

## Раздел четвертый

**КОМПЛЕКСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СНИЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЕПЛОВЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ****4.1. Сжигание водомазутной эмульсии в паровых котлах****4.1.3. Формирование водотопливной эмульсии на основе сырой нефти и ее сжигание в котле ДКВР-10/13**

*В.И. Кормилицын, О.В. Шмырков, Н.Б. Юшков, Филиал ФГБУН Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН», Москва, Россия.*

**АННОТАЦИЯ**

Проведены опыты по формированию водотопливных эмульсий из сырой нефти и топочного мазута и промышленные испытания технологии подготовки к сжиганию водотопливной эмульсии и собственно сжигания. Показано, что это приводит к повышению эффективности и надежности работы энергетического оборудования.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

Нефть, мазут, водотопливная эмульсия, паровой котел, экономичность, надежность.

Развитие представлений о нефти и нефтепродуктах как о нефтяных дисперсных системах [1] сопровождается расширением применения для их переработки методов интенсификации тепло- и массообменных процессов.

В теплоэнергетике приготовление жидких углеводородных топлив в виде водотопливных эмульсий с последующим их сжиганием в топках котлов показало ряд преимуществ в эколого-техничко-экономическом аспекте, послуживших началу их широкого внедрения в практику эксплуатации топливных хозяйств котельных установок [2,3].

Широкий диапазон исходных граничных условий, как по составу исходных компонент топлива, так и их конечных качественных (физико-химических, тепло-технических и др.) характеристик, существенно влияет на экономичность, экологичность и надежность работы энергетического оборудования и сохраняет актуальность данной проблемы на настоящее время.

Одним из путей дальнейшего решения данной проблемы является интенсификация физического воздействия на исходную среду продукта волновой технологией [4] и его кавитационной обработкой [5,6]. В [3] рассмотрены некоторые энергетические и экологические аспекты влияния волнового воздействия на свойства водомазутных эмульсий. Показано, что приготовление тонкодисперсных эмульсий повышает эффективность сжигания топлива и обеспечивает более полное сгорание по сравнению с исходным топливом. При этом отмечается повышение качества углеводородных топлив (снижение вязкости, увеличение доли выхода светлых нефтепродуктов) вследствие использования многофакторного воздействия [7]. Совершенствование же технологий более глубокой переработки нефти приводят к ухудшению ряда физико-химических свойств конечного продукта (мазута), что требует соответствующей корректировки в технологии топливных хозяйств котельных и тепловых электростанций.

Приготовление водомазутных эмульсий с частицами воды (размерами 1...5 мкм) равномерно распределенными по объему топлива позволяет реализовать

практически полное сжигание топлива (с нулевыми значениями или со следами химического и механического недожога топлива), с высокими технико-экономическими показателями работы энергетического оборудования (снижение критического значения коэффициента избытка воздуха). А также повысить его надежность в условиях промышленной эксплуатации оборудования и уменьшить загрязнение воздушного бассейна, водоемов и почвы.

Уменьшение загрязнения воздушного бассейна происходит за счет снижения токсичности дымовых газов на 7-30% в зависимости от исходного состояния топочно-горелочных устройств и режимно-технологических факторов сжигания топлива. Кроме уменьшения выбросов оксидов азота достигается кратное (от 2 до 10 раз) снижение концентрации бенз(а)пирена в дымовых газах ( $C_{20}H_{12}$  – являющийся индикатором канцерогенных веществ в продуктах сгорания топлива и первопричиной возникновения раковых заболеваний человека). За счет использования загрязненных нефтепродуктами сбросных вод в качестве добавки в водотопливную эмульсию решается проблема создания бессточных топливных хозяйств котельных и ТЭС, и осуществляется их энергетическая утилизация [8].

Композитное топливо, с помощью специальных добавок в топливную массу, позволяет эффективно нейтрализовать сернистые соединения, являющиеся источником загрязнения окружающей природной среды, а также оказывающие негативное влияние на состояние энергетического оборудования в виде низкотемпературной серноокислотной коррозии.

Применение технологии приготовления композитной водотопливной эмульсии позволяет перейти к реализации процессов сжигания топлива с предельно низкими коэффициентами избытка воздуха. Помимо снижения расхода электроэнергии на тягодутьевые установки, это способствует улучшению экологической ситуации (снижение расхода атмосферного воздуха, меньший выброс в атмосферу дымовых газов и снижение их токсичности).

Предлагаемая технология приготовления топлива позволяет организовать бессточное топливное хозяйство, т.е. исключить потери топлива при сливе отстоявшейся воды из топливных емкостей, отказаться или существенно снизить затраты на дорогостоящее оборудование очистных сооружений.

Для формирования водотопливных эмульсий на основе углеводородных топлив применен проточный волновой генератор плоского типа, принципиальная схема которого приведена на рисунке 1.

Проведены в широком диапазоне параметрические экспериментальные исследования влияния гидроди-

намических характеристик работы генератора на интенсивность кавитационного воздействия на поток жидкости с определением качества продукта [9]. Получены амплитудно-частотные характеристики пульсаций давления в следе за первым телом обтекания, которые показали, что в этом месте на определенных режимах возникают пики давления (рис.2), связанные

с квазистационарным характером отрыва потока с тела обтекания [10].

На рис. 3 в качестве примера приведена фотография картины течения за телами обтекания и следов эрозии материала с поверхности контрольного образца в проточном канале генератора для режима, соответствующего величине максимального уноса.

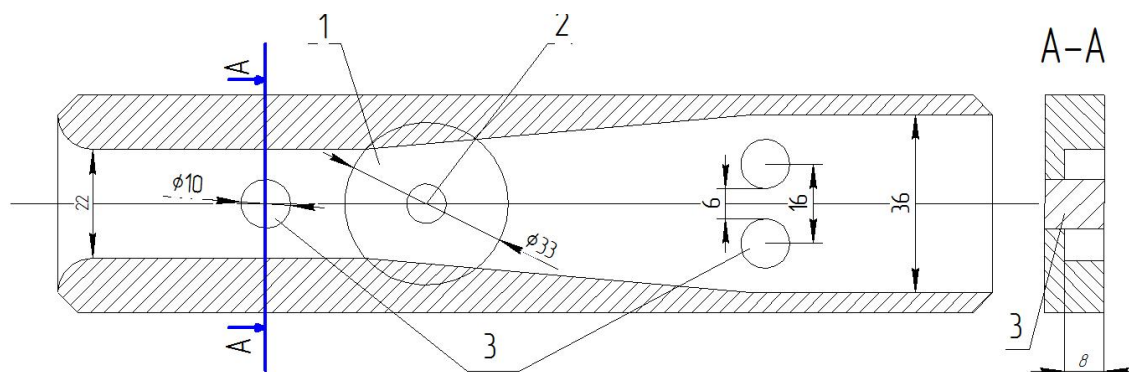


Рис.1. Принципиальная схема канала: 1 – место установки контрольной свинцовой вставки; 2 – место установки пьезоэлектрического датчика давления; 3 – тела обтекания.

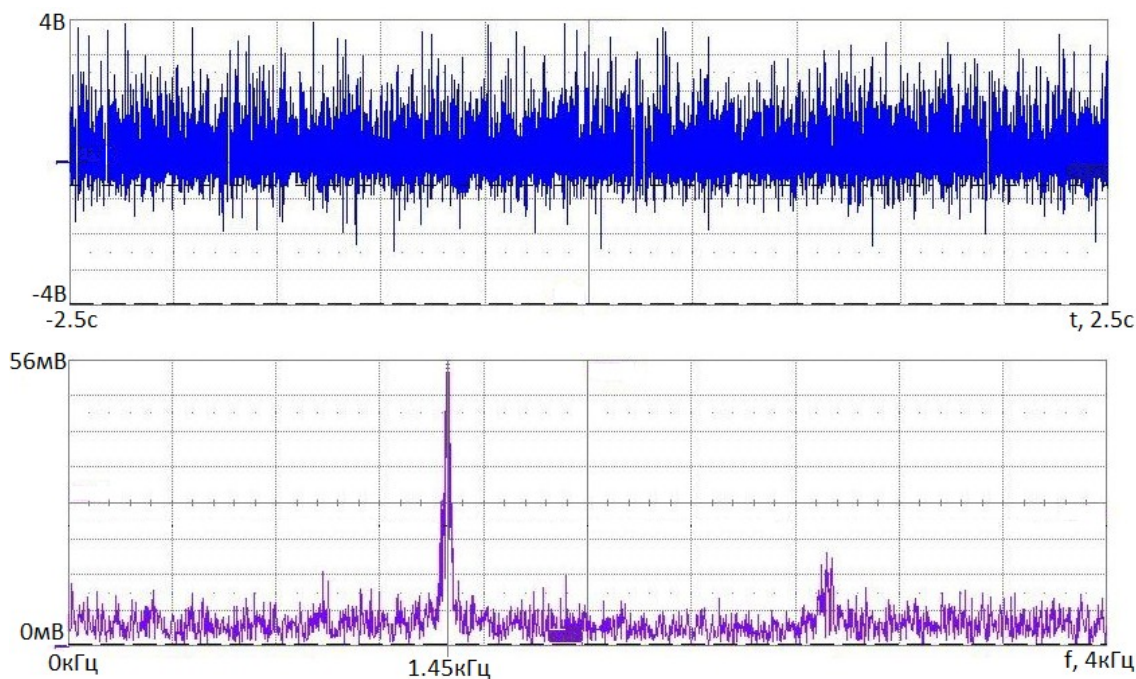


Рис. 2. Зависимость изменений колебания давления во времени (а) и в зависимости от частоты (б) для потока с телом обтекания - цилиндр с насечкой:  $P_{\text{вых}}/P_0=0.43$ ,  $G=215$  л/мин,  $1В=1МПа$ ,  $A_{\text{max}}=0.056МПа$ ,  $A_{\text{ф}}=0,001МПа$ .

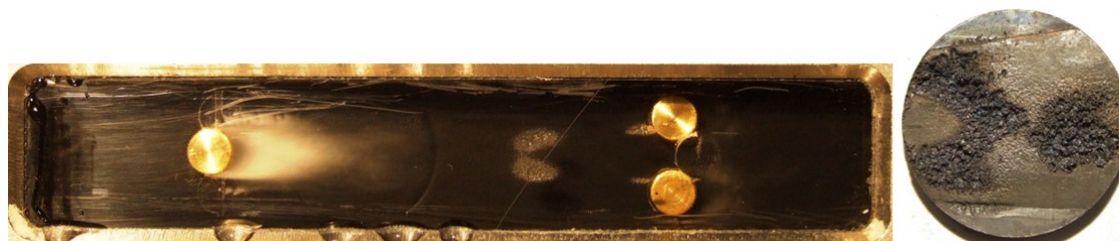


Рис. 3. Фотографии картин течения в канале генератора и следов кавитации на контрольном образце для тела обтекания - цилиндр с насечкой:  $P_{\text{вых}}/P_0=0.374$ ,  $G=220$  л/мин.

Видно, что при данных теплофизических параметрах течения жидкости за первым рядом тел обтекания образуется протяженная область кавитации. При этом расположение следов уноса и мест схлопывания газовых пузырьков кавитационной пелены, определяемых по резкому снижению ее свечения, согласуются между собой.

В натуральных условиях приготовлена водотопливная эмульсия на основе сырой нефти Удмуртских месторождений и мазута М-100. Фото установки для обработки сырой нефти [6] приведено на рис. 4, а структура исходной сырой нефти и водонефтяной эмульсии на рис. 5.



Рис.4. Общий вид устройства приготовления водонефтяной эмульсии для сжигания в топке котла

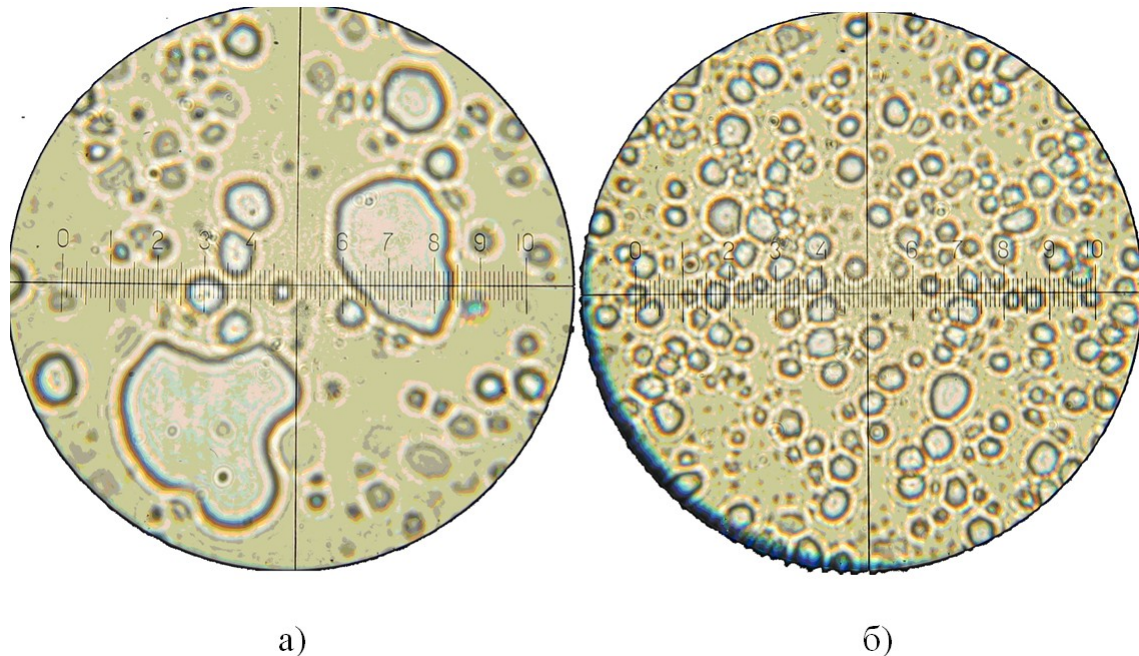


Рис. 5. Структура локального энергетического сырья (сырой нефти): а) – исходный; б) – приготовленный к сжиганию в виде водотопливной эмульсии.

В таблице 1 приведены данные измерений и результаты количественного химического анализа проб нефти и мазута. Номерам проб соответствуют следующие топлива:

Проба 1 – исходный мазут

Проба 2 – исходный мазут + кавитационная обработка

Проба 3 – исходный мазут +7% воды + кавитационная обработка

Проба 4 – исходный мазут +10% воды + кавитационная обработка

Проба 5 – исходная нефть

Проба 6 – исходная нефть + кавитационная обработка.

Проведены промышленные испытания технологии подготовки к сжиганию и сжигания водонефтяной эмульсии в паровом котле ДКВР-10/12, как в исход-

ном состоянии, так и в подготовленном к сжиганию виде водотопливной эмульсии (рис.5). Натурные опыты показали, что исходную нефть нельзя сжигать в топке котла. Горение топлива происходит с поверхности крупных частиц, которые полностью не сгорают, в результате чего они набрасываются на экранные трубы, падают на под топку. Происходят недопустимые химический и механический недожог топлива, образование сажи, загрязнение теплообменных поверхностей, отложения по тракту (от форсунок до дымовой трубы включительно), снижение КПД котла, взрывоопасные условия. Все это исключает использование сырой нефти, которая в ряде случаев весьма экономична как местное энергетическое сырье для локального использования в котельных.

Таблица 1. Результаты химического анализа проб топлив.

Наименование определяемого компонента	Концентрация компонента						Метод измерения, ГОСТ
	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4	Проба 5	Проба 6	
Массовая доля воды, $W_p$ , %	10,2	9,5	16,4	18,0	0,9	0,5	2477-65
Массовая доля серы, $S_p$ , %	2,14	2,26	2,11	2,09	1,2	1,14	3877-88
Низшая теплота сгорания, $Q_{н}^p$ , ккал/кг	8497	8590	8098	7727	9679	9686	21261-91
Низшая теплота сгорания в пересчете на сухое вещество, $Q_{н}^c$ , ккал/кг	9530	9551	9798	9554	-	-	
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,982	0,985	0,979	0,980	0,913	0,912	3900-85

Разработанная нами технология приготовления водонефтяной эмульсии к сжиганию [2,3,6] позволила в промышленных условиях эксплуатации оборудования достигнуть отличных результатов. Ее применение позволило обеспечить экономичное сжигание (практиче-

ски без химического и механического недожога) топлива, сохранить эффективную работу парового котла, исключить набросы факела горящего топлива на поверхность нагрева и практически приблизиться к условиям сжигания природного газа (рис.6).



Рис. 6. Общий вид факельного сжигания нефти в топке котла ДКВР-10/12: а) горящий факел сырой нефти (вид через смотровой люк в топке котла) – исходный вариант; б) горящий факел той же самой нефти, но подготовленной к сжиганию в виде водотопливной эмульсии.

Как следует из результатов, приведенных в таблице 1, основные показатели углеводородных топлив и водотопливных эмульсий близки друг к другу. Основная проблема в их использовании состоит в обеспечении экономичного и надежного процесса сжигания.

Как видно на рис. 5,6 сжигание сырой нефти в паровом котле ДКВР-10/12 существенно зависит от ее подготовки к сжиганию. Приготовление водонефтяной эмульсии по предложенной технологии позволяет использовать ее в котельной установке ДКВР-10/12 с сохранением высокой технико-экономической эффективности, надежности и безопасной эксплуатации оборудования, что показывает перспективность предложенной технологии приготовления жидкого горячего топлива на основе нефти для сжигания в котельных установках.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Сжигание сырой нефти недопустимо в топках паровых котлов без их специальной модернизации, так как при этом не обеспечивается полное сгорание топлива, происходит загрязнение теплообменных поверхностей топочно-горелочных устройств и возникают пожаро- и

взрывоопасные отложения продуктов неполного сгорания топлива, повышенная токсичность дымовых газов.

2. При подготовке сырой нефти к сжиганию в виде водотопливной эмульсии достигается полное выгорание топлива (практически с нулевым химическим и механическим недожогом топлива), что исключает накопление по топливному тракту в котле несгоревшего топлива и спонтанного его возгорания, приводящего к аварийным ситуациям. При этом не требуется модернизация топочно-горелочных устройств котла.

3. Использование сырой нефти в качестве энергетического топлива (в виде водотопливной эмульсии) на локальном уровне существенно снижает транспортные расходы, капитальные и эксплуатационные затраты на реализацию технологического процесса сжигания топлива. Также снижает вредное воздействие на природные экосистемы, обеспечивает высокую надежность работы энергетического оборудования, что в итоге приводит к высоким технико-экономическим и экологическим показателям выработки тепло- и электроэнергии.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. **Б.П. Туманян.** Научные и прикладные аспекты теории нефтяных дисперсных систем. М., Изд-во «Техника», 2000, 336 с.
2. **В.И. Кормилицын.** Экологические аспекты сжигания топлива. // М.: Издательство МЭИ, 1998. – 336 с.
3. **Р.Ф. Ганиев, В.И. Кормилицын, Л.Е. Украинский.** Волновая технология приготовления альтернативных видов топлив и эффективность их сжигания. – М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008, 116 с.
4. **Р.Ф. Ганиев, Л.Е. Украинский.** Нелинейная волновая механика и технология. – М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008, 703 с.
5. **В.В. Рождественский.** Кавитация. Л., Изд-во «Судостроение», 1977, 247 с.
6. **В.И. Кормилицын, Д.Н. Астахов.** Патент 2282492. Способ обработки материалов и устройство его осуществления. Опубликовано 21.08.2003.
7. **М.А. Промтов.** Кавитационная технология улучшения качества углеводородных топлив. Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2008, № 2, с. 6-8.
8. **В.И. Кормилицын, М.Г. Лысков.** Огневое обезвреживание сбросных вод и энергетическая утилизация содержащихся в них нефтепродуктов и других органических веществ // Вестник МЭИ. 1995, №3, с. 47-49.
9. **О.В. Шмырков, Н.Б. Юшков.** Кормилицын В.И. Исследование характеристик плоского волнового генератора проточного типа с различными телами обтекания // М.: Инженерный журнал. Справочник. №2, 2013, с. 12-19
10. **П. Чжен.** Отрывные течения. Том второй. – М.: Издательство «Мир», 1973 – 280 с.