

УДК 504.064.45

В. П. Иванов, В. А. Дронченко**УТИЛИЗАЦИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ
ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

С применением физико-математических моделей эмульгирования и горения капель эмульсии разработаны технологические процессы приготовления водной эмульсии из нефтесодержащих отходов и ее использования в качестве материала противoadгезионных покрытий поверхностей форм для изготовления железобетонных изделий и в виде вторичного энергоресурса как добавки к топливу паровых котлов. Выполнена оптимизация этих процессов по критерию наименьшей себестоимости.

Жидкие отходы вспомогательного производства предприятий нефтехимического комплекса представляют собой сточные воды с отработавшими растворами технических моющих средств (ТМС) и нефтесодержащей составляющей из масел моторного (65–90 об.%) и трансмиссионного (6–10 об.%), топливных фракций (2–6 об.%) и пластичных смазок (1–2 об.%). Эти отходы являются потенциально опасными веществами, которые вследствие своих физических, химических и токсикологических свойств определяют риск для здоровья рабочих и представляют угрозу окружающей среде. Так, например, загрязнение вод нефтесодержащими отходами (НСО) составляет более 30 % общего техногенного загрязнения [5].

Необходимость разработки процесса утилизации нефтесодержащих сточных вод нефтехимического комплекса обусловлена: их вредностью на рабочих местах; наличием на производстве большого количества таких отходов в виде вторичных энергоресурсов; высокими требованиями к защите окружающей среды и исключением штрафов за загрязнение почвы, воздушного и водного бассейнов; более низкими затратами, связанными с использованием термического способа утилизации, по сравнению с химическим и биологическими способами; более полным сгоранием топлива в котлах со снижением температуры и длины факела в присутствии капель нефтесодержащей эмульсии, уменьшением выбросов оксидов азота и углерода в атмосферу.

Утилизация отходов предполагает превращение в неопасные соединения путем эмульгирования и использование полученных эмульсий в качестве как противoadгезионных покрытий рабочих поверхностей форм для получения железобетонных изделий, так и добавки к топливу котельных агрегатов. Первое направление позволит дополнительно отказаться от использования дорогих промышленных эмульсоллов и смазок, а второе – уменьшить объем выбросов оксидов азота и углерода с дымовыми газами в атмо-

сферу за счет управляемого изменения процесса сгорания топлива.

Цель работы – добиться снижения загрязнения окружающей среды путем разработки и внедрения технологии переработки и утилизации НСО.

Технологический процесс утилизации НСО производства включает три части (рис. 1):

- приготовление из НСО нефтесодержащей эмульсии;
- использование эмульсии в качестве материала противoadгезионных покрытий;
- использование НСО в качестве добавки к котельному топливу.

Как материал противoadгезионного покрытия, так и вторичный топливный энергетический ресурс получают эмульгированием собранных из очистных сооружений отстоявшихся нефтяных фракций. Срок хранения эмульсий, получаемых в промышленных смесителях, не превышает одной недели. Повышение стабильности эмульсий обеспечивают уменьшением размеров ее капель с использованием пневматического излучателя, генерирующего ударные волны.

Технологический процесс приготовления нефтесодержащей эмульсии включает следующие операции:

– сбор и подготовку НСО и сточных вод, содержащих нефтепродукты, к переработке. Сточные воды, содержащие НСО (из очистных сооружений), подают в бак 1 (рис. 2), в котором они отстаиваются, а воду сливают в оборотную систему водоснабжения;

– подготовку раствора эмульгатора. В рабочую емкость 3 заливают воду (объем, которой определяют по высоте столба жидкости), затем добавляют эмульгатор (объем которого измеряют мерной колбой), жидкость перемешивают до полного растворения эмульгатора с помощью пневматического излучателя 4. В качестве эмульгатора используют ТМС Лабомид-101 в количестве 3 % от объема воды и негашеную известь в количестве 1,5 % от объема воды.

Содержание воды в товарной эмульсии при продаже другим предприятиям составляет 30 %, а при использовании непосредственно на своем предприятии – 40 %;

– подачу НСО в раствор эмульгатора. Отстоявшиеся отходы из бака насосом 2 подают в рабочую емкость с пневматическим излучателем. Измерение объемов жидкости проводят путем измерения ее глубины в рабочей емкости, диаметр которой известен;

– подогрев компонентов при помощи трубчатого электронагревателя до температуры 293 К, а при использовании пластичной смазки ЛЗ-ЦНИИ – до 363 К;

– приготовление эмульсии при помощи пневматического излучателя. Давление подаваемого сжатого воздуха должно находиться в пределах 0,4–0,6 МПа. Частота импульсов – 90 мин⁻¹. Продолжительность эмульгирования – 15 мин. Стабильность эмульсии зависит от времени воздействия пневматического излучателя, однако по истечении указанного времени рекомбинация начинает уравнивать диспергирование и дальнейшее эмульгирование не повышает качество материала;

– перекачку приготовленной эмульсии насосом в сборный бак 5 или в емкости для доставки потребителям.



Рис. 1. Схема процессов приготовления эмульсии из НСО и ее последующего использования

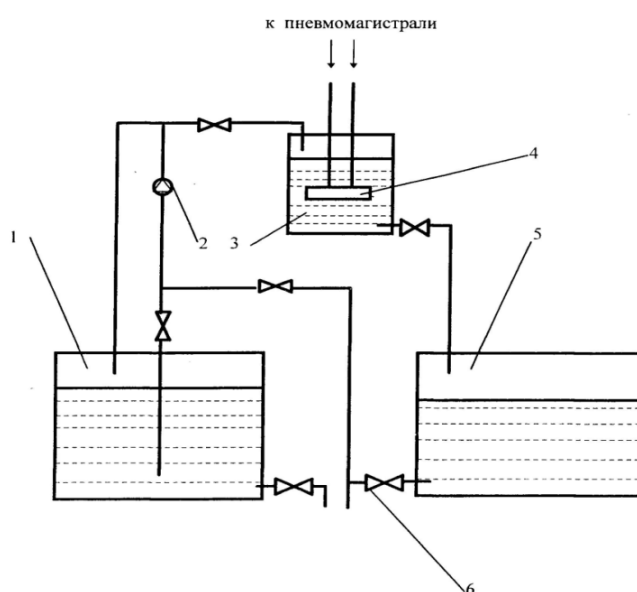


Рис. 2. Схема установки для эмульгирования отработавших НСО: 1 – бак для отстаивания сточных вод; 2 – насос; 3 – рабочая емкость; 4 – пневматический излучатель; 5 – бак сборный; 6 – вентиль

Стабильность эмульсии как способность сохранять свои первоначальные свойства во всем объеме в течение нормативного отрезка времени определяется объемом выделившегося неэмульгированного вещества в процентах от общего объема эмульсии [2]. Данный показатель в основном зависит от размера фрагментов и вязкости среды. Скорость оседания капель воды в эмульсии выражается формулой Стокса:

$$v = 2 \frac{(\rho_2 - \rho_1)r^2g}{9\eta}, \quad (1)$$

где ρ_2 – плотность воды, кг/м³; ρ_1 – плотность эмульсии, кг/м³; r – радиус капли воды, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; η – вязкость эмульсии, Па·с.

Чем меньше радиус капли, тем больше стабильность эмульсии. Так, например, капля размером 30–50 мкм будет оседать на глубину 1 м более месяца. Полученная ранее модель разрушения поверхности раздела двух несмешивающихся жидкостей при эмульгировании [3] показывает, что от поверхности колеблющейся жидкости с длиной волны λ отрывается капля радиусом $r = \lambda/4$, а после отрыва капли на поверхности раздела остаются волны, амплитуда которых равна $\lambda/8$. Эти волны являются начальными возмущениями для последующего отрыва капель. К уменьшению размеров неразрушенных капель в эмульсии и, следовательно, к повышению ее стабильности приводят увеличение критерия Струхала и волнового числа максимально неустойчивого возмущения, повышение плотности более легкой жидкости, уменьшение скорости течения при одновременном росте круговой частоты ее пульсации и снижение поверхностного натяжения жидкости. Уменьшение поверхностного натяжения раздела жидкостей с 0,06 до 0,03 Н/м приводит к уменьшению длины волны поверхности раздела в 2,0 раза. Снижение средней скорости течения жидкостей с 2,73 до 0,98 м/с при одновременном увеличении круговой частоты пульсаций скорости потока с 0,014 до 0,378 МГц, а также увеличение безразмерного волнового числа с 0,20 до 2,51 и критерия Струхала с 0,8 до 31 приводят к уменьшению длины волны поверхности раздела жидкостей с 200 до 20 мкм и, соответственно, диаметра неразрушенной капли в эмульсии – с 100 до 10 мкм.

Размеры капель приготовленной эмульсии, измеренные с помощью микроскопа МБС–10, должны составлять до 16 мкм. При этом нормативная стабильность эмульсии с содержанием воды до 30 % при температуре окружающей среды 18 °С поддерживается в течение не менее чем 30 сут.

Использование эмульсии в качестве материала противoadгезионных покрытий.

Технологическая операция производства сборного железобетона с использованием приготовленной эмульсии в качестве материала противoadгезионных покрытий включает следующие части:

- 1) сборку формы и нанесение противoadгезионного покрытия на ее рабочие поверхности;
- 2) закладку бетонной смеси и арматуры и взаимодействие покрытия со свежей бетонной смесью, подверженной вибрации (уплотнению);
- 3) выдержку бетонной смеси (твердение при установленных температуре и влажности);
- 4) разборку формы с извлечением изделия и очистку поверхности формы от остатков бетона.

Во второй и частично третьей частях операции происходят физико-химические и физические процессы, которые определяют чистоту поверхности изделий, наличие на ней раковин и других дефектов, механическую прочность материала изделия и его поверхностного слоя, а также возможность проведения в дальнейшем штукатурных и окрасочных работ.

Основными требованиями к противoadгезионному покрытию на стадии его нанесения являются прочная связь с поверхностью формы во избежание стекания и минимальная адгезия к свежей бетонной смеси, а затем к поверхности затвердевшего бетона.

Предложены следующие составы материала противoadгезионных покрытий:

– товарный эмульсол (70 % НСО с содержанием топливных фракций до 6 % и 30 %-ный водный раствор ТМС Лабомид-101 в количестве 3 % и 1,5 % негашеной извести);

– эмульсол, изготавливаемый непосредственно на предприятии – изготовителе железобетонных изделий (60 % НСО с содержанием топливных фракций до 6 % и 40 %-ный водный раствор ТМС Лабомид-101 в количестве 3 % и 1,5 % негашеной извести);

– эмульсол, изготавливаемый непосредственно на предприятии – изготовителе железобетонных изделий (70 % НСО, не содержащих топливных фракций, и 30 %-ный водный раствор ТМС Лабомид-101 3 %);

– эмульсол, изготавливаемый непосредственно на предприятии – изготовителе железобетонных изделий (60 % НСО, не содержащих топливных фракций, и 40 %-ный водный раствор ТМС Лабомид-101 3 %).

Предлагаемый материал соответствует требованиям СТБ 1707 «Смазки для форм и опалубок. Общие технические требования», предъявляемым к противoadгезионному покрытию. Полученный материал покрытия не оставляет на поверхности изделий масляных пятен, вздутий и отслоений; не вызывает коррозионное воздействие на стальные поверхности форм;

средняя относительная величина снижения адгезии составляет 81,3 %; он способен удерживаться на вертикальной поверхности (показатель способности удерживаться на поверхности равен для покрытия на основе НСО и равен 76,4 %, для покрытия на основе отработавшей смазки ЛЗ-ЦНИИ – 84,8 %). В цехах филиала «Новополоцкжелезобетон» ОАО «Кричевцементношифер» изготавливались железобетонные изделия при положительных температурах с категориями чистоты бетонной поверхности А3–А7. Ни одно изделие, изготовленное с использованием противoadгезионного покрытия на основе НСО, не показало удельную эффективность естественных радионуклидов, превышающую 370 Бк/кг.

В филиале «Новополоцкжелезобетон» ОАО «Кричевцементношифер» производилось изготовление лестничных маршей ЛМП 57.11.14-5 с использованием эмульсии на основе НСО. Эмульсию наносили на рабочую поверхность форм, расход ее на одно изделие составил 2,657 кг, что сопоставимо с нормами расхода приобретаемых в 2015 г. смазок на единицу продукции при изготовлении лестничного марша ЛМП 57.11.14-5, которые для промышленного эмульсола «АТ-5-Б» составили 2,646 кг, а для эмульсола «Бетанол-С» – 2,275 кг. Показатели качества поверхностей при использовании предлагаемого материала, смазок «АТ-5-Б» и «Бетанол-С» соответствовали требованиям, предъявляемым предприятием к качеству поверхности лестничного марша ЛМП 57.11.14-5. При этом материал покрытия на основе НСО оказался в 1,4–2,5 раза дешевле.

Утилизация нефтесодержащей эмульсии путем ее использования в качестве добавки к топливу при сжигании в топке парового котла состоит из таких операций, как:

- доставка и хранение эмульсии в емкости при котельной;
- подогрев подаваемой к паровому котлу эмульсии при помощи трубчатого электронагревателя до температуры 293 К;
- нагрев эмульсии непосредственно перед использованием до температуры 363 К;
- подача нагретой эмульсии в топку парового котла топливной струей, проходящей через эжектор-дозатор форсунки, при этом заданное соотношение эмульсия–топливо поддерживается автоматически при изменении расхода топлива;
- сжигание топливной смеси.

Исследования проводили при сжигании газообразного топлива (природного газа) с добав-

лением нефтесодержащей эмульсии в котле ДКВр-6,5-13 ГМ, оснащенном экономайзером ЭП-1-330 и дутьевым вентилятором ВД-10. Температуру пламени измеряли платинородиевой термопарой ТПР, размеры пламени – при помощи модели стальной линейки, а содержание вредных составляющих в дымовых газах – анализатором «Testo-350».

Было проделано пять серий экспериментов. В каждой серии были проведены эксперименты с эмульсией, влагосодержание которой составляло $w = 0; 5; 10; 15; 20; 25$ %. В результате были получены следующие полиномиальные регрессионные зависимости:

– квадратичная для температуры факела, °С:

$$T_{\phi} = -2354,3w^2 - 112,3w + 1665,5 \quad (2)$$

– кубическая для размеров пламени:

$$l_e / l_0 = 63,2w^3 - 18,46w^2 - 0,19w + 1,003, \quad (3)$$

где l_e – длина факела при сжигании топлива с добавлением эмульсии; l_0 – длина факела при сгорании обезвоженного топлива.

Проверку значимости коэффициентов проводили по t -критерию Стьюдента при 5%-ном уровне значимости. Были определены доверительные интервалы $\Delta\epsilon$ (табл. 1). Адекватность уравнений регрессии (2) и (3) была проверена с помощью критерия Фишера при уровне значимости 5 %. Для уравнений были вычислены расчетные значения критерия F_p .

Сравнение значений коэффициентов уравнений регрессии с их доверительным интервалом подтвердило, что все коэффициенты значимые. Сравнение расчетных значений F -критерия с его табличными значениями подтвердило возможность интерпретации полученных зависимостей.

Содержание 10 % воды в эмульсии от объема смеси обуславливает снижение температуры факела примерно на 30–50 °С, а при содержании воды 20 % – на 100–150 °С. В результате, уменьшая температуру факела, можно снизить содержание оксидов азота NO_x в дымовых газах. Для малых значений w изменение температуры прямо пропорционально изменению выделившейся при сгорании теплоты. Увеличение влагосодержания топливной смеси обуславливает уменьшение относительной длина факела l_e / l_0 . Это объясняется тем, что при дроблении парами воды капель эмульсии осколки их разлетаются в разные стороны и поперечные размеры факела увеличиваются при одновременном сокращении

Таблица 1. Проверка адекватности уравнений регрессии и значимости их коэффициентов

Номер уравнения	F_T	F_p	t_T	Квадратичная ошибка коэффициента регрессии s_k	$\Delta\epsilon$
(2)	2,87	18,43	2,086	10,67	$\pm 22,298$
(3)	3,24	43,27	2,131	0,02135	$\pm 0,04553$

относительной длины факела. Объем факела практически не изменяется. Уменьшение длины факела ведет к уменьшению времени пребывания продуктов сгорания в высокотемпературной зоне, чем объясняется снижение доли оксидов азота NO_x в дымовых газах.

Балансовыми испытаниями установлено следующее. При подаче воздуха в горелки с расходом $637 \text{ м}^3/\text{ч}$ под давлением $1,9 \text{ кПа}$ (нагрузка близка к номинальной) содержание оксидов азота изменялось от 145 до $170 \text{ мг}/\text{м}^3$ (в пересчете на NO_2 в сухих газах при стандартных условиях: $101,3 \text{ кПа}$, 273 К и $6 \% \text{ O}_2$) в зависимости от коэффициента избытка воздуха. Среднее содержание C_{NO_2} (при коэффициенте избытка воздуха за экономайзером $2,26$ и содержании $C_{\text{CO}} = 9 \text{ мг}/\text{м}^3$) оказалось равным $160 \text{ мг}/\text{м}^3$. Этому значению соответствует масса выбросов $M_{\text{NO}_2} = 0,35 \text{ г/с}$. Содержание NO_x зависит от нагрузки котла, по мере

снижения которой происходит уменьшение содержания оксидов азота в дымовых газах с $160\text{--}200$ до $110\text{--}140 \text{ мг}/\text{м}^3$. Наблюдалось снижение оксидов углерода на $43\text{--}59 \%$. Содержание оксидов серы в выбросах не обнаружено, поскольку в потребляемом природном газе она практически отсутствует в отличие от случаев использования в качестве топлива мазута.

Таким образом, добавление к топливу, сжигаемому в котельных установках, мелкодисперсной эмульсии на основе НСО не только позволяет утилизировать эти вещества, но снизить содержание оксидов азота и углерода в дымовых газах путем повышения влагосодержания сжигаемого топлива и уменьшения температуры и длины факела [4]. Сжигание сильно обводненных горючих отходов нефтепродуктов с топливом при равномерном распределении воды по всему объему материала в котле ДКВР-10-13 позволяет уменьшить потребление основного топлива на $3\text{--}5 \%$.

Таблица 2. Морфологическая матрица составляющих процессов приготовления и использования эмульсии из НСО

Операции общие				
Наименование		Исполнения	Координаты вершин графа	Затраты, БВ
Накопление отходов		Непрерывное	1б	0,44
		Прерывное	1д	0,50
Разделение отходов на фазы		Отстаиванием	2в	1,02
		Центрофугированием	2е	1,09
Эмульгирование отходов		Ударными волнами	3б	10,92
		Растиранием	3д	15,13
Операции специальные				
Наименования		Исполнения	Координаты вершин графа	Затраты, БВ
для материала покрытий	для сжигаемой эмульсии			
Приготовление материала	–	Использованием ТМС	4а	2,18
		Использование извести	4б	2,53
–	Предварительный подогрев	Электрический	5е	0,17
		Паровой	5д	0,21
		Огневой	5е	0,37
Доставка материала	–	В оборотной таре	6б	0,17
		В универсальной цистерне	6в	2,02
–	Нагрев эмульсии	Электрический	7е	2,54
		Паровой	7д	3,15
		Огневой	7е	5,30
Хранение материала	–	Сроком 1–3 дня	8а	0,25
		Сроком 3–5 дней	8б	0,21
		Сроком 5–15 дней	8е	0,18
		Сроком 15–30 дней	8в	0,13
–	Подача эмульсии в дозатор	Инжекцией	9е	1,99
		Насосом	9д	1,01
Нанесение покрытия	–	Пневмораспылением	10б	5,13
		Кистью	10в	8,17
–	Сжигание эмульсии	Огневое	11д	0,07

Обоснование технических решений при выборе технологических процессов. Стремление повысить эффективность достижения поставленной цели обусловило разработку моделей технологических процессов в виде графов и их оптимизацию. Здесь новизну решений определяет «морфологический анализ» [1, 6], рассматривающий на графах сотни или тысячи сочетаний составляющих операций, среди которых обнаруживаются патентоохранные решения. Эффективность решений обуславливает применение динамического программирования [1].

Морфологическая матрица и соответствующие графы вариантов технологических процессов с затратами производственных ресурсов на подготовку и выполнение операций в долях денежной базовой величины (БВ) приведены в табл. 2 и на рис. 3 и 4. Указанные рисунки при мысленном наложении друг на друга образуют общий процесс приготовления эмульсии из НСО и ее последующего использования в качестве противадгезионного покрытия или добавки к топливу.

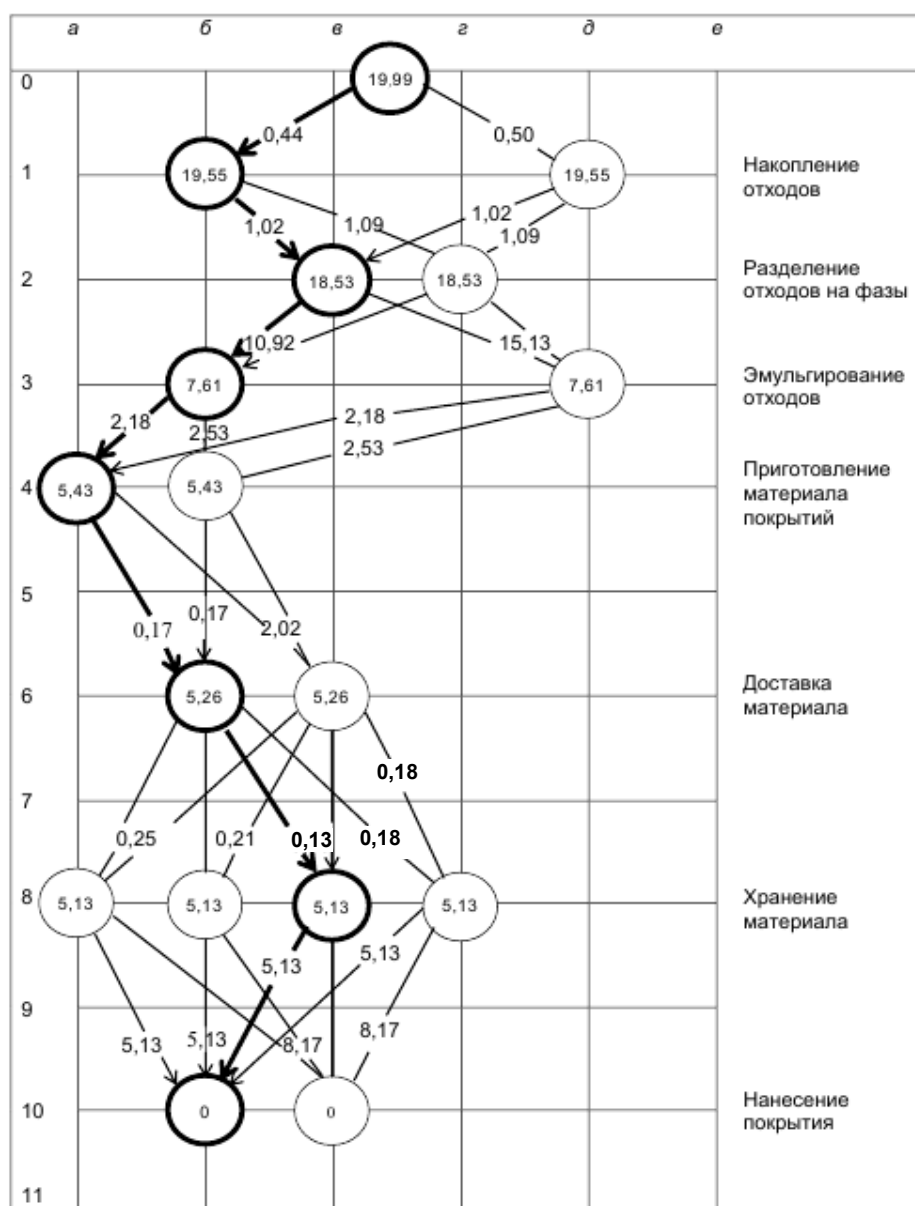


Рис. 3. Граф вариантов технологических процессов приготовления эмульсии из НСО, приготовления и использования из нее противадгезионного покрытия

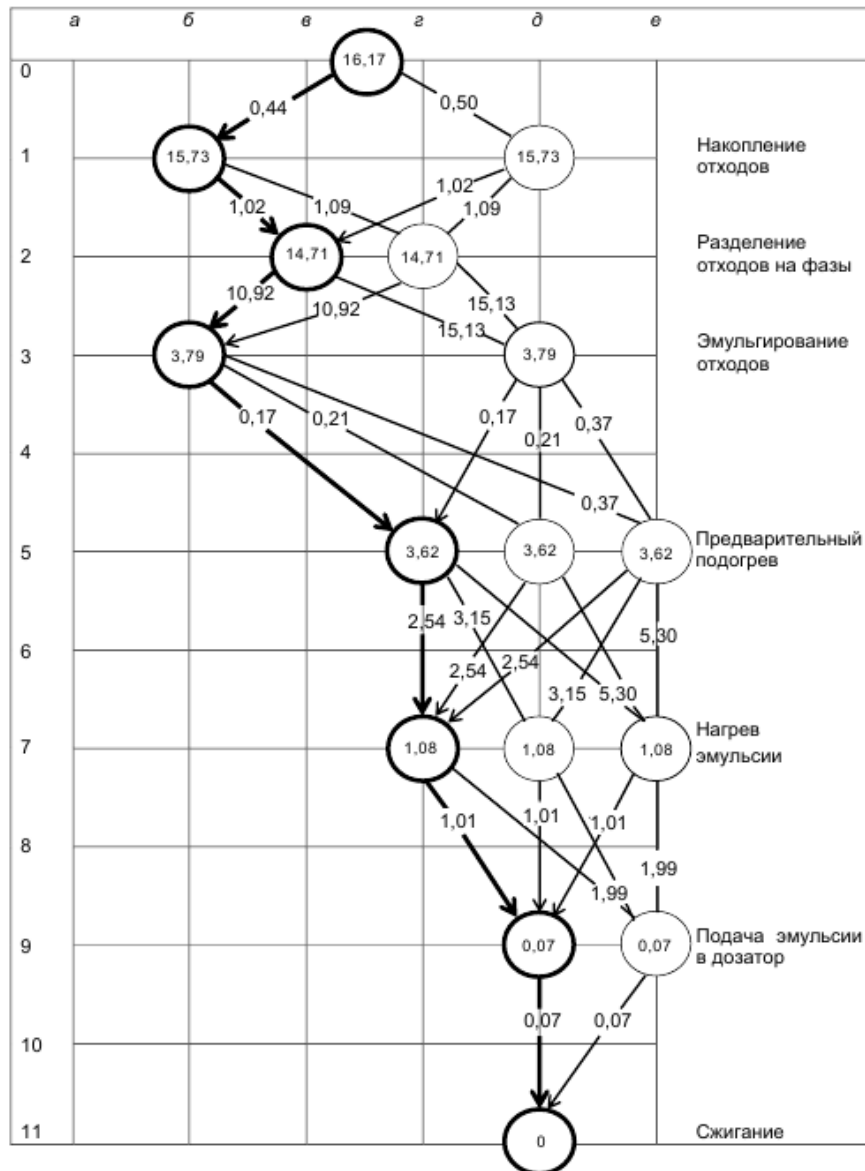


Рис. 4. Граф вариантов технологических процессов приготовления и сжигания эмульсии из НСО

Различные сочетания операций, образующие технологические процессы, выбирают из графов, составленных из вершин и дуг. Каждый горизонтальный ряд вершин графа – это i -е подмножество одноподобных технологических операций ($i = 1 \dots k$), виды которых выбирают из логических и эвристических представлений о различных способах преобразования энергии и вещества, использовании новых материалов и различных физических эффектов. В граф включают лишь те операции, которые обеспечивают установленные ограничения по безопасности труда, охране окружающей среды и производительности. Модель рассматривает все различные технологические операции, как

реально существующие, так и потенциально возможные, которые могут быть использованы в производстве.

Расход производственных ресурсов в стоимостном выражении, отнесенных к 1 т перерабатываемых отходов на подготовку и выполнение одной технологической операции включает капиталовложения в здания, оборудование, приспособления и инструменты, текущие затраты на амортизацию основных фондов, затраты на работу и поддержание (техническое обслуживание) и восстановление ресурса (ремонт) оборудования и приспособлений, стоимость материалов и энергии в объеме их норм расхода, заработную плату с начислениями и утилизацию отходов:

$$ПР = \sum_1^k M_k \Pi_k + \sum_1^n \mathcal{E}_n C_n + \sum_1^m \frac{t_{ш.-к}}{60} \left(C_{ч.р} + C_{м-ч.о} + \frac{K_o k_o}{\Phi_{д.о}} \right), \text{ руб.}, \quad (4)$$

где M_k и Π_k – норма расхода (кг, м³ и др.) и цена материала (руб/кг, руб/м³ и др.) k -го вида, соответственно; \mathcal{E}_n и C_n – норма расхода (Дж) и стоимость энергии (руб/Дж) n -го вида, соответственно; $t_{ш.-к}$ – трудовой норматив времени (норма штучно-калькуляционного времени), мин; $C_{ч.р}$ – часовая ставка рабочего, руб/ч; $C_{м-ч.о}$ – стоимость машино-часа работы оборудования, руб/м.-ч; K_o – капиталовложения в оборудование, руб.; k_o – доля капиталовложений, приходящихся на год эксплуатации оборудования, год⁻¹; $\Phi_{д.о}$ – годовой действительный фонд времени работы оборудования, ч/год.

Длины дуг графа соответствуют указанным затратам и приведены в их разрывах.

Оптимизация решения выражается в поиске кратчайшего пути из вершины O в одну из вершин нижнего яруса графа a , соответственно, подмножество вершин на этом пути определяет содержание оптимального технологического процесса. Процедура оптимизации заключалась в следующем [1, 6]: в каком бы состоянии ни находилась производственная система в результате определенного числа шагов, последующее управление на ближайшем шаге выбирают таким образом, чтобы оно в совокупности с оптимальным управлением на всех последующих шагах приводило к минимальному расходу производственных ресурсов (ПР) на всех оставшихся шагах, включая данный:

$$ПР_{i+1} = \min (\text{по всем вершинам графа}) \times [ПР_i + ПР_{(i+1)-1}], \quad (5)$$

где i – операции процесса; $ПР_{i+1}$ – расход производственных ресурсов при выполнении $i+1$ операций; $ПР_i$ – расход ресурсов при выполнении i -й операций при условии, что соответствующая часть процесса выбрана оптимальным образом; $ПР_{(i+1)-1}$ – расход ресурсов при выполнении $(i+1)$ -й операции процесса.

Граф имеет ярусы 0–11, из которых ярусы 1, 2 и 3 обозначают общий процесс приготовления эмульсии из НСО. При этом вершины ярусов 4, 6, 8 и 10 определяют процесс приготовления и использование материала противоадгезионных покрытий, а вершины ярусов 5, 7, 9 и 11 – сжигания эмульсии с основным топливом в топке парового котла.

Расчеты начинают с определения минимального значения функции $ПР_{i+1}$ в вершинах предпоследних 8-го или 9-го ярусов графов, поскольку значения затрат ресурсов $ПР_i$ ниже 10-го и 11-го ярусов графов соответственно формально равны нулю.

Поиск оптимальных технологических процессов приготовления эмульсии из НСО, приготовления и использования из нее противоадгезионного покрытия следующий (см. рис. 3). Рассматривали вершины 8-го яруса. Парное сравнение между собой длин дуг $8a - 10б$ и $8a - 10в$, $8б - 10б$ и $8б - 10в$, $8в - 10б$ и $8в - 10в$, $8г - 10б$ и $8г - 10в$ дает основание утверждать, что более короткие дуги ведут в вершину графа 10б. Обозначаем эти дуги стрелками. Значения $ПР_8$ в вершинах 8-го яруса равны 5,13 БВ.

Аналогичные расчеты и построения подтверждают, что дуги из 6-го яруса направлены в вершину $8в$, из вершин 4-го яруса – в вершину $6б$, из вершин 3-го яруса – в вершину $4а$, из вершин 2-го яруса – в вершину $3б$, из вершин 1-го яруса – в вершину $2в$, а из вершины нулевого яруса – в вершину $1б$. Значения $ПР_6$ равны 5,26 БВ, $ПР_4 - 5,43$, $ПР_3 - 7,61$, $ПР_2 - 18,53$, $ПР_1 - 19,55$, $ПР_0 - 19,99$ БВ. Обобщенный оптимальный технологический процесс включает такие операции, как: накопление отходов – непрерывное; разделение отходов на фазы – отстаиванием; эмульгирование НСО – ударными волнами, генерируемыми пневматическим излучателем; приготовление материала покрытия – с использованием ТМС; доставка материала – в оборотной таре; хранение материала – в течение 15–30 дней; нанесение покрытия – пневматическим распылением.

Аналогичный поиск оптимальных технологических процессов приготовления эмульсии из НСО и ее сжигания в топке парового котла см. на рис. 4. Обобщенный технологический процесс включает следующие операции: накопление отходов – непрерывное; разделение отходов на фазы – отстаиванием; эмульгирование НСО – ударными волнами, генерируемыми пневматическим излучателем; предварительный и основной нагрев материала – электрический; подача эмульсии в дозатор – насосом под давлением; сжигание эмульсии – огневое. Расход производственных ресурсов в финансовом отношении на приготовление и сжигание 1 т отходов составляет 16,17 БВ.

Большой доход предприятию обеспечивает приготовление из НСО материала противоадгезионных покрытий.

В эмульгированном состоянии НСО оказывают меньшее воздействие на организм рабочего, чем в неэмульгированном. Содержание масел минеральных (веретенного, машинного, цилиндрического и др.) в воздухе рабочей зоны уменьшилось с 0,0195 до 0,0155 мг/м³, углеводородов

ароматических – с 0,0120 до 0,0095 мг/м³, углеводородов предельных алифатического ряда C₁–C₁₀ – с 5,2 до 4,8 мг/м³. В эмульгированном состоянии НСО равномерно распределены по всему объему среды, поэтому они меньше испаряются. Расчет индекса риска здоровью рабочих показал его снижение на 20–30 % по сравнению с индексом влиянием веществ в неэмульгированном состоянии и переводе степени загрязнения воздуха в рабочей зоне из II (слабой) в I (допустимую).

Заключение. Использование модели эмульгирования двух несмешивающихся жидкостей перед утилизацией для обеспечения стабильности мелкодисперсной эмульсии показывает, что длина волны наиболее неустойчивого возмущения поверхности раздела жидкостей и наименьший размер неразрушенных капель в эмульсии определяется волновым числом, круговой частотой пульсаций скорости потока и критерием Струхала. Эмульсия с размером капель до 16 мкм при содержании воды в ней до 30 % при температуре окружающей среды 288 К может храниться в течение не менее чем 30 сут. Увели-

чение содержания воды в нефтесодержащей эмульсии до 10 %, сжигаемой с природным газом в паровом котле, приводит к уменьшению длины факела в 1,1–1,3 раза, а при содержании воды 20 % – в 1,2–1,6 раза, со снижением температуры факела на 30–50 и 100–150 К соответственно, что обуславливает снижение содержания оксидов азота в дымовых газах на 23–44 % с уменьшением расхода первичного топлива на 3–5 %.

Эмульсии из НСО, применяемые в качестве противoadгезионных покрытий на поверхности форм при производстве железобетонных изделий соответствуют требованиям СТБ 1707 и могут заменить промышленные смазки.

С использованием предложенного метода выбора и обоснования технологического процесса, связанного с охраной труда и окружающей среды с учетом ограничений безопасности и требований эффективности, отличающегося эффективностью, наглядностью и универсальностью, разработаны оптимальные технологические процессы получения и использования водных эмульсий по критерию наименьшей себестоимости.

Литература

1. Беллман, Р. Динамическое программирование / Р. Беллман ; пер. с англ. – М., 1960.
2. 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.
3. 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.
4. Иванов, В. П. Математическое моделирование разрушения капель эмульсии из отходов производства в факеле парового котла / В. П. Иванов, В. А. Дронченко // Вестник ГГТУ. – 2016. – № 1. – С. 45–51.
5. Смазочные материалы и проблемы экологии / А. Ю. Евдокимов [и др.]. – М., 2000.
6. Zwicky, F. Entdecken, Erfinden, Torschen im morphologischen Wettbild / F. Zwicky. – Munchen ; Zurich ; Knauer, 1966.

Полоцкий государственный университет, Полоцк, Беларусь

Поступила в редакцию 21.10.2016 г.

В. П. Иванов, В. А. Дронченко

УТИЛИЗАЦИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Определен состав жидких отходов вспомогательного производства предприятий нефтехимического комплекса из сточных вод с отработавшими растворами технических моющих средств и нефтесодержащей составляющей из масел моторного и трансмиссионного, топливных фракций и пластичных смазок, представляющих риск для здоровья рабочих и угрозу окружающей среде, и определена необходимость и направленность их утилизации. С использованием модели эмульгирования двух несмешивающихся жидкостей определены условия обеспечения стабильности мелкодисперсной эмульсии и предложен процесс ее получения. Разработаны четыре состава эмульсов на основе нефтесодержащих отходов, применяемых в качестве материала противoadгезионных покрытий, наносимых на поверхности форм для изготовления железобетонных изделий.

Предложен процесс утилизации нефтесодержащих отходов путем сжигания эмульсии из них как добавки к газообразному топливу. Управляемое сжигание позволяет уменьшить содержание оксидов азота в дымовых газах с 160–200 до 110–140 мг/м³ с уменьшением расхода первичного топлива на 3–5 %. Апробирован метод выбора и обоснования технологического процесса, связанного с охраной труда и окружающей среды с учетом ограничений безопасности и требований эффективности, отличающегося эффективностью, наглядностью и универсальностью, разработаны оптимальные технологические процессы получения и использования водных эмульсий из нефтесодержащих отходов.

V. P. Ivanov, V. A. Dronchenko

**DISPOSAL OF OIL WASTE OF SECONDARY
PRODUCTION OF PETROCHEMICAL ENTERPRISES**

The composition of the liquid waste of secondary production of the enterprises of the petrochemical complex of waste water from exhaust solutions of technical detergents or oil-containing component of motor and transmission oils, fuel fractions and plastic lubricants that pose a risk to the health of workers and the threat to the environment is determined, and the need for direction of their utilization is identified. Using the model of the emulsification of two immiscible liquids the conditions for the stability of fine emulsions are determined and the process of its preparation is proposed. Four compositions of the emulsions based on oil waste are developed used as material of anti-adhesion coatings applied on the surface of moulds for manufacture of concrete products. The disposal of oil waste by combustion of an emulsion of them as additives to a gaseous fuel is proposed. Controlled burning allows to reduce the content of nitrogen oxides in flue gases with 160–200 mg/m³ to 110–140 mg/m³, with reduction of primary fuel consumption by 3–5 %. The method of selection and justification of the technological process associated with occupational health and the environment given the constraints of safety and efficiency requirements that are characterized by efficiency, clarity and versatility designed for the optimal technological processes of obtaining and use of water emulsions of oil waste is tested.