

ISSN 0204-3602

# ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

ТОМ 32

3



2010

НТБ ДонНТУ



П42307

INDUSTRIAL HEAT ENGINEERING

Vol. 32

№ 3 2010

---

**ТЕМАТИКА ЖУРНАЛА**

---

---

**THEMES OF JOURNAL**

---

- |   |   |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Тепло- и массообменные процессы                       | <input checked="" type="checkbox"/> Heat and Mass Exchange Processes                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> Тепло- и массообменные аппараты                       | <input checked="" type="checkbox"/> Heat and Mass Exchange Apparatus                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> Теория и практика сушки                               | <input checked="" type="checkbox"/> Theory and Practice of Drying                         |
| <input type="checkbox"/> Теплоэнергетические установки                                    | <input type="checkbox"/> Heat Power Units   |
| <input checked="" type="checkbox"/> Использование и сжигание топлива                      | <input checked="" type="checkbox"/> Fuel Utilization and Burning                          |
| <input type="checkbox"/> Атомная энергетика   | <input type="checkbox"/> Nuclear Power  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Коммунальная и промышленная теплоэнергетика           | <input checked="" type="checkbox"/> District and Industrial Heat Power                    |
| <input checked="" type="checkbox"/> Нетрадиционная энергетика                             | <input checked="" type="checkbox"/> Nontraditional Energy Sources                         |
| <input checked="" type="checkbox"/> Энергосбережение                                      | <input checked="" type="checkbox"/> Energy Saving   |
| <input type="checkbox"/> Экономическая эффективность энергетических проектов              | <input type="checkbox"/> Economic Efficiency of Power Projects                            |
| <input type="checkbox"/> Термодинамика и процессы переноса                                | <input type="checkbox"/> Thermodynamics and Transport Phenomena                           |
| <input checked="" type="checkbox"/> Экология теплоэнергетических объектов                 | <input checked="" type="checkbox"/> Ecology of Heat-Power Generation                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> Измерение, контроль, автоматизация тепловых процессов | <input checked="" type="checkbox"/> Measurement, Control, Automation of Thermal Processes |
- 
- 

**АДРЕС РЕДАКЦИИ:**

Институт технической теплофизики НАН Украины  
2а ул. Желябова, 03680, Киев, Украина  
тел.: (38 044) 456-48-67  
E-mail: [shmorgun@ittf.kiev.ua](mailto:shmorgun@ittf.kiev.ua), [ihe@nas.gov.ua](mailto:ihe@nas.gov.ua)

**ADDRESS:**

National Academy of Sciences of Ukraine  
Institute of Engineering Thermophysics  
2a, Zhelyabov str., 03680, Kyiv, Ukraine  
tel.: (38 044) 456-48-67  
E-mail: [shmorgun@ittf.kiev.ua](mailto:shmorgun@ittf.kiev.ua), [ihe@nas.gov.ua](mailto:ihe@nas.gov.ua)  
Certificate of State Registration KBNNo. 2321 of Dec. 5, 1996

---

Програмою підтримки періодичних видань НАН України»

---

Сдано в набор 10.05.2010. Подписано в печать 03.06.2010.  
Формат 60x90/8. Бум. офс. № 1.  
Гарнитура Times New Roman.  
Печать офс. Усл. печ. л. 15,8.  
Уч.-изд. л. 17,26 Тираж 271 экз. Заказ 2708.  
Украина, 01004, Киев-4, ул. Терещенковская, 4.  
ВД «Академперіодика»

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ  
НАН УКРАИНЫ

## ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРИКЛАДНОЙ  
ЖУРНАЛ

Выходит 6 раз в год  
Основан в 1979 г.

Том 32, № 3, 2010

Главный редактор – Долинский А.А.

### Редакционная коллегия:

Авраменко А.А.

Бабак В.П.

Базеев Е.Т.

Басок Б.И. – зам. главного редактора

Буляндра А.Ф.

Гелетуа Г.Г.

Дубовской С.В.

Клименко В.Н.

Круковский П.Г.

Майстренко А.Ю.

Письменный Е.Н.

Праховник А.В.

Пятничко А.И.

Сигал А.И.

Снежкин Ю.Ф.

Фиалко Н.М.

Халатов А.А.

Чайка А.И.

Шморгун В.В. – ответственный секретарь

### Редакционный совет:

Алексеенко С.В. (Россия)

Вацлавик Ю. (Польша)

Коверда В.П. (Россия)

Коновалов В.И. (Россия)

Люриг Х. (Германия)

Маджамдар А. (Канада)

Мартыненко О.Г. (Беларусь)

Матей И. (Румыния)

Мизута И. (Япония)

Минг-Шан-Жу (Китай)

Накоряков В.Е. (Россия)

Сайред Н. (Великобритания)

Тоттен Дж. Е. (США)

### ТЕПЛО- И МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Халатов А.А., Борисов И.И., Дашевский Ю.Я.,  
Северин С.Д., Романов В.В.

Теплообмен воздушного потока в трубе  
с комбинированной закруткой на входе.....7

Дреус А.Ю.

Экспериментальное исследование теплоотдачи  
вращающегося стержня при торцевом нагреве.....18

Онищенко В.Н., Халатов А.А.

К вопросу о расчете теплообмена за двухрядной  
системой углублений.....24

### ТЕПЛО- И МАССООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Гершуні О.Н., Ніщик О.П.

Порівняльний аналіз теплопередаючої здатності  
теплообмінників випаровувально-конденсаційного типу  
та рекуперативних трубчатих теплообмінників.....28

### ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СУШКИ

Снежкин Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.А.,

Михайлик Т.А.

Исследования влияния параметров сушки  
на кинетику и всхожесть семян рапса.....37

Турчина Т.Я.

Кинетика процессов тепловлагодпереноса при сушке  
капель термопластичных материалов – солодовых  
экстрактов.....43

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И СЖИГАНИЕ ТОПЛИВА

Долинский А.А., Грабов Л.Н., Мерцый В.И.,  
Шматок А.И.

Теплофизические параметры и экспериментальное  
оборудование для получения жидких биотоплив  
из растительных масел и спиртов.....50

Гридин С.В., Хохлова А.Л.

Оценка эколого-экономического эффекта  
от использования в качестве топлива водо-мазутной  
эмульсии, приготовленной из мазутосодержащих  
отходов.....59

### КОММУНАЛЬНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Никитин Е.Е.

Оптимальное распределение установленной мощности  
в системах отопления с базовым и пиковым источником  
тепловой энергии.....64

### НЕТРАДИЦИОННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Гелетуа Г.Г., Желєзна Т.А.

Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики  
в Україні. Частина 1.....73

---

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ**

---

**Грабова Т.Л.**

Применение метода дискретно-импульсного ввода энергии для получения структурированных спиртосодержащих систем.....80

**Авдєєва Л.Ю.**

Метод інтенсифікації процесу отримання ліпосомних наноструктур при дискретно-імпульсному введенні енергії.....87

---

**ЭКОЛОГИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

---

**Долинский А.А., Драганов Б.Х.**

Вопросы защиты окружающей среды от постоянно возрастающего „ПАРНИКОВОГО” эффекта.....92

**Приемов С.И.**

К оценке механизма формирования распределения частиц аэрозолей по размерам в «уносе» из механических скрубберов.....95

---

**ИЗМЕРЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

---

**Тонконогий Ю., Пядишюс А., Тонконоговас А., Круковський П.Г.**

Отклик и динамическая погрешность турбинного счетчика газа при пульсациях потока по сложным законам.....99

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE  
INSTITUTE OF ENGINEERING  
THERMOPHYSICS

## INDUSTRIAL HEAT ENGINEERING

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND  
APPLIED JOURNAL

Published bimonthly  
Founded in 1979

Volume 32, № 3, 2010

Editor in Chief – A. DOLINSKY

### Editorial Board Members:

- A. Avramenko
- V. Babak
- E. Bazeev
- B. Basok – Associated Editor
- A. Bulyandra
- G. Geletykha
- S. Dubovskoi
- V. Klimenko
- D. Krukovsky
- A. Maistrenko
- E. Pysmennyy
- A. Prakhovnik
- A. Pyatnichko
- A. Sigal
- V. Snezhkin
- V. Fialko
- A. Khalatov
- A. Chaika
- V. Shmorgun – Responsible Secretary

### Advisory Editorial Board:

- S. Alekseenko (Russia)
- J. Wazlawik (Poland)
- V. Coverda (Russia)
- M. Konovalov (Russia)
- H. Lurig (Germany)
- A. Mujumdar (Canada)
- I. Martynenko (Belorussia)
- C. Matei (Romania)
- M. Mizuta (Japan)
- Wang-Shan-Zhu (China)
- A. Nekoryakov (Russia)
- S. Sured (United Kingdom)
- J. Totten (USA)

### HEAT AND MASS EXCHANGE PROCESSES

- A. Khalatov, I. Borisov, Yu. Dashevsky, S. Severin, V. Romanov**  
Heat transfer at the in-tube air flow with combined inlet flow swirl .....7
- A. Dreus**  
Experimental study of heat transfer rotating rod under heating on the end.....18
- V. Onischenko, A. Khalatov**  
Heat transfer simulation downstream the dual-row of dimples .....24

### HEAT AND MASS EXCHANGE APPARATUS

- O. Gershuni, O. Nischik**  
Comparative analysis of heat conduction capacity for evaporation-condensation type of heat exchangers and recuperative tubular one.....28

### THEORY AND PRACTICE OF DRYING

- Yu. Snezhkin, V. Paziuk, J. Petrova, T. Mihaylik**  
Research of influence of drying parameters to kinetics and germination rape seeds.....37
- T. Turchina**  
Kinetic of heat moisture transfer during drying droplets of thermoplastic materials – malt extracts.....43

### FUEL UTILIZATION AND BURNING

- A. Dolinsky, L. Grabov, V. Merschiy, A. Shmatok**  
Thermophysical parameters and the experimental equipment for reception liquid biofuel from vegetable oils and spirits.....50
- S. Gridin, A. Khokhlova**  
Assessment of environmental and economic effects of the using as a fuel of water-fuel emulsion, prepared from wastes containing fuel oil.....59

### DISTRICT AND INDUSTRIAL HEAT POWER

- E. Nikitin**  
Optimal distribution of installed capacity in heat systems with basic and peak heat source.....64

### NONTRADITIONAL ENERGY SOURCES

- G. Geletukha, T. Zheliezna**  
State of the art and prospects for bioenergy development in Ukraine. Part 1 .....73

### ENERGY SAVING

- T. Grabova**  
Application of the method of discrete-pulse input of energy for production structured alcohol-containing systems .....80
- L. Avdeeva**  
Method of an intensification of process of reception liposome nanostructure by discrete-pulse introduction of energy.....87

---

**ECOLOGY OF HEAT-POWER GENERATION**

---

**A. Dolinsky, B. Draganov**

Problems of environment protection from constantly increasing "HOTBED" effect .....92

**S. Priyomov**

Estimates of mechanism forming distribution of particles airashes on dimensions at the "away" in mechanical scrubbers.....95

---

**MEASUREMENT, CONTROL, AUTOMATION OF THERMAL PROCESSES**

---

**J. Tonkonogij, A. Pedisius, A. Stankevicius, A. Tonkonogovas**

The influence of gas flow pulsing on performance of small cogenerational combined cycle power plant.....99



УДК 621.182

Гридин С.В., Хохлова А.Л.

Донецкий национальный технический университет

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ВОДО-МАЗУТНОЙ ЭМУЛЬСИИ, ПРИГОТОВЛЕННОЙ ИЗ МАЗУТОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Проведено аналіз економічних, екологічних і технічних переваг використання водо-мазутної емульсії. Розроблено методику розрахунку еколого-економічного ефекту від використання в якості палива водо-мазутної емульсії, приготовленої з відходів, що містять мазут.

Проведен аналіз економічних, екологічних і технічних переваг використання водо-мазутної емульсії. Розроблена методика розрахунку еколого-економічного ефекту від використання в якості палива водо-мазутної емульсії, приготовленої з мазутосодержащих отходов.

We conducted analysis of economic, ecological and technical advantages of the using the water-fuel emulsion. We developed method of calculation ecological-economic effect of the using as a fuel of water-fuel emulsion, prepared from wastes containing fuel oil.

$q_2$  – потери энергии с уходящими газами, ГДж/год;

$q_3$  – потери энергии вследствие химической неполноты сгорания мазута/ВМЭ, ГДж/год;

$q_4$  – потери энергии вследствие физической неполноты сгорания мазута/ВМЭ, ГДж/год;

$q_5$  – потери через наружное ограждение, ГДж/год;

$q_6$  – физическая теплота шлаков, ГДж/год;

$\Delta D$  – дополнительный доход, грн./год;

$A$  – годовые амортизационные отчисления по эксплуатации оборудования, грн./год;

$Z_1$  – затраты на производство тепловой энергии до реконструкции, грн./год;

$Z_2$  – затраты на производство тепловой энергии после реконструкции, грн./год;

$K_{нас}$  – корректирующий коэффициент, который учитывает численность жителей населённого пункта;

$K_{ф}$  – корректирующий коэффициент, который учитывает народнохозяйственное значение населённого пункта;

$M_{i1}$  – объём годового выброса  $i$ -го количества видов загрязняющих веществ в атмосферный воздух при сжигании мазута, т/год;

$M_{i2}$  – объём годового выброса  $i$ -го количества видов загрязняющих веществ в атмосферный воздух при сжигании ВМЭ, т/год;

$N$  – годовые налоговые отчисления на заработную плату, грн./год;

$N_{bi}$  – норматив сбора за 1 т  $i$ -го загрязняющего вещества, грн./т;

$P$  – предотвращённый экономический ущерб, грн./год;

$C_{1ГДж}$  – стоимость 1 ГДж, грн./ГДж;

$C_{В-М}$  – стоимость необходимого годового количества водо-мазутного сырья, грн./год;

$C_{М}$  – стоимость мазута, затраченного на производство годового количества тепловой энергии, грн./год;

$C_{обезв}$  – годовая стоимость мероприятий по обезвоживанию мазута, грн./год;

$C_{обраб}$  – затраты на обработку (диспергирование) сырья для ВМЭ (стоимость электроэнергии, затрачиваемой оборудованием), грн./год;

$C_{подогр}$  – годовая стоимость мероприятий, затраченных на подогрев мазута перед сжиганием, грн./год;

$C_{тр}$  – годовая стоимость транспортировки мазута/ВМЭ, грн./год;

$C_{эспл}$  – годовые затраты на эксплуатацию оборудования, грн./год;

$C_{эл.эн}$  – годовая стоимость электроэнергии, затраченной на перекачку мазута/ВМЭ, грн./год;

$C_q$  – годовая стоимость потерь энергии в результате сжигания мазута, грн./год;

$U_1$  – экономический ущерб от загрязнения окружающей среды до проведения реконструкции, грн./год;  
 $U_2$  – экономический ущерб от загрязнения окружающей среды после проведения реконструкции, грн./год;  
 ФОТ – годовые отчисления в фонд оплаты труда, грн./год;  
 Эф – эколого-экономический эффект, грн./год;  
 ВМЭ – водо-мазутная эмульсия.

Сегодня основным топливом для промышленных предприятий и котельных Украины является природный газ. Однако, большинство из них для обеспечения бесперебойной работы в качестве резервного топлива используют мазут.

В то же время, подготовка мазута к сжиганию требует значительных энергозатрат, которые в конечном итоге отражаются в виде повышения энергоёмкости единицы произведенной продукции: при использовании мазута в качестве топлива увеличиваются расходы предприятий за выбросы вредных веществ в атмосферу, возрастают затраты на эксплуатацию оборудования и т.п.

Одним из путей снижения энергоёмкости единицы произведенной продукции является использование отходов нефтепродуктов в виде загрязненных топлив, донных отложений, отработанных масел с повышенным содержанием воды и механических примесей, образованных в процессе эксплуатации промышленных предприятий, нефтебаз, железнодорожного и автомобильного транспорта и судов. Это сырьё не подлежит использованию и представляет опасность для окружающей среды.

Основными источниками отходов нефтепродуктов являются:

- отходы котельного топлива, дизельного топлива, моторного топлива после фильтрации, сепарации и зачисток емкостей на промышленных предприятиях;
- главные двигатели на судах (при сепарации тяжелых топлив отходы составляют от 3 до 5 % топлива);
- продукты зачистки мазутных резервуа-

**Индексы нижние:**

В-М – водо-мазутное сырьё;  
 м – мазут;  
 нас – население;  
 обезв – обезвоживание;  
 обраб – обработка;  
 подогр – подогрев;  
 тр – транспортировка;  
 экспл – эксплуатация;  
 эл.эн. – электрическая энергия.

ров, железнодорожных цистерн и автоцистерн;

- проливы в процессе транспортировки мазута;

- донные отложения из грузовых танков танкеров, а также из расходных топливных цистерн.

Подтоварные сточные воды промышленных и отопительных котельных, как правило, собираются и вывозятся на специальные полигоны, где обезвоживаются далеко не совершенными способами. На их транспортировку и обезвоживание предприятие ежегодно затрачивает десятки тысяч гривен.

Оптимальным решением проблемы подготовки к сжиганию нефтесодержащих отходов является приготовление из них водо-мазутной эмульсии.

Публикации, посвящённые теории и практике использования ВМЭ, возникают в периоды экономических и энергетических трудностей или по причине ухудшения экологического состояния окружающей среды. В настоящее время эти причины совместились во времени. С одной стороны, постоянное стремительное повышение цен на энергоносители заставляет инженеров искать новые виды топлив, с другой стороны, производственная сфера Украины требует повышения энергоэффективности производства. Анализ публикаций по теме применения ВМЭ позволяет заметить, что экономическая эффективность их применения оценивается лишь ориентировочно и не включает в себя оценку предотвращённого экологического ущерба от использования ВМЭ из нефтесодержащих отходов.



Целью данной статьи является разработка методики оценки эколого-экономического эффекта от использования в качестве топлива ВМЭ, приготовленной из нефтесодержащих отходов.

К настоящему времени проведено значительное количество экспериментальных работ, посвящённых использованию ВМЭ в различных теплоагрегатах. Прежде всего, следует отметить работы В.М. Иванова [1] и О.Н. Лебедева [2], в которых сформулированы основные теоретические положения горения капель ВМЭ. Лабораторные исследования [1] показали, что: жидкие эмульгированные топлива сгорают быстрее, чем безводные; вода не ухудшает, а улучшает процессы горения по причине дополнительного дробления капель топлива, увеличения поверхности горения частиц и хорошего перемешивания топлива с воздухом. Сокращение времени сгорания капель ВТЭ благоприятно сказывается на догорании сажистых остатков, так как улучшает полноту сгорания топлива и уменьшает отложение сажи на рабочих поверхностях. Результаты работ, проведенные исследователями И.А. Тувом [3] и В.М. Ивановым, со всей очевидностью показали, что процессы смесеобразования, воспламенения и горения для обводненного эмульгированного топлива протекают более интенсивно, чем для топлива безводного, что в конечном итоге обеспечивают хорошие показатели сгорания как по времени, так и по полноте.

Для получения устойчивой ВМЭ вода в эмульсии должна находиться в виде частиц диаметром порядка нескольких микрометров. Для приготовления ВМЭ требуемой влажности, дисперсности, вязкости и др. применяются устройства-гомогенизаторы.

Использование гомотенизированной водно-мазутной смеси позволяет повысить коэффициент сжигания топлива, сэкономить мазут и уменьшить вредные выбросы оксида азота и угарного газа в атмосферу при их сжигании. Сжигание ВМЭ с добавлением влаги приводит к снижению уровня температур в зоне максимальной генерации оксидов азота, и следова-

тельно, к значительному (на 30...50 %) снижению их концентрации в дымовых газах. Для снижения концентрации оксидов серы при сжигании сернистых мазутов в составе добавочных вод можно также использовать раствор или слабую взвесь гашёной извести. Гомогенизированная водно-мазутная смесь имеет заметно меньшую вязкость, чем чистый мазут, поэтому облегчается процесс перекачки топлива.

Находящаяся в составе ВМЭ водная фаза может быть частично диссоциирована в ходе окисления топлива в предпламенных процессах. Затем, по мере повышения температуры в фазе активного сгорания, реакция диссоциации воды ускоряется. Образующийся при диссоциации избыток атомов водорода быстро диффундирует в область с избытком кислорода, где их реакция компенсирует затраты энергии на диссоциацию воды.

Еще одним важным фактором, характеризующим эффективность использования ВМЭ, является повышение эффективности и долговечности топочного оборудования. При сжигании эмульсии часть капель долетает до поверхностей нагрева и взрывается на них, что способствует не только предотвращению отложений, но и очистке этих поверхностей от старых сажистых образований.

Итак, сжигание ВМЭ дает ряд преимуществ:

а) значительное улучшение экономичности и экологических характеристик энергетических котлов и технологических печей за счет снижения выбросов угарного газа, оксидов азота, бенз(а)пирена и др. вредных веществ;

б) интенсификацию процесса сжигания топлива;

в) возможность огневого обезвреживания и утилизации сбросных вод, загрязненных нефтепродуктами и др. вредными веществами.

Эколого-экономический эффект от применения ВМЭ целесообразно рассматривать как сумму предотвращённого экономического ущерба от загрязнения окружающей природной среды и дополнительного дохода, полученного вследствие внедрения технологии

сжигания ВМЭ, приготовленной из нефтесодержащих отходов:

$$\text{Эф} = \text{П} + \Delta\text{Д}. \quad (1)$$

Предотвращённый экономический ущерб рассчитывается как изменение расходов предприятия на сборы за загрязнение окружающей среды:

$$\text{П} = \text{У}_1 - \text{У}_2 = \sum (M_{i1} \cdot H_{\text{би}}) \cdot K_{\text{ф}} \cdot K_{\text{нас}} - \sum (M_{i2} \cdot H_{\text{би}}) \cdot K_{\text{ф}} \cdot K_{\text{нас}}. \quad (2)$$

В случае, если предприятие загрязняет мазутосодержащими отходами водные ресурсы, то экономический ущерб  $\text{У}_1$  дополнится ещё и суммой сбора за загрязнение водных ресурсов.

Дополнительный доход, полученный вследствие внедрения технологии сжигания ВМЭ, приготовленной из нефтесодержащих отходов, определяется путём сопоставления затрат на производство одинакового количества тепла до и после реконструкции:

$$\Delta\text{Д} = \text{З}_1 - \text{З}_2, \quad (3)$$

$$\text{З}_1 = C_{\text{м}} + C_{\text{обезв}} + C_{\text{тр}} + C_{\text{эл.эн.}} + C_{\text{подогр}} + C_{\text{q}} + C_{\text{экспл}} + A + \text{ФОТ} + \text{Н}. \quad (4)$$

Стоимость потерь энергии определяется по формуле:

$$C_{\text{q}} = C_{\text{ГДж}} (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6). \quad (5)$$

Затраты на производство годового количества тепловой энергии при использовании в качестве топлива ВМЭ и установке для этого мероприятия устройства для диспергирования обводненных мазутосодержащих отходов определяются:

$$\text{З}_2 = C_{\text{В-М}} + C_{\text{обработ}} + C_{\text{тр}} + C_{\text{эл.эн.}} + C_{\text{q}} + C_{\text{экспл}} + A + \text{ФОТ} + \text{Н}. \quad (6)$$

### Выводы

Сжигание ВМЭ, приготовленной из нефтесодержащих отходов, позволяет получить следующие экономические преимущества:

- уменьшение экономического ущерба от загрязнения окружающей среды за счёт уменьшения количества оксидов азота, серы, угарного газа, сажистых частиц, бенз(а)пирена и др. вредных веществ;
- снижение стоимости исходного топливного сырья или полное её отсутствие;
- снижение стоимости мероприятий на подготовку сырья к сжиганию (транспортировка, обезвоживание, подогрев, перекачка, рас-

пыление);

- снижение потерь с физическим, механическим недожогом, потерь с уходящими газами (за счёт возможности снижения коэффициента избытка воздуха), уменьшение физической теплоты шлаков;
- уменьшение степени загрязнения оборудования, снижение затрат на его эксплуатацию, увеличение срока службы оборудования и уменьшение затрат на его амортизацию.

Определение эффекта от подобного мероприятия является оптимизационной задачей, в которой необходимо учесть стоимость оборудования, увеличение объёма продуктов сгора-

ния, потери энергии на испарение влаги ВМЭ, а также её частичную диссоциацию и компенсацию потерь при дальнейшем горении водорода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванов В.М.* Топливные эмульсии. – М.: АН СССР, 1962. – 407 с.
2. *Лебедев О.Н., Сомов В.А., Сисин В.Д.* Во-

дотопливные эмульсии в судовых дизелях. – Л.: Судостроение, 1988. – 108 с.

3. *Тув И.А.* Сжигание обводнённых мазутов в судовых котлах. – Л.: Судостроение, 1968. – 314 с.

*Получено 12.10.2009 г.*