

2000-169

**МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ**

**Д 02.99.90**

На правах рукописи

УДК 577.472:662.765

**Иманакунов Саламат Бейшеневич**

**ВЛИЯНИЕ ВОДЫ В ТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ НА ПРОЦЕССЫ  
ОБРАЗОВАНИЯ И УМЕНЬШЕНИЯ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ  
КОМПОНЕНТОВ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ**

Специальность: 02.00.01 – Неорганическая химия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Бишкек - 2000

Работа выполнена в лаборатории химии и технологии промышленной экологии Института химии и химической технологии Национальной Академии Наук Кыргызской Республики.

**Научный руководитель:** доктор технических наук,  
профессор Маймекев З.К.

**Официальные оппоненты:** Заслуженный деятель науки Кыргызской Республики, чл.-корр. НАН КР,  
д.х.н., профессор  
Усубакунов М.У.  
к.т.н., доцент  
Родина Е.М.

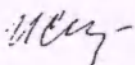
**Ведущая организация:** Институт химических наук  
им. А.Б. Бектурова,  
МН-ВО АН Республики Казахстан,  
г. Алматы

Защита состоится "17" ноября 2000 года в 10<sup>30</sup> часов на заседании Межведомственного Диссертационного Совета Д.02.99.90 при Институте химии и химической технологии НАН Кыргызской Республики по адресу: 720071, г.Бишкек, Чуйский проспект, 267.

С диссертацией можно ознакомиться в центральной научной библиотеке НАН Кыргызской Республики (г.Бишкек, Чуйский проспект, 265-а).

Автореферат разослан "14" ноября 2000 года.

Ученый секретарь Межведомственного  
Диссертационного Совета  
кандидат химических наук

 Стрельцова И.Ф.

2

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Изучение взаимодействия объектов топливно-энергетического комплекса с окружающей средой является актуальной задачей. С одной стороны важно бесперебойное эффективное обеспечение топливом основных отраслей промышленности, с другой, топливно-энергетический комплекс оказывает наиболее негативное техногенное воздействие на внешнюю среду. Процессы переработки и сжигания органических топлив в основном ответственны за значительную часть антропогенных газовых выбросов, в том числе оксидов азота в атмосферу.

В реальных условиях для снижения оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) в газовой фазе используют: рециркулирование дымовых газов; двух- трехступенчатое сжигание топлива; специальные горелки с пониженным выходом  $\text{NO}_x$ ; углеводородов в качестве восстановителей в топочном пространстве; топлива (ж) с малым избытком воздуха; снижение температуры дутьевого воздуха и впрыск воды или пара в топку. Анализ эффективности перечисленных приемов показывает, что существенное снижение  $\text{NO}_x$  может быть достигнуто только с применением одновременно нескольких методов, организация которых представляет практические трудности при эксплуатации котельно-печной техники. Указанные методы снижения оксидов азота в процессах горения топлива фактически не влияют на концентрации других токсичных веществ в дымовых газах, а в ряде случаев могут вызвать даже их увеличение.

Одновременное уменьшение выбросов в атмосферу оксидов азота, серы, углерода, сажи, бенз(а)пирена, углеводородов нефти и предотвращение попадания в водоемы отработанных сточных вод возможно при сжигании топлива в виде водотопливных эмульсий.

В связи с этим в данной работе рассмотрено влияние воды в топливной эмульсии на процессы образования и уменьшения азотсодержащих компонентов газовой фазы. Исследования выполнялись по Региональной программе фундаментальных исследований НАН Кыргызской Республики "Комплексные исследования природных, природно-техногенных катастроф и современных экологических процессов в горных районах" (раздел 7.8. "Оптимизация процесса сжигания жидкого топлива в котлоагрегатах с целью уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу") на 1991 – 1995 гг (№ гос. регистрации 01910010296) и в соответствии с планами НИР Института химии и химической технологии НАН Кыргызской Республики "Разработка физико-химических основ использования газо-жидкостных потоков при оптимизации процессов сжигания топлива и рекарбонизации водно-солевых систем" на 1996 – 2000 гг (№ гос. регистрации 0000908).

**Целью работы** являются изучение влияния воды в топливной эмульсии на процессы образования и уменьшения азотсодержащих компонентов газовой фазы и практическая реализация результатов теоретических и экспериментальных исследований в системах приготовления и сжигания водотопливных эмульсий в котлоагрегатах типа Е-1/9-М и ДКВР-4/13.

3

**Научная новизна.** Методом физико-химического моделирования изучена система топливо (ж) – вода – воздух<sup>1</sup> при различных количествах воды, окислителя, значениях температуры; определены составы и концентрации отдельных азотсодержащих компонентов газовой фазы и предложены эмпирические расчетные формулы. Установлено, что концентрация NO<sub>x</sub> (NO и NO<sub>2</sub>) в газовой фазе снижается в основном за счет образования активных частиц и радикалов типа NH, NH<sub>3</sub>, HNO, HNO<sub>2</sub>, NaNO<sub>2</sub> и частичного восстановления NO<sub>2</sub> до N<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O в присутствии NH<sub>3</sub>, а также незначительного понижения температуры горения топлива, которая восполняется интенсификацией процесса сжигания эмульгированных капель воды в топливе и уменьшением избытка окислителя в топке.

Разработана конструкция роторно-пульсационного аппарата, исключая обратное перемешивание жидкости в рабочей зоне, и тем самым обеспечивающая надежную и эффективную работу в процессе приготовления высокодисперсной водотопливной эмульсии (предпатент КР - №146. – заявка на изобретение №960352.1 от 26.03.1996 г).

**Практическое значение и реализация результатов работы.** Системы приготовления водотопливных эмульсий и их принципиальные технологические схемы приняты в промышленности и внедрены в котельных установках ПО "Бишкекбиофарм" (г.Бишкек) и АО "Ак-Суу-Сут" (г.Беловодск). Использование технологии приготовления высокодисперсных водотопливных эмульсий в котлоагрегатах типа Е-1/9-М и ДКВР-4/13 позволило уменьшить газовые выбросы в атмосферу, утилизировать сточные воды и сэкономить топливо. Общий эколого-экономический эффект от внедрения составляет 193690,27 сомов в год.

**Апробация работы.** Основные результаты исследования, изложенные в диссертационной работе, докладывались на региональной научно-технической конференции "Пути повышения эффективности использования отходов промышленности" (Ош, 1993 г.), научной конференции "Наука и технология-93" (Шымкент, 1993 г.), республиканской научно-технической конференции "Проблемы разработки химической технологии импортзамещенной продукции в Узбекистане" (Ташкент, 1995 г.), научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава КГНУ (Бишкек, 1996 г.), I конференции "Перспективы направления развития экологических исследований в Кыргызской Республике" (Бишкек, 1996 г.), республиканском конкурсе за лучшие результаты в области изобретательской деятельности (диплом III степени Кыргызпатент, Бишкек, 1998 г.), между-народной конференции "Изучение гор и жизнь в горах" (Бишкек, 2000 г.).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликованы 15 научных работ, в том числе 7 статей, 1 предпатент и 7 тезисов докладов.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 3 глав и выводов, библиография содержит 109 наименований. Работа изложена на 157

<sup>1</sup> В качестве топлива (ж) – рассматривается топочный мазут (М40 и М100).

страницах машинописного текста, включает 19 таблиц и 28 рисунков. Приложение содержит материалы предпатента и акты внедрений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### I. Влияние воды в топливной эмульсии на процессы образования и уменьшения азотсодержащих компонентов газовой фазы.

Влияние воды в процессе сжигания водотопливных эмульсий и в последующем образовании и уменьшении содержания компонентов газовой фазы обусловлено в основном при наличии пара по схеме: водотопливная эмульсия (ВТЭ) → бурное кипение → микровзрывы → мелкие капли → парообразование → горение смеси в среде окислителя.

Данная схема включает ряд сложных физико-химических взаимодействий, характеризующих процессы, протекающие в системе топливо – вода – воздух. Равновесие в указанной системе не может быть определено только температурой и концентрацией газо-жидкостных потоков, так как возможно бесчисленное количество комбинаций значений парциального давления компонентов, в частности оксидов азота (P<sub>NO2</sub> и P<sub>NO</sub>), удовлетворяющих уравнениям типа:

$$P_{NO_2} = \left(\frac{P_{NO}}{K_1}\right)^{1/3} + \frac{2}{K_1} \left(\frac{P_{NO}}{K_1}\right)^{2/3} = m^3 \sqrt{P_{NO}} (1 + n^3 \sqrt{P_{NO}})$$

при фиксированных значениях m и n, где:

$$m = \frac{1}{K_1^{1/3}} \quad \text{и} \quad n = \frac{2}{K_1 K_1^{1/3}} = \frac{2m}{K_1} \quad (\text{Рамм В.М., 1966}).$$

Задача становится определенной, если фиксирована одна из двух величин (P<sub>NO2</sub> и P<sub>NO</sub>), характеризующих основной состав газовой фазы. При реальных условиях обычно устанавливается общее содержание оксидов азота (NO<sub>x</sub>) в газовой фазе, но определение концентраций C<sub>NO</sub> и C<sub>NO2</sub> в отдельности при различных параметрах представляет наибольший практический интерес.

С учетом изложенных обстоятельств была изучена система топливо (ж) – вода – воздух с целью выявления влияния воды в топливной эмульсии на процессы образования и уменьшения азотсодержащих компонентов газовой фазы. При этом методическую основу расчетных параметров составили модели, для которых предусматривается возможность образования газообразных, конденсированных веществ, электронейтральных и ионизированных компонентов, чистых фаз и их растворов.

В данном случае считается, что исследуемая система топливо (ж) – вода – воздух является гетерогенной, состоящей из нескольких однородных частей, разделенных видимыми границами. При этом все газообразные индивидуальные вещества входят в состав газовой фазы, а конденсированные образуют как отдельные фазы, так и конденсированные растворы. Причем присутствие газовой фазы считается обязательным, в то время как конденсированные могут отсутствовать. В результате параметры данной

системы определяются путем решения задачи о нахождении экстремума энтропии (Синярев Г.Г., Ватолин Н.А. и др., 1982 г.).

При физико-химическом моделировании системы топливо (ж) – вода – воздух учитывались данные анализов (технические, элементные, химические, физико-химические, дисперсные) мазута, воды, ВТЭ и продуктов их сгорания. В модельных расчетах был принят следующий средний состав газо-жидкостных потоков: вода для получения эмульсии содержала соли (моль/л):  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  –  $1.83\text{E-}3$ ,  $\text{CaSO}_4$  –  $9.3\text{E-}4$  ( $\Sigma\text{Ca}$  –  $2.76\text{E-}3$ ),  $\text{MgSO}_4$  –  $3.0\text{E-}4$ ,  $\text{NaNO}_3$  –  $1.29\text{E-}4$ ,  $\text{NaCl}$  –  $1.0\text{E-}3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  –  $8.0\text{E-}3$  ( $\Sigma\text{Na}$  –  $2.73\text{E-}3$ ), что соответствует ее общей жесткости 6,12 мг-экв/л; элементный состав мазута (%): С – 83,3, Н – 11,2, S – 2,0, N – 0,5. Результаты седиментационного анализа показали, что данная водотопливная эмульсия является полидисперсной системой с размерами частиц от 7,62 до 102,2 мкм.

В результате проведенных исследований определены составы и концентрации (моль/кг) азотсодержащих компонентов газовой фазы, образующихся при сжигании водотопливной эмульсии в пределах температур от 1000 до 1800 °С, избытке окислителя (1,02; 1,05; 1,10; 1,25), концентрации воды в газовой фазе (от 3,22 до 4,45 моль/кг):

- **Содержание воды в водотопливной эмульсии 2%:**  $\text{N}_2(25.5 \pm 25.75)$ ;  $\text{N}(1.89\text{E-}15 \pm 7.21\text{E-}8)$ ;  $\text{NO}(1.62\text{E-}3 \pm 1.3\text{E-}1)$ ;  $\text{NO}_2(2.94\text{E-}6 \pm 1.02\text{E-}5)$ ;  $\text{N}_2\text{O}(1.08\text{E-}7 \pm 1.47\text{E-}5)$ ;  $\text{NH}(1.22\text{E-}15 \pm 1.43\text{E-}8)$ ;  $\text{HNO}(1.30\text{E-}10 \pm 5.0\text{E-}7)$ ;  $\text{HNO}_2(6.62\text{E-}8 \pm 1.05\text{E-}6)$ ;
- **Содержание воды в водотопливной эмульсии 5%:**  $\text{N}_2(25.44 \pm 25.75)$ ;  $\text{N}(1.89\text{E-}15 \pm 7.21\text{E-}8)$ ;  $\text{NO}(1.01\text{E-}3 \pm 1.34\text{E-}1)$ ;  $\text{NO}_2(1.23\text{E-}6 \pm 1.01\text{E-}5)$ ;  $\text{N}_2\text{O}(6.96\text{E-}8 \pm 1.03\text{E-}6)$ ;  $\text{NH}(6.55\text{E-}16 \pm 1.46\text{E-}8)$ ;  $\text{HNO}(1.61\text{E-}10 \pm 1.41\text{E-}7)$ ;  $\text{HNO}_2(3.52\text{E-}8 \pm 1.07\text{E-}6)$ ;  $\text{HNO}_3(1.07\text{E-}10 \pm 4.62\text{E-}7)$ ;  $\text{NH}_3(2.35\text{E-}13 \pm 1.52\text{E-}8)$ ;
- **Содержание воды в водотопливной эмульсии 10%:**  $\text{N}_2(25.32 \pm 25.68)$ ;  $\text{N}(1.88\text{E-}15 \pm 7.20\text{E-}8)$ ;  $\text{NO}(7.8\text{E-}3 \pm 1.34\text{E-}1)$ ;  $\text{NO}_2(2.82\text{E-}6 \pm 1.02\text{E-}5)$ ;  $\text{N}_2\text{O}(1.05\text{E-}7 \pm 1.10\text{E-}6)$ ;  $\text{NH}(6.68\text{E-}16 \pm 1.49\text{E-}8)$ ;  $\text{HNO}(1.64\text{E-}10 \pm 1.44\text{E-}7)$ ;  $\text{HNO}_2(6.69\text{E-}8 \pm 1.09\text{E-}6)$ ;  $\text{HNO}_3(1.34\text{E-}10 \pm 1.19\text{E-}7)$ ;  $\text{NH}_3(1.32\text{E-}13 \pm 1.20\text{E-}8)$ .

При оптимальном содержании воды (15%) в водотопливных эмульсиях (табл. 1) построены графические зависимости (рис. 1) при различных значениях температуры, количества окислителя ( $\alpha$  - 1,02; 1,05; 1,10; 1,25) и предложены эмпирические расчетные формулы.

Таблица 1.

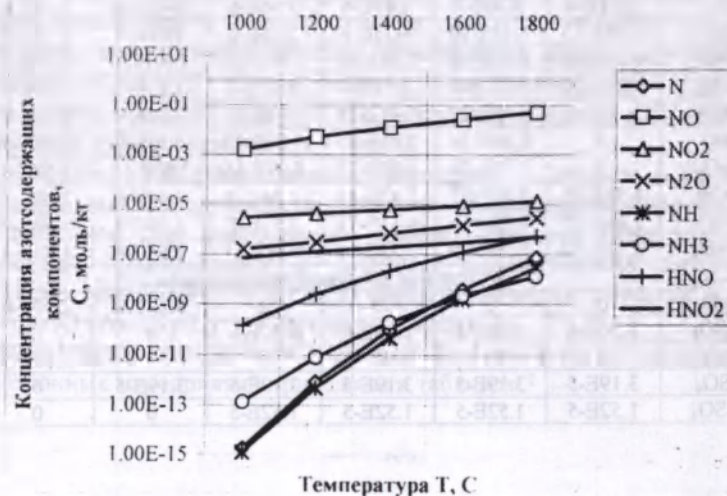
Состав и концентрация азотсодержащих компонентов (моль/кг) газовой фазы, образующихся при сжигании водотопливной эмульсии в зависимости от температуры.

Содержание воды в эмульсии 15%, а в газовой фазе от 3,64 до 4,45 моль/кг

Компонент газовой фазы	Альфа фактор	Температура, С				
		1000	1200	1400	1600	1800
1	2	3	4	5	6	7
N	1.02	1.88E-15	8.67E-13	9.27E-11	3.68E-09	7.20E-08
NO		1.60E-03	5.15E-03	1.25E-02	2.57E-02	5.13E-02
NO2		2.90E-06	4.45E-06	6.16E-06	8.40E-06	1.35E-05
N2O		1.60E-07	3.14E-07	7.23E-07	1.45E-06	2.84E-06
NH		1.29E-15	4.96E-13	4.61E-11	1.61E-09	2.68E-08
HNO						

1	2	3	4	5	6	7
NH3		1.37E-13	8.16E-12	1.86E-10	2.10E-09	1.26E-08
HNO		1.38E-10	2.41E-09	2.14E-08	1.22E-07	5.27E-07
HNO2		6.93E-08	1.25E-07	1.97E-07	2.95E-07	4.84E-07
N	1.05	1.88E-15	8.68E-13	9.29E-11	3.68E-09	7.20E-08
NO		2.40E-03	7.74E-03	1.88E-02	3.77E-02	6.87E-02
NO2		6.51E-06	1.00E-05	1.39E-05	1.81E-05	2.42E-05
N2O		1.59E-07	4.72E-07	1.09E-06	2.12E-06	3.81E-06
NH		1.04E-15	4.00E-13	3.71E-11	1.31E-09	2.28E-08
HNO		1.66E-10	2.91E-09	2.59E-08	1.46E-07	6.03E-07
HNO2		1.26E-07	2.27E-07	3.58E-07	5.18E-07	7.41E-07
N	1.1	1.89E-15	8.69E-13	9.30E-11	3.69E-09	7.21E-08
NO		3.28E-03	1.06E-02	2.57E-02	5.15E-02	9.10E-02
NO2		1.21E-05	1.88E-05	2.61E-05	3.36E-05	4.24E-05
N2O		2.18E-07	6.47E-07	1.49E-06	2.90E-06	5.05E-06
NH		8.75E-16	3.35E-13	3.11E-11	1.10E-09	1.94E-08
HNO		1.91E-10	3.34E-09	2.97E-08	1.67E-07	6.79E-07
HNO2		1.96E-07	3.55E-07	5.61E-07	8.07E-07	1.10E-06
N	1.25	1.90E-15	8.73E-13	9.34E-11	3.70E-09	7.23E-08
NO		4.87E-03	1.57E-02	3.82E-02	7.64E-02	1.34E-01
NO2		2.65E-05	4.11E-05	5.72E-05	7.40E-05	9.10E-05
N2O		3.24E-07	9.63E-07	2.23E-06	4.33E-06	7.45E-06
NH		6.82E-16	2.61E-13	2.42E-11	8.56E-10	1.52E-08
HNO		2.19E-10	3.84E-09	3.42E-08	1.92E-07	7.76E-07
HNO2		3.33E-07	6.02E-07	9.54E-07	1.37E-06	1.85E-06

Рис. 1. Концентрация азотсодержащих компонентов в газовой фазе, при альфа = 1.02



Эмпирические расчетные формулы:

При  $\alpha = 1,02$

$N - y = 2E-104x^{29,72}$ ;  $NO - y = 5E-21x^{5,85}$ ;  $NO_2 - y = 8E-14x^{2,51}$ ;  $N_2O - y = 2E-22x^{4,95}$ ;  $NH - y = E-101x^{28,70}$ ;  $NH_3 - y = 5E-72x^{19,53}$ ;  $HNO - y = 52x^{14,01}$ ;  $HNO_2 - y = E-17x^{3,23}$ .

где,  $y$  – концентрация газовой фазы, моль/кг;  $x$  – температура, °C.

При  $\alpha = 1,05$

$N - y = 2E-104x^{29,72}$ ;  $NO - y = 2E-20x^{5,69}$ ;  $NO_2 - y = 8E-14x^{2,51}$ ;  $N_2O - y = 2E-22x^{4,95}$ ;  $NH - y = 7E-102x^{28,78}$ ;  $HNO - y = 3E-52x^{13,94}$ ;  $HNO_2 - y = E-16x^{2,99}$ .

При  $\alpha = 1,10$

$N - y = 2E-104x^{29,71}$ ;  $NO - y = 4E-20x^{5,65}$ ;  $NO_2 - y = 5E-12x^{2,12}$ ;  $N_2O - y = 2E-23x^{5,34}$ ;  $NH - y = 5E-102x^{28,79}$ ;  $HNO - y = 4E-52x^{13,91}$ ;  $HNO_2 - y = 3E-16x^{2,93}$ .

При  $\alpha = 1, \frac{1}{2}$

$N - y = 2E-104x^{29,71}$ ;  $NO - y = 4E-20x^{5,65}$ ;  $NO_2 - y = E-11x^{2,10}$ ;  $N_2O - y = 3E-23x^{5,34}$ ;  $NH - y = 4E-102x^{28,80}$ ;  $HNO - y = 5E-52x^{13,91}$ ;  $HNO_2 - y = 6E-16x^{2,92}$ .

В таблице 2 приведены составы и концентрации компонентов газовой и конденсированных фаз, образующихся при сжигании водотопливной эмульсии с содержанием солей в воде (моль/л):  $\Sigma Ca - 2,76E-3$ ,  $\Sigma Mg - 3E-4$ ,  $\Sigma Na - 2,73E-3$ .

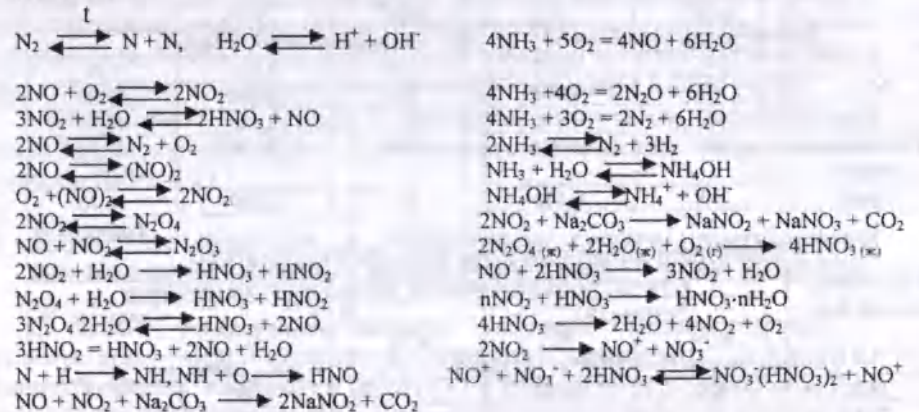
Таблица 2

Состав и концентрация (моль/кг) компонентов газовой и конденсированных фаз, образующихся при сжигании водотопливных эмульсий.

$\alpha = 1,05$ ,  $C_{H_2O}^g = 15\%$  ( $C_{H_2O}$  в газовой фазе от 4,18 до 4,22 моль/кг)

Компонент фазы	Температура, °C						
	200	400	600	800	1000	1200	1400
1	2	3	4	5	6	7	8
Газовая фаза							
N <sub>2</sub>	25.38	25.38	25.38	25.38	25.38	25.38	25.38
NO	1.06E-9	1.06E-6	4.52E-5	4.79E-4	2.4E-3	7.72E-3	1.87E-2
NO <sub>2</sub>	3.01E-8	3.70E-7	1.48E-6	3.56E-6	6.42E-6	9.98E-6	1.88E-5
N <sub>2</sub> O	3.18E-13	1.48E-10	4.28E-9	3.63E-8	1.59E-7	4.72E-7	1.09E-6
HNO	6.27E-26	1.22E-18	1.08E-14	3.26E-12	1.64E-10	2.87E-9	2.55E-8
HNO <sub>2</sub>	1.26E-10	3.02 E-9	1.77E-8	5.57E-8	1.23E-7	3.23E-7	3.51E-7
Mg(OH) <sub>2</sub>	0	1.91E-29	7.33E-19	1.33E-11	7.31E-9	3.30E-7	3.29E-6
Na	0	6.34E-34	2.41E-20	1.89E-13	6.56E-9	6.05E-7	2.98E-6
NaO	0	2.73E-33	1.03E-22	8.07E-16	2.80E-11	2.58E-9	1.27E-8
NaOH	4.51E-35	3.89E-22	1.42E-14	1.46E-9	2.64E-6	2.85E-5	2.75E-5
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.60E-27	1.25E-16	6.33E-11	1.87E-7	1.39E-5	6.69E-7	1.68E-8
NaNO <sub>2</sub>	6.43E-30	2.33E-20	1.28E-14	9.58E-11	2.85E-8	8.26E-8	2.93E-8
Отдельные конденсированные фазы							
MgO	0	0	0	0	3,29E-6	2,97E-6	0
MgSO <sub>4</sub>	3,30E-6	3,30E-6	3,30E-6	3,30E-6	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	3,10E-5	3,10E-5
CaSO <sub>4</sub>	3,19E-5	3,19E-5	3,19E-5	3,19E-5	3,19E-5	0	0
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,52E-5	1,52E-5	1,52E-5	1,52E-5	0	0	0

Из вышеприведенных данных видно, что наличие воды в топливе (ВТЭ) привело к образованию в газовой фазе активных частиц, в том числе азотсодержащих компонентов на основе протекания следующих химических реакций:



Присутствие в системе активных частиц определяет скорость и полноту протекания процессов горения топлива (ж) и ВТЭ, что в результате обеспечивает радикальное снижение продуктов окисления, в частности NO, и в конечном итоге NO<sub>x</sub> (NO и NO<sub>2</sub>). Данное обстоятельство, во-первых, объясняется тем, что в случае использования водотопливных эмульсий снижается средняя температура горения топлива, а во-вторых, определенное количество азота в газовой фазе связывается в виде: NH, NH<sub>3</sub>, HNO, HNO<sub>2</sub>, NaNO<sub>2</sub> (табл. 1 и 2) за счет присутствия воды и ее солей в водотопливной эмульсии, и возможно частичное восстановление NO<sub>x</sub> до N<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O в присутствии NH<sub>3</sub>. Кроме того, укорачивание факела и сокращение времени пребывания капле мазута в высокотемпературной зоне за счет уменьшения размеров капле резко снижает эмиссию оксидов азота. Здесь следует заметить, что снижение температуры горения топлива из-за обводненности восполняется интенсификацией процесса сжигания эмульгированных капле воды в топливе и уменьшением избытка окислителя в топке.

С целью подтверждения расчетных данных проведены экспериментальные исследования по снижению основных компонентов газовой фазы в приземном слое атмосферного воздуха. При этом была разработана установка для приготовления и сжигания водотопливных эмульсий в котлоагрегатах типа Е-1/9-М (4 шт.) ПО «Бишкекбиофарм», г.Бишкек, и ДКВР-4/13 (3 шт.) АО «Ак-Суу-Сут», г.Беловодск (раздел II).

Концентрации компонентов в газовой фазе до и после осуществления природоохранных мероприятий приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

## Концентрации загрязняющих веществ в газовой фазе

Компоненты газовой фазы	Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу				Снижение, %
	Топливо (ж)		ВТЭ		
	мг/м <sup>3</sup>	т/г	мг/м <sup>3</sup>	т/г	
Котлоагрегаты типа Е-1/9-М (4 шт.) ПО «Бишкекбиофарм», г.Бишкек					
SO <sub>2</sub>	245	3,217	230	3,027	5,91
NO <sub>x</sub>	67	<b>0,883</b>	21	<b>0,284</b>	<b>67,80</b>
CO	72	0,946	37	0,486	48,70
Углеводороды нефти	1025	13,466	328	4,320	67,98
Сажа	43	0,568	14	0,189	66,70

Таблица 4

## Концентрации загрязняющих веществ в газовой фазе

Компоненты газовой фазы	Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу				Снижение, %
	Топливо (ж)		ВТЭ		
	мг/м <sup>3</sup>	т/г	мг/м <sup>3</sup>	т/г	
Котлоагрегаты типа ДКВР-4/13 (3 шт.) АО «Ак-Суу-Сут», г.Беловодск					
SO <sub>2</sub>	330	96,48	315	92,095	4,54
NO <sub>x</sub>	72	<b>21,05</b>	39	<b>11,402</b>	<b>45,83</b>
CO	53	15,495	27	7,894	49,05
Углеводороды нефти	810	936,804	420	122,793	48,14
Сажа	42	12,283	22	6,432	47,63

В таблицах 3 и 4 использованы экспериментальные данные, полученные на основе замеров содержания газовых выбросов (сернистый газ нодометрическим методом, сажа весовым методом, NO<sub>x</sub>, CO, углеводороды нефти линейно-калористическим методом) и учтены предельно-допустимые концентрации вредных веществ, коэффициенты, учитывающие скорость упорядоченного осаждения (F), фоновые концентрации (Ф), средневзвешенная опасная скорость ветра в данной местности (U), сумма максимальных приземных концентраций (доли ПДК), созданных выбросами всех источников, параметры газо-воздушной смеси на выходе и источники выбросов – объем (V), температура (t), количество вредных веществ, фактически выбрасываемых в атмосферу (максимальное (г/т), суммарное (т/г) и время работы котлоагрегатов Е-1/9-М и ДКВР-4/13.

При расчете эколого-экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий учитывали экономию топлива за счет более полного сгорания горючих компонентов (углеводородов нефти) и продуктов его неполного сгорания (сажи, оксида углерода), а также уменьшение расхода тепла на образование эндотермического оксида азота.

Оценка эффективности процесса на основе эксергетического метода анализа, расчеты предельно-допустимых выбросов и ущерб от загрязнения окружающей среды, причиняемых данными промышленными объектами осуществляли согласно программе разработанной нами на языке Turbo Pascal для персональных компьютеров. Блок-схема алгоритма расчета данных на

ЭВМ, значения идентификаторов и основные расчетные уравнения программы приведены в диссертации.

Таким образом, полученные экспериментальные данные по определению компонентов газовой фазы и снижению их содержания, в частности, оксидов азота в топочных газах котельных ПО «Бишкекбиофарм», г.Бишкек, АО «Ак-Суу-Сут», г.Беловодск (табл. 3 и 4) за счет сжигания в топках водотопливных эмульсий подтвердили основные теоретические положения данной работы.

Соответственно, в разделе II приведены технические характеристики систем приготовления и подачи водотопливных эмульсий в котлоагрегатах типа Е-1/9-М и ДКВР-4/13.

## II. Разработка, внедрение и эксплуатация системы приготовления водотопливных эмульсий в котлоагрегатах типа Е-1/9-М и ДКВР-4/13

С целью оптимизации процесса сжигания жидкого топлива в котлоагрегатах типа Е-1/9-М с тяговым устройством Д-3,5 (ПО «Бишкекбиофарм», г.Бишкек) и ДКВР-4/13 с дымососом ДН-12 (АО «Ак-Суу-Сут», г.Беловодск) разработаны и внедрены принципиальные технологические схемы приготовления и подачи водотопливных эмульсий в зону горения (рис. 2 и 3) на основе использования новой конструкции роторно-пульсационного аппарата (рис. 4, предпатент КР - №146.-заявка на изобретение №960352.1 от 26.03.1996 года).

Принципиальная технологическая схема приготовления и подачи водотопливных эмульсий в котлоагрегаты содержит следующие элементы: роторно-пульсационный аппарат (2 шт), датчик для определения влажности топлива и водотопливных эмульсий, задвижки, вентили, обратные клапаны, трубопроводы, бак для воды, электротехническое оборудование и приборы автоматики.

Оборудование установки присоединено к трубопроводам мазутной линии и подключено параллельно действующему оборудованию котельных ПО «Бишкекбиофарм», г.Бишкек, и АО «Ак-Суу-Сут», г.Беловодск.

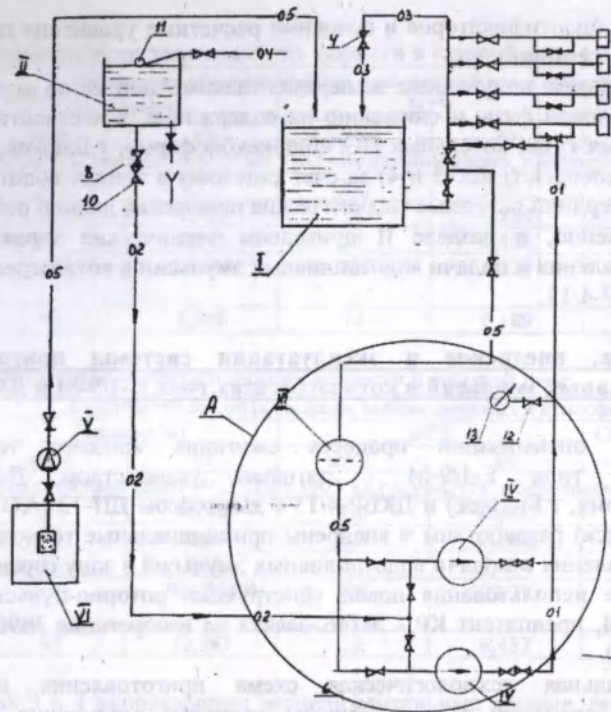


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема по приготовлению и подаче водотопливной эмульсии в котельной ПО «Бишкекбиофарм», г. Бишкек.

I - емкость мазута (1); II - емкость воды (1); III - фильтр (1); IV - роторно-пульсационный аппарат (2); 1-3 - вентили фланцевые (4); 4,5 - вентили фланцевые (2); 6 - вентиль фланцевый  $D_y = 40$  (2); 7 - вентиль фланцевый  $D_y = 32$  (2); 8 - вентиль муфтовый  $D_y = 20$  (5); 9 - клапан обратный  $D_y = 32$  (2); 10 - клапан обратный  $D_y = 20$  (1); 11, 12 - вентили игольчатые (2); 13 - манометр (1); -01- ВМЭ; -02- вода; -03- обратный мазут (ВМЭ); -04- конденсат; -05- мазут.

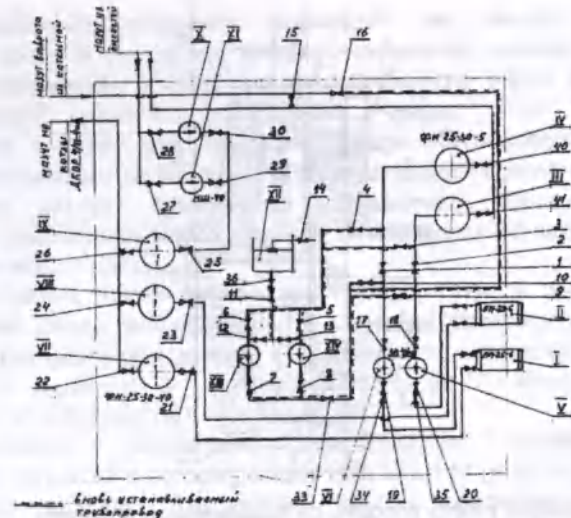


Рис. 3. Принципиальная технологическая схема по приготовлению и подаче водотопливной эмульсии в котельной АО «Ак-Суу-Сут», г. Беловодск.

I, II - подогреватели мазута; III, IV - фильтры грубой очистки; V, VI, X, XI - насосы, VII, VIII, IX - фильтры тонкой очистки; XII - бак для воды; XIII, XIV - роторно-пульсационные аппараты; 1-30 - вентили; 34-36 - обратные клапаны. Технические характеристики установки: электродвигатель, кВт (об/мин) - 4,0 (1500); расход мазута,  $m^3/час$  - 0,1 - 0,15; расход воды,  $m^3/час$  - 0,01 - 0,015; температура воды и ВМЭ,  $^{\circ}C$  - 80 - 85.

На рис. 4 изображен общий вид (продольный разрез) роторно-пульсационного аппарата (РПА), реализующее эмульгирование капель воды в топливе.

Устройство содержит ротор 1, статор 2, колесо 3, корпус аппарата 4, причем ротор 1 и колесо 3 вращаются относительно корпуса аппарата 4 и статора 2. Смесь жидкости (топливо-вода) через входной патрубок 5 поступает на центральную часть ротора 1, и далее за счет центробежной силы проходит между прорезями 6 ротора 1 и статора 2. Изменение взаимоположения выступов 7 и впадин 8 ротора и статора обеспечивает пульсацию среды (изменение амплитуд локальных скоростей и давлений потоков) и обуславливает эмульгирование капель воды в топливе. Образовавшаяся водотопливная эмульсия (ВТЭ) через прорези 6 поступает в камеру 9, а оттуда в нагнетательный патрубок 10 рабочего колеса консольного насоса. Ротор и рабочее колесо скрепляются фиксатором 11, за счет чего между ними обеспечивается плотное соединение 12 по наружному диаметру и предотвращается возврат жидкости в камеру 9.

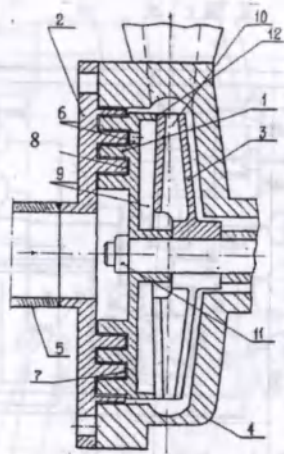


Рис. 4. Продольный разрез роторно-пульсационного аппарата.

Для определения количества воды в топливе разработана конструкция емкостного датчика влажности (рис. 5). Датчик представляет собой конденсатор, состоящий из двух электродов и вмонтированный на фланцевых соединениях трубопроводов мазутонасосной линии. Внутренние поверхности датчика изолированы покрытием на основе водоразрывающих пленкообразователей (электроосаждение). В межэлектродное пространство непрерывно подается диэлектрическая жидкость (мазут). В зависимости от содержания воды в мазуте изменяется диэлектрическая проницаемость водотопливной эмульсии и соответственно изменяется емкость датчика ( $C_x$ ). При этом сигналы подаются на преобразователь напряжения-емкости, который состоит из функционального генератора и измерительного усилителя.

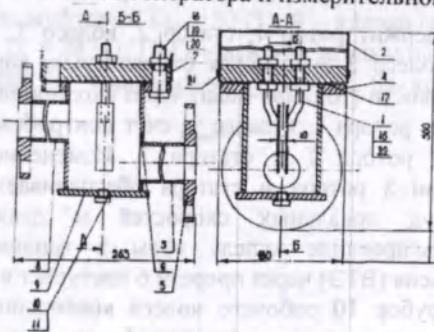


Рис. 5. Сборный вид датчика влажности топлива.

1 – электрод (2); 2 – кожух (1); 3, 8 – патрубок (2); 4, 5 – фланец (3); 6 – корпус (1); 7 – крышка (1); 9 – дно (1); 10, 18 – болт (5); 11-16, 20 – шайба (9); 17 – прокладка (1); 19, 22 – гайка (10); 21 – винт (2).

Функциональный генератор формирует на выходе напряжение треугольной формы. В результате дифференцирования сигнала, прошедшего через датчик, напряжение приобретает трапециевидную форму с амплитудой, пропорциональной емкости измеряющей среды. При подключении преобразователя к входу цифрового вольтметра обеспечивается изменение емкости с погрешностью не более  $\pm 1\%$  и разрешающей способностью 0.1 пф. Для тарировки датчика применяется обезвоженное топливо (мазут) с последующим добавлением воды и снятием функциональной характеристики в виде зависимости  $C_x = f(W_{\text{топлива}})$ .

Таким образом, предложенная конструкция РПА и принципиальные технологические схемы использованы в способах превращения линзового (случайного) распределения воды в топливе в организованную смесь (водотопливную эмульсию) в топливных комплексах ПО «Бишкекбиофарм», г. Бишкек, и АО «Ак-Суу-Сут», г. Беловодск.

Использование технологии приготовления высокодисперсных водотопливных эмульсий в котлоагрегатах типа Е-1/9-М (4 шт) и ДКВР-4/13 (3 шт) позволило получить следующие эколого-экономические эффекты: использование конденсатной или замазученной воды (более 10%) для приготовления высокодисперсных обратных эмульсий (частицы с размером от 7 до 100 мкм); улучшение сжигания топлива без присадок; отсутствие расслоения топлива на дисперсионную среду и дисперсную фазу; стабилизация процесса горения топлива; резкое снижение шума при работе горелок; удаление и предотвращение образования нагара на кипящих и водопропускных трубах котлоагрегатов; снижение потерь от химического недожога топлива; уменьшение выбросов вредных веществ в атмосферу (на 40-70%) и загрязняющих стоки в водоемы (до 15%); экономия топлива при сжигании водотопливной эмульсии (до 4%).

Общий эколого-экономический эффект от внедрения системы приготовления водотопливной эмульсии составляет 193690,27 сомов в год (в ценах 1993-1995 гг).

## ВЫВОДЫ

1. Методом физико-химического моделирования изучена система топливо (ж) – вода – воздух и определены составы и концентрации отдельных азотсодержащих компонентов газовой и конденсированных фаз при различных значениях температуры, количествах воды, окислителя и предложены эмпирические расчетные формулы.
2. При сжигании водотопливных эмульсий показано, что концентрация  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ ) в газовой фазе снижается за счет образования активных радикалов и частиц типа  $\text{NH}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HNO}$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NaNO}_2$  и частичного восстановления  $\text{NO}_x$  до  $\text{N}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в присутствии  $\text{NH}_3$ , а также незначительного понижения температуры горения топлива. Расчетные данные подтверждены экспериментальными результатами, полученными в промышленных условиях.



3. Разработана конструкция роторно-пульсационного аппарата, исключая обратное перемешивание жидкости в процессе приготовления водотопливных эмульсий, а также конструкция емкостного датчика влажности для определения количества воды в топливе.
4. Определена экологическая оценка производственно-хозяйственной деятельности ПО «Бишкекбиофарм», г.Бишкек (1), и АО «Ак-Суу-Сут», г.Беловодск (2), выявлены источники загрязнения окружающей среды и с учетом технических характеристик котлоагрегатов типа Е-1/9-М (1) и ДКВР-4/13 (2) разработаны принципиальные технологические схемы приготовления и подачи водотопливных эмульсий в зону горения.
5. Разработана блок-схема алгоритма расчета на ЭВМ для определения приземной концентрации и величины ущерба, обуславливаемого техногенным воздействием загрязняющих веществ на окружающую среду. Методика расчета использована на стадии эколого-экономической оценки осуществления природоохранных мероприятий.
6. Использование технологии приготовления высокодисперсных водотопливных эмульсий в промышленных котлоагрегатах позволило уменьшить газовые выбросы в атмосферу на 40-70%, утилизировать сточные воды до 15% и сэкономить топливо до 4%. Общий эколого-экономический эффект от внедрения системы приготовления водотопливных эмульсий составляет 193690,27 сом в год.

**Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Кебец А.П., Маймекон З.К., Иманакунов С.Б. Физико-химическое моделирование на ЭВМ процесса горения жидкого топлива и водомазутных эмульсий// Изв. АН РК.- 1992.- №1.- с.29-31.
2. Маймекон З.К., Кебец А.П., Иманакунов С.Б., Алдашева Ч.Б. Использование минеральных добавок в водотопливных эмульсиях с целью уменьшения содержания оксидов серы в дымовых газах.- Мат. региональной научно-технической конф. «Пути повышения эффективности использования отходов промышленности».- Ош, 1993.- с. 77-78.
3. Маймекон З.К., Кебец А.П., Иманакунов С.Б., Шигаляева А.Н., Алдашева Ч.Б. Использование сточных вод мазутных хозяйств для приготовления обратных эмульсий.- там же.- с.67-68.
4. Маймекон З.К., Иманакунов С.Б., Балабеков О.С. Физико-химические основы использования жидкости при оптимизации процесса сжигания топлива.- Мат. научной конф. «Комплексное развитие производительных сил региона».- Шымкент, 1994.- с.191.
5. Маймекон З.К., Иманакунов С.Б., Ларин А.Н., Багимов Н.И., Алдашева Ч.Б., Жолчубекон Б.С. Эмульгирование капель воды в мазуте как основа создания ресурсосберегающей технологии сжигания жидкого топлива.- Мат. респуб. научно-техн. конф. «Проблемы, разработки химической

- технологии импортзамещенной продукции в Узбекистане».-Ташкент, 1995.- с.66.
6. Маймекон З.К., Иманакунов С.Б., Бейшеналиев М.Б. Некоторые особенности исследования влажности в системе-газ-жидкость.- Мат. научно-техн. конф. проф.-препод. состава КГНУ за 1995 г.- Серия «Хим. науки».- Бишкек, 1996.- с.23-24.
  7. Маймекон З.К., Иманакунов С.Б., Ларин А.Н., Багимов Н.И., Толоконникова Л.И., Шигаляева А.Н. – Влияние воды в топливной эмульсии на процессы образования и уменьшения газовых выбросов в атмосферу.- Сб. научных трудов ИХХТ НАН КР.- Бишкек: Илим, 1996.- с.41-43.
  8. Маймекон З.К., Ларин А.Н., Багимов Н.И., Иманакунов С.Б. Роторно-пульсационный аппарат для эмульгирования капель воды в топливе.- Бюллетень изобретений Кыргызпатент, 1997.- №3.- с.49.
  9. Маймекон З.К., Ларин А.Н., Багимов Н.И., Иманакунов С.Б. Роторно-пульсационный аппарат для эмульгирования капель воды в топливе.- Предпатент КР.- №146.- заявка на изобретение №960352.1.- Приоритет изобретения от 26.03.1996.- 4с.
  10. Маймекон З.К., Иманакунов С.Б., Жолчубекон Б.С., Алдашева Ч.Б., Ларин А.Н., Багимов Н.И. Водотопливные эмульсии – эффективная система уменьшения газовых выбросов и подтоварных сточных вод в топливно-энергетических комплексах народного хозяйства.- Мат. I конф. «Перспективы направления развития экологических исследований в КР».- Бишкек, 1996.- с.216.
  11. Иманакунов С.Б., Маймекон З.К. Эксергетический метод термодинамического анализа при оценке эффективности процесса.- Изв. НАН КР.- Бишкек: Илим, 2000.- №1.- с.53-56.
  12. Иманакунов С.Б., Маймекон З.К., Бейшекеева Ж.Ш., Абдывалиев А.А., Самбаева Д.А., Молдошев А.М. Эколого-экономические аспекты анализа техногенных воздействий газовых компонентов на окружающую среду.- Изв. НАН КР.- Бишкек: Илим, 2000.- с.49-51.- №2.-
  13. Иманакунов С.Б., Маймекон З.К., Самбаева Д.А., Кабаев М.О., Ларин А.Н. Оптимизация процесса сжигания жидкого топлива в котлоагрегатах типа ДЕ-25-14ГМ и ПТВМ-30М с целью уменьшения затрат топлива и загрязнения окружающей среды.- Изв. НАН КР.- Бишкек: Илим, 2000.- №2.- с.85-87.
  14. Маймекон З.К., Иманакунов С.Б. Использование водотопливных эмульсий в котельных установках с целью уменьшения газовых выбросов в атмосферу.- Сб. научных докладов международной конференции «Изучение гор и жизнь в горах»- Бишкек, 2000.- с.224-230.
  15. Иманакунов С.Б., Маймекон З.К. Влияние воды в топливной эмульсии на процессы образования и уменьшения азотсодержащих компонентов газовой фазы.- там же.- с.231-238.

## АННОТАЦИЯ (ANNOTATION)

Отун – суу эмульсиясындагы суунун азот кычкыл газдарына болгон таасири

Диссертациялык иште отун(с) – суу – аба системасы суунун, кычкылтектин, температуранын ар кыл олчомундо изилденип азот кычкыл газдарынын, конденсирленген заттардын составы жана олчому аныкталды. Суу – мазут эмульсиясын жагууда азоттун кычкыл газдары, негизинен  $\text{NH}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HNO}$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NaNO}_2$  тибиндеги болжолдордун пайда болуп, аларга азоттун сарпталышынын эсебинен, ошондой эле  $\text{NO}_x$  аммиактын таасири менен сейрек калыптанып,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  айлануусу жана отундун кыйык температурасынын бир аз томондошунун негизинде орун алары белгиленди.

Суу – мазут эмульсиясын алуунун технологиясы Е-1/9-М, ДКВР-4/13 тибиндеги онор жай мештеринде колдонулуп, түтүндөгү ыплас газдардын азайышына, кир суулардын кайра иштетилишине жана суюк отундун уюмдүү пайдаланышына шарт түздү.

Влияние воды в топливной эмульсии на процессы образования и уменьшения азотсодержащих компонентов газовой фазы

В диссертационной работе изучена система топливо (ж) – вода – воздух при различных количествах воды, окислителя, значениях температуры и определены составы и концентрации азотсодержащих компонентов газовой и конденсированных фаз. Установлено, что при сжигании водомазутных эмульсий содержание  $\text{NO}_x$  в газовой фазе снижается за счет образования активных радикалов и частиц типа  $\text{NH}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HNO}$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NaNO}_2$  и частичного восстановления  $\text{NO}_x$  до  $\text{N}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в присутствии  $\text{NH}_3$  а также незначительного понижения температуры горения топлива.

Использование технологии приготовления водомазутных эмульсий в промышленных котлоагрегатах типа Е-1/9-М и ДКВР-4/13 позволило уменьшить газовые выбросы в атмосферу, утилизировать сточные воды и экономить топливо.

Influence of the water present in fuel emulsion to the process of formation and decrease of nitrogen-containing components of the gaseous phase.

Fuel (liquid)-water-air system was studied in dissertation job at different quantity of the water, oxidant, and temperature values and specified compositions and concentrations were determined of nitrogen-containing components in the gaseous and condensed phases. It was found that on combustion of water-mazut emulsion the content of  $\text{NO}_x$  in air phase decreases due to formation of active radicals and compounds such as:  $\text{NH}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HNO}$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NaNO}_2$ , and partial reduce of  $\text{NO}_x$  to  $\text{N}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$  at the presence of  $\text{NH}_3$ , and also due to small decrease of fuel combustion temperature.

The use of the technology for preparation of water-mazut emulsion in industrial boiler units of type: Е-1/9-М and ДКВР-4/В permits to decrease gaseous outburst to the atmosphere, to utilize waste water and to save fuel.