физика металлов и металловедение. – 1998. – Т. 85, № 5. – С. 96–105.
- Камышанченко, Н.В. Исследование динамики двойникования в титане ВТ1-0 методом акустической эмиссии / Н.В. Камышанченко, И.С. Никулин, М.С. Кунгурцев // Перспективные материалы. – 2010. – № 5. – С. 93–98.

Материал поступил в редакцию 10.10.2017

SIMANOVICH N.M., OSTRIKOV O.M., KULGEYKO M.P. Influence of the direction of a skraybirovaniye of rather crystallographic directions of a mechanical dvoynikovaniye on features of formation of twinning ensembles in a monocrystal

Article is devoted to a research of features of formation of twinning ensembles in a bismuth monocrystal when scrubbing. Crystals of bismuth are widely applied in electronics to creation of various devices. At the same time the dvoynikovaniye has significant effect on properties of a crystal and a possibility of his use. Therefore studying of regularities of emergence of twinning ensembles and their characteristics is important for forecasting of properties and applicability of crystals.

УДК 629.123: 665.61

Дронченко В.А.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ЭМУЛЬСИИ НА ОСНОВЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ И ЕЕ УТИЛИЗАЦИЯ

Введение. В жидких отходах ремонтного предприятия содержатся моторные и трансмиссионные масла, консистентные смазки, топливные фракции, смазочно-охлаждающие и промывочные жидкости и др. [1]. Доля масел в нефтесодержащей составляющей отходов составляет 94 % [1]. Состояние их сбора и утилизации следует признать неудовлетворительным. Так, в Республике Беларусь ежегодно потребляется около 100 тысяч тонн автомобильных и промышленных масел [2]. Количество отходов, образующихся в результате использования масел, составляет 80–85 % от их первоначального объема. Ежегодно предприятиями страны собирается и перерабатывается (без учета сжигания, как правило, энергозатратного) всего 8,3 тысяч тонн отработанных масел, что составляет менее 10 % от потребления [2]. Между тем, мировой сбор отработанных масел составляет 15 млн т/год [1] (около 50 % производства свежих).

Накопление различные нефтесодержащих отходов (НСО) на машиностроительных и ремонтных предприятиях во многом объясняется теми требованиями, которые предъявляются к отработанным нефтепродуктам, предназначенным для регенерации, очистки и использованию взамен или наряду с другими нефтепродуктами [3]. Так, согласно [3] смеси отработанных нефтепродуктов, сдаваемые организациям нефтепродуктообеспечения, должны иметь массовую долю механических примесей не более 1 %, воды – не более 2 %, кроме того в них должны отсутствовать загрязнения. Для выполнения требований ГОСТ 21046-86 необходимо наличие на предприятии дорогостоящего специализированного оборудования. Это, в свою очередь, в сочетании с большими расходами на транспортировку к местам централизованной приемки, для большинства предприятий

делает сбор экономически нецелесообразным. Для таких предприятий перспективным является поиск способов применения отработанных НСО непосредственно на предприятии либо на предприятиях данного региона, причем желательно с минимальными затратами на очистку и переработку.

Одним из возможных способов такого применения является получение эмульсий и на основе отработанных НСО с помощью ударных волн, возникающих при работе пневматического излучателя, с последующим использованием их в качестве добавки к основному топливу котельных установок. В этом случае вода, входящая в состав эмульсии на основе НСО, будет не недостатком, а фактором, способствующим снижению выбросов вредных веществ в атмосферу при работе котельных установок. Серьезной проблемой для применения этого способа является получение эмульсии с требуемой стабильностью.

Цель работы – исключить загрязнение почвы и водного бассейна нефтесодержащими отходами участка разборки и очистки технологического оборудования и уменьшить массу вредных выбросов котельных в воздушный бассейн.

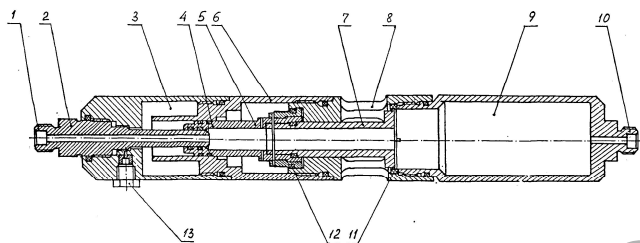
Материалы, оборудование и методы. Объектом исследования являются НСО участка по разборке и очистке технологического оборудования и его деталей; процессы их эмульгирования и сжигания. Нефтесодержащая часть отходов включает (% объема): масла моторные 65–90, масла трансмиссионные 6–10; топливные фракции 2–6, консистентные смазки 1–2 и содержащие масла отработанные растворы технических моющих средств. Согласно [4], все они могут быть использованы в качестве компонента топлива (таблица 1).

Дронченко Владимир Александрович, старший преподаватель кафедры технологии и оборудования машиностроительного производства УО «Полоцкий государственный университет», e-mail: v.dronchenko@psu.by.
Беларусь, ПГУ, 211440, г. Новополоцк Витебской обл., ул. Блохина, 29.

Таблица 1 – Перечень углеводородсодержащих отходов, которые согласно [4] могут быть использованы в качестве компонента топлива

Код отхода	Наименование отхода
Группа IV Отходы продуктов переработки нефти	
А Отходы синтетических и минеральных масел	
5410202	Масла моторные отработанные
5410203	Масла дизельные отработанные
5410205	Масла промышленные отработанные
5410206	Масла трансмиссионные отработанные
5410800	Загрязненные мазуты и топливо
5411200	Масла, загрязненные окалиной и шлаком
5412300	Смесь нефтепродуктов отработанных
В Отходы эмульсий и смесей нефтепродуктов	
5440100	Средства охлаждения и смазки
5440901	Отходы от моечных машин, содержащие масла

Экспериментальные исследования проводились на опытно-промышленной установке, в которой заложен ударно-волновой способ эмульгирования, позволяющий проводить обработку не перемешивающихся компонентов с помощью низкочастотных ударных волн. Для приготовления эмульсии использовался пневматический излучатель (рисунок 1).



1 и 10 – штуцеры; 2 – золотник; 3 – демпферная полость; 4 – кольцевой поршень; 5 – хвостовик; 6 – переходник; 7 – двухфланцевый поршень; 8 – окно; 9 – ресивер; 11 и 12 – кольца уплотнительные; 13 – заглушка

Рисунок 1 – Пневматический излучатель

Работа излучателя заключается в следующем. Сжатый воздух из магистрали, подсоединенной к штуцеру 1 и 10, подается во внутренний объем камеры и заполняет ресивер 9 и полость хвостовика 5. Поршень 7 находится в положении, разъединяющем выхлопные окна 8 корпуса излучателя и ресивер 9. На кольцевой поршень 4, соединенный хвостовиком 5 с поршнем 7, действует сила давления сжатого воздуха в демпферной полости 3. При дальнейшем повышении давления воздуха в пневмокамере сила давления на торец поршня 7 превышает сумму сил давления воздуха на другой торец поршня и давление воздуха, находящегося в демпферной полости, на кольцевой поршень 4. В результате этого поршень 7 перемещается из исходного положения влево, происходит разгерметизация полости переходника 6 по уплотнительному кольцу 12 и сила давления воздуха в полости ресивера 9 на примыкающий к нему торец поршня 7 намного превышает противодействующую ей силу давления воздуха на кольцевой поршень 4, что ускоряет движение поршня влево. При этом открываются выхлопные окна 8 в корпусе и сжатый воздух из ресивера 9 устремляется наружу. Вследствие падения давления в ресивере пневмокамеры и под действием давления воздуха в демпферной полости поршень возвращается в исходное положение, разъединя выхлопные окна и ресивер. После этого процесс выхлопа повторяется. Подробно установка описана в [1].

Исследования процесса использования эмульсии в качестве добавки к основному топливу велись на паровом котле ДКВР 6,5-13ГМ, который имеет номинальную паропроизводительность 6,5 т/ч под давлением пара 1,26 МПа.

Стабильность эмульсии определялась по методике, изложенной в [5]. Исследования процесса использования эмульсии в качестве

добавки к топливу проводились по методикам, изложенным в [1].

Выбросы котельных установок и способы их снижения. По данным академика М.А. Стыриковича [6], ежегодные выбросы основных токсичных веществ составляют: 150 млн т сернистого ангидрида, 300 млн. т оксида углерода, 50 млн т оксидов азота.

В таблице 2, согласно данным профессора И.Я. Сигала [7], приведены результаты воздействия некоторых токсичных веществ на организм человека. Анализ таблицы 2 показывает актуальность проведения работ по снижению вредностей в продуктах сгорания топлива.

Таблица 2 – Воздействие токсичных веществ на организм человека

Длительность и характер воздействия на человека	Содержание в воздухе, %		
	CO	NO _x	SO ₂
Несколько часов без заметного действия	0,01	0,0008	0,0025
Признаки легкого отравления	0,01–0,05	0,001	0,005
Возможно серьезное отравление через 30 минут	0,05–0,30	0,005	0,008–0,015
Опасно для жизни при кратковременном воздействии	0,50–0,80	0,015	0,060

В качестве комплексного решения в части уменьшения экологической опасности для почвы, водного и воздушного бассейнов возможно использование эмульсии на основе HCO [1, 8, 9] в качестве добавки к основному топливу котельных установок.

Поступающие в зону горения капли эмульсии нагреваются до температуры кипения воды, наружные слои капель разрушаются на множество фрагментов под действием водяного пара. При этом площадь соприкосновения топлива с воздухом и теплообмен между факелом и теплоносителем увеличиваются, а время сгорания топлива и длина факела уменьшаются. Наличие воды в топке обуславливает снижение температуры факела по сравнению с температурой горения обезвоженного топлива. Поскольку образование NO_x происходит в наиболее высокотемпературной зоне, а время пребывания продуктов сгорания в зоне горения уменьшается, то снижение температуры и размеров факела приведет к снижению массы NO_x в дымовых газах.

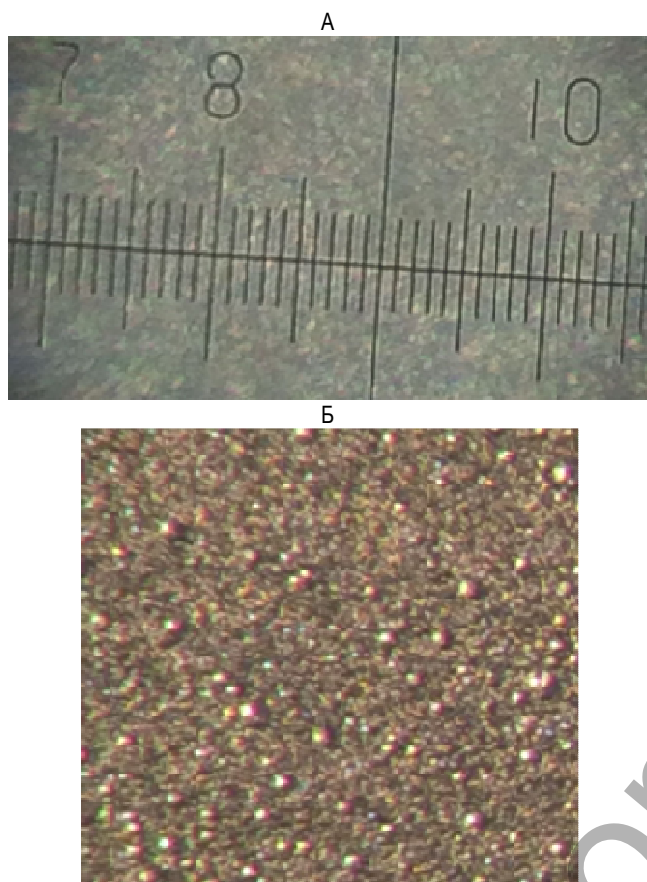
Исследование процесса образования эмульсии. Математическая модель образования эмульсии подробно описана в [10]. Основные результаты исследований имеют следующий вид. Установлено, что с увеличением численных значений критерия Струхала Sh наблюдается тенденция возрастания волнового числа. Причем с ростом величины Sh темп увеличения волнового числа максимально неустойчивого возмущения уменьшается. Характер изменения волнового числа в диапазоне чисел Sh от 0 до 0,2 носит нестабильный характер.

Полученные теоретические результаты были использованы для приближенной оценки характеристик процесса разрушения границы раздела двух несмешивающихся жидкостей под действием пульсаций скорости течения [10]. Установлено, что при снижении величины средней скорости течения и росте круговой частоты пульсации происходит уменьшение длины волны на поверхности раздела жидкостей. Увеличение волнового числа и критерия Sh приводит к уменьшению длины волны поверхности раздела двух несмешивающихся жидкостей. Изменение плотностей жидкостей также оказывает влияние на поведение поверхности раздела. Повышение плотности более легкой жидкости приводит к росту нестабильности поверхности раздела. Установлено, что с ростом величины поверхностного натяжения жидкости увеличивается длина волны поверхности раздела двух несмешивающихся жидкостей.

Таким образом, к уменьшению размера неразрушенной капли в эмульсии и, следовательно, к повышению ее стабильности приводят увеличение волнового числа максимально неустойчивого возмущения и критерия Sh, повышение плотности более легкой жидкости, уменьшение скорости течения при одновременном росте круговой частоты ее пульсации и снижение величины поверхностного натяжения жидкости.

Теоретические расчеты, связанные с определением параметров работы пневматического излучателя, позволяющих получить капли

эмульсии определенного размера, были подтверждены экспериментальными исследованиями. Размеры капель дисперсной фазы (воды) определяли при помощи шкалы окуляра микроскопа стереоскопического МБС-10. На рисунке 2, представлена фотография эмульсии на основе НСО под микроскопом.



А – на фоне шкалы окуляра, Б – капли воды в эмульсии
Рисунок 2 – Фотографии эмульсии под микроскопом стереоскопическим МБС-10

На рисунке 3 представлено распределение размеров капель дисперсной фазы (воды) эмульсии по линейным размерам, приготовленной на основании НСО с помощью ударных волн, генерируемых пневматическим излучателем, с содержанием воды 40 % от объема эмульсии. Из рисунка 3 видно, что распределение капель воды по размерам меняется по кривой Гаусса. 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.

Исследование процесса использования эмульсии в качестве добавки к топливу. Процесс теплопередачи при сжигании капель эмульсии описывается уравнением

$$\gamma(T_g - T_{cp}) = \lambda \frac{\partial T_{cp}}{\partial r} - \rho q \frac{dr}{dt}, \quad (1)$$

- где γ – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²×К;
- T_g – температура газовой среды, примыкающей к капле, К;
- T_{cp} – средняя температура материала капли, К;
- λ – коэффициент теплопроводности материала капли, Вт/м×К;
- r – изменяющийся радиус капли, м;
- ρ – плотность материала капли, кг/м³;
- q – удельная теплота испарения эмульсии, Дж/кг.

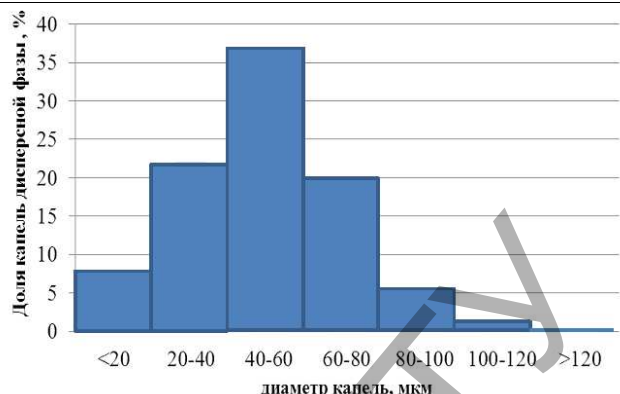


Рисунок 3 – Распределение капель дисперсной фазы (воды) по диаметру

С учетом многократного срыва оболочки капли при нагревании ее до температуры T_1 , превышающей температуру кипения воды, уравнение (1) имеет вид

$$\frac{dr}{dt} = \frac{1 + k(T_{cp} - T_1)}{\rho q} \left[\lambda \frac{\partial T_{cp}}{\partial r} - \gamma(T_g - T_{cp}) \right], \quad (2)$$

- где r – радиус капли, м;
- k – параметр, характеризующий скорость разрушения поверхностного слоя капли, 1/К.

В экспериментальных исследованиях изучалась возможность использования эмульсии в качестве добавки к основному топливу и экономии основного (первичного) топлива с установлением зависимости между составом сжигаемого топлива и образованием оксидов азота на различных режимах работы котельного агрегата.

Установлено, что при увеличении влагосодержания топливной смеси уменьшается относительная длина факела l_w / l_o (рисунок 4). При дроблении капель эмульсии парами воды осколки капель разлетаются в разные стороны, и поперечные размеры факела увеличиваются при одновременном сокращении относительной длины факела, а объем факела остается прежним. Уменьшение длины факела ведет к уменьшению времени пребывания продуктов сгорания в высокотемпературной зоне. В результате снижается образование оксидов азота NO_x в дымовых газах. Добавление к топливу, сжигаемому в котельных установках, мелкодисперсной эмульсии на основе отработавших нефтесодержащих продуктов позволяет не только утилизировать эти вещества, но и, повысив влагосодержание сжигаемого топлива и тем самым уменьшив температуру факела (рисунок 5), снизить содержание оксидов азота NO_x в дымовых газах. Содержание 10 % воды в эмульсии от объема смеси обуславливает снижение температуры факела примерно до 40–50 °С, а 20 % – 100–150 °С. Концентрация NO_x в дымовых газах котла уменьшается с 160–200 мг/м³ до 110–140 мг/м³. Наблюдалось уменьшение расхода основного топлива на 3–5 %.

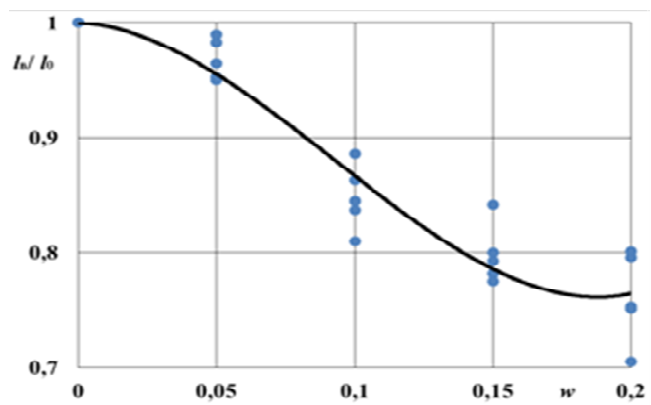


Рисунок 4 – Зависимость относительной длины факела l_w / l_o от влагосодержания эмульсии w

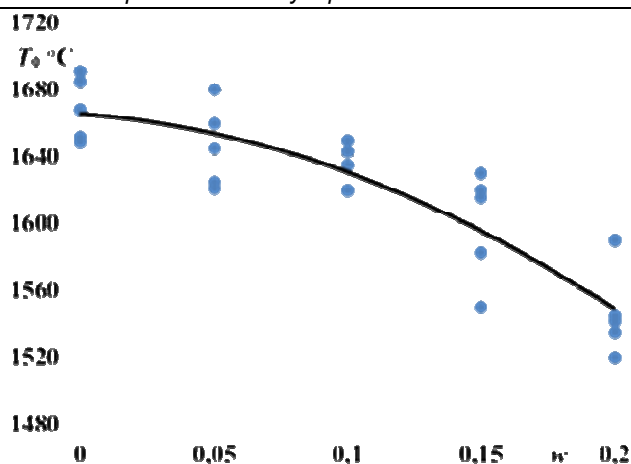


Рисунок 5 – Изменение температуры факела T_{ϕ} от влагосодержания W

Заключение. Проведенные исследования позволят оптимизировать технологии получения эмульсии на основе нефтесодержащих отходов с помощью ударных волн, возникающих при работе пневматического излучателя и сжигания топлива с добавлением приготовленной эмульсии в котельных установках. Это, в свою очередь, позволит не только решить проблему охраны труда и здоровья работников предприятий от воздействия отработавших нефтесодержащих продуктов и растворов технических моющих средств, но и снизить концентрацию оксидов азота в дымовых газах котельных установок.

Выводы:

- уменьшению размеров неразрушенных капель в эмульсии, а следовательно, и повышению ее стабильности способствуют: увеличение волнового числа максимально неустойчивого возмущения и критерия Струхала, повышение плотности более легкой жидкости, уменьшение скорости течения при одновременном росте круговой частоты ее пульсации и снижение величины поверхностного натяжения жидкости;
- увеличение влагосодержания топлива, сжигаемого в котельных установках, за счет использования в качестве добавки к топливу мелкодисперсной эмульсии на основе отработавших нефтесодержащих продуктов позволило снизить содержание оксидов азота в дымовых газах котла на 24–45 %;

- снижение концентрации оксидов азота достигнуто за счет сокращения времени горения капель влагосодержащего топлива, уменьшения длины факела и снижения температуры факела по сравнению с горением обезвоженного топлива.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов, В.П. Охрана труда рабочих и защита окружающей среды от вредного влияния нефтесодержащих отходов : научное издание / В.П. Иванов, В.А. Дронченко. – Новополоцк : ПГУ, 2016. – 248 с.
2. Информация о сборе отработанных масел в РБ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.belta.by/>. – Дата доступа : 15.11.2016.
3. Нефтепродукты отработанные. Общие технические условия: ГОСТ 21046–86. – Введ. 01.01.87 – Москва : Издательство стандартов, 2004. – 5 с.
4. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила использования углеводородсодержащих отходов в качестве топлива : ТКП 17.11-01-2009 (02120). – Введ. 03.03.2009. – Минск : Минприроды, 2009. – 16 с.
5. Дронченко, В.А. Влияние содержания воды на стабильность эмульсии на основе отработавших нефтесодержащих продуктов / В.А. Дронченко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – Сер. В: Промышленность. Прикладные науки. – 2015. – № 11. – С. 82–86.
6. Стирикович, М.А. Энергетика и окружающая среда / М.А. Стирикович // Теплоэнергетика. – 1975. – № 4. – С. 2–5.
7. Сигал, И.Я. Очистка промышленных выбросов от оксидов серы и азота / И.Я. Сигал, В.И. Славин, В.В. Шило. – Харьков : Оригинал, 1999. – 142 с.
8. Иванов, В.П. Утилизация сточных вод с нефтесодержащими отходами эмульгированием и сжиганием / В.П. Иванов, В.А. Дронченко // Вестник Белорус. гос. с.-х. акад. – 2015. – № 4. – С. 141–146.
9. Семенов, В.И. Снижение выбросов оксидов азота при работе котельных установок / В.И. Семенов, В.А. Дронченко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – Сер. В: Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 3. – С. 186–190.
10. Иванов, В.П. Разрушение поверхности раздела двух несмешивающихся жидкостей при эмульгировании / В.П. Иванов, В.А. Дронченко // Вестник БрГТУ. – 2014. – № 4 (88): Машиностроение. – С. 38–42.

Материал поступил в редакцию 27.10.2017

DRONCHENKO V.A. Obtaining finely divided emulsions based on oil-containing waste and its recycling

The results of theoretical and experimental studies allowed to develop the process of obtaining emulsion with the required stability on the basis of oil-containing waste generated at the site of disassembly and cleaning of process equipment using shock waves generated by a pneumatic transducer. The results of the study of the process of using the resulting emulsion as an additive to the main fuel when operating a boiler plant. The addition of the emulsion based on oily waste to the primary fuel increases the efficiency of combustion and reduces the emission of nitrogen oxides into the atmosphere.

УДК 681.5+531.3.01

Прокопеня О.Н., Воробей И.С.

К ИССЛЕДОВАНИЮ ДИНАМИКИ ДВУХКОЛЕСНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Введение. Мобильные роботы широко применяются в различных сферах. Для работ в недетерминированных условиях в настоящее время развивается особый класс робототехнических систем, называемых в технической литературе "мобильными роботами", отличительной чертой которых является способность к перемещениям в пространстве. В зависимости от назначения они могут иметь разнообразную конструкцию [1–3]. Роботы отличаются количеством ко-

лес, которые могут быть приводными или не приводными. Поворот колес может осуществляться разными способами на разные углы. Известны конструкции с двигательными модулями, состоящими из пары колес с индивидуальными приводами [4, 5]. Такой модуль способен перемещаться поступательно при равенстве скоростей колес и поворачиваться за счет разности скоростей.

Прокопеня Олег Николаевич, к.т.н., зав. кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Брестского государственного технического университета.

Воробей Иван Сергеевич, магистрант Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.