

«ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ ПОДТВЕРЖДАЮ»

Начальник службы экономической безопасности

ОАО «Владморрыбпорт»

Мартиросян Х.А.

2018 г.

м.п.



КРАТКИЙ ОТЧЕТ О СОВМЕСТНО ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТАХ

**Производственные испытания паровых котлов
котельной ООО «ПортЭнерго» (ОАО «Владморрыбпорт»)
после технического перевооружения системы топливоподготовки
с применением инновационного комплекса оборудования
на базе Мобильной установки приготовления топливных смесей**

МУПТС-10/Э

Участники:

Разработчик – ООО «НПО «Кавитационные системы», г. Москва

Рабочий персонал паровой котельной – ОАО «Владморрыбпорт»

Независимый научно-технический эксперт – ООО НВП «Энерго-Прогресс» ДВ

1. ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

В соответствии с программой, разработанной совместно с ООО НВП «Энерго-Прогресс» ДВ ООО «НПО «Кавитационные системы» на паровой котельной ОАО «Владивостокский морской рыбный порт» были выполнены следующие работы:

- монтаж инновационного комплекса оборудования на базе Мобильной установки приготовления топливных смесей МУПТС-10 на территории мазутно-насосной станции котельной ОАО «Владморрыбпорт»;
- разработка нормативной документации и оформление разрешения ГОСТЕХНАДЗОРА РФ по Приморскому краю на опытную эксплуатацию установленного комплекса оборудования на основе Заключения экспертизы промышленной безопасности № 163/04-17 на техническое перевооружение опасного производственного объекта «Котельная, рег. № А74-01762-0001, III класс опасности.
- проведение производственных испытаний по сравнительному сжиганию топочного мазута ГОСТ 10585-99 и опытных образцов Гомогенизированных мазутно-топливных смесей, приготовленных с помощью инновационного производственного комплекса МУПТС-10 с привлечением независимого научно-технического эксперта.

1.1 Краткая характеристика объекта испытаний

Мобильная установка приготовления топливных смесей (МУПТС-10), в составе:

- ✓ Комплекс инновационного оборудования на базе 20-футового контейнера – 1 шт.
- ✓ Емкость дозируемого компонента ($V = 7,0 \text{ м}^3$) – 1 шт.
- ✓ Рабочие емкости исходного и конечного продукта переработки ($V = 25 \text{ м}^3$) – 2 шт.
- ✓ Схема обвязки с комплектом трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры.

Привязка комплекса оборудования к системе подачи топлива выполнена на условиях автономности и сохранения существующего производственного цикла котельной.

Принципиальная схема подключения МУПТС-10/Э к теплоисточнику, прилагается.

Технология относится к области безреагентной переработки тяжелых углеводородов на основе применения эффектов управляемой импульсной гидродинамической акустической кавитации и ультразвука с целью улучшения исходных качественных характеристик продуктов переработки и приготовления на их основе гомогенизированных топливных смесей, пригодных к использованию в качестве альтернативного котельного топлива.

Перечень углеводородов и других жидких сред, пригодных к применению:

- Нефть сырая любого качества и сорта;
- Мазут (ГОСТ 10585-99), включая самые тяжелые сорта V ÷ VII категории;
- Нефтешлам резервуарный с содержанием мехпримесей до 5 %;
- Обводненные жировые отходы производства рыбной муки;
- Обводненные жировые отходы производства рафинированного масла - СОАПСТОК;
- Обводненные замазученные отходы котельного производства.

В качестве основного компонента при приготовлении гомогенизированных топливных смесей, может использоваться мазут всех типов по ГОСТ 10585-99, включая печное топливо и другие виды тяжелых углеводородов, производимые по ТУ с содержанием серы до 5 %.

1.2 Технические характеристики Мобильной установки приготовления топливных смесей (МУПТС-10/Э)

№ п/п	Наименование	Характеристики
1	Режим работы	непрерывный
2	Обрабатываемая среда	Мазут, техническая вода, жидкие отходы продуктов отстоя нефтепродуктов, жировые рыбопереработки, отходы производства рафинированного растительного масла.
3	Производительность, м ³ /час	10,0 ÷ 13,0 тн/час
4	Рабочее давление, МПа	Не > 1,2 МПа
5	Установленная электрическая мощность (в базовом варианте без автономного парогенератора)	48 кВт
6	Ориентировочное фактическое энергопотребление с учетом частотного управления агрегатами	Не > 70 % от установленной мощности
7	Объем дозирования при приготовлении ГМТС на однократном проходе	Не > 20 %
8	Межремонтный ресурс базового устройства: Аппарат гидродинамический акустический, часы	5000 ÷ 7000
9	Межремонтный ресурс вспомогательных агрегатов	Определяется техническими паспортами изготовителей
10	Вариант исполнения – мобильное на базе 20-ти футового контейнера	
12	Габаритные размеры, мм. Длина Ширина Высота	6000 2300 2400
13	Масса, кг	8500

1.3 Типы паровых котлов, используемых при испытаниях

- Daelim Boiler DLZ-600 – жаротрубный;

Основные технические характеристики

Наименование параметров		Характеристики
Паропроизводительность, т/ч		6,0
Давление пара на выходе из котла, кгс/см ²		До 10
Температура насыщенного пара, °С		183
Температура питательной воды, °С		≥ 70
Теплопроизводительность, Гкал/ч		3,6
Температура уходящих газов, °С		≤ 320
Расчетный КПД, %		90
Диапазон изменения производительности котла, %		100÷40
Топливо	Тип горелки	Ротационная модель RBS-2,5
	Мазут, дизель, л/ч	463,5
	Температура мазута, °С	≥ 90

- ДЕ 25-14 МЦ – водотрубный с циклонным воздухоохладжающим предтопком

Основные технические характеристики

Наименование параметров		Характеристики
Паропроизводительность, т/ч		25,0
Давление пара на выходе из котла МПа (кгс/см ²)		До 1,4 (14)
Температура насыщенного пара, °С		194
Температура питательной воды, °С		100
Теплопроизводительность, Гкал/ч		13,5
Температура уходящих газов, °С		150 ÷ 170
Расчетный КПД, %		91
Диапазон изменения производительности котла, %		40÷100
Топливо	Тип горелки	Циклонный воздухоохладжающий
	Мазут	1762,0
	Температура мазута, °С	≥ 100

1.4 Цели и задачи испытаний:

- Отработка технологии приготовления различных образцов гомогенизированных мазутно-топливных смесей (ГМТС), пригодных к промышленному применению в качестве альтернативного котельного топлива с оформлением технических условий и регистрацией в Государственном реестре РФ;
- Определение оптимальных пропорций Гомогенизированных мазутно-топливных смесей на условиях обеспечения максимального экономического эффекта при дальнейшем их использовании в качестве альтернативного котельного топлива.
- Определение технико-экономических показателей котлоагрегатов методом обратного и прямого баланса при сравнительном сжигании стандартного топочного мазута М-100 (ГОСТ 10585-99) и образцов Гомогенизированных мазутно-топливных смесей (ГМТС) с разработкой рекомендаций по применению МУПТС-10 в системе топливоподготовки мазутной котельной;
- Определение экологического эффекта по снижению вредных выбросов в атмосферу в виде суммарных оксидов азота (NO_x) и оксидов серы (SO_2) при сравнительном сжигании Гомогенизированных мазутно-топливных смесей в качестве альтернативного котельного топлива.

1.5 Комплекс подготовительных работ

В соответствии с требованиями общепринятой методики проведения испытаний и режимных наладок котлоагрегатов, были разработаны схемы точек замеров рабочих параметров и изготовлены приспособления, установленные на воздуховодах и газоходах, а также специальные штативы для получения стабильных значений, в том числе - по замерам температуры пламени в зоне активного горения топлива и на выходе газов на заднем фронте котлов. Произведена ревизия внутреннего состояния котлов и горелочных устройств с оформлением комиссионного Акта технического состояния котлов до и после проведения испытаний. Выполнен комплекс подготовительных работ по запуску Мобильной установки приготовления топливных смесей (МУПТС-10) в режим постоянной эксплуатации.

1.6 Методика регистрации рабочих параметров и обработки опытных данных

Все измерения по пароводяному тракту производились вновь установленными приборами. Объем и температура питательной воды и количество тепловой энергии в паре на котле Daelim Boiler DLZ-600» регистрировались с помощью штатных поверенных узлов учета рабочих параметров котла в комплекте с контроллером «Миконт-186». Аналогичные рабочие параметры при проведении испытаний на водотрубном котле ДЕ 25-14МЦ регистрировались с помощью специально установленного узла учета на базе многофункционального контроллера - тепловычислителя «СПТ-961». Температура уходящих дымовых газов, содержание кислорода и окиси углерода, а также объем суммарных оксидов азота (N_x) и оксида серы (SO_2) фиксировались с помощью переносного газоанализатора «МРУ Optima 7». Температура мазута перед форсунками регистрировалась с помощью жидкостных термометров, установленных на трубопроводах непосредственно перед горелочными устройствами котлов. Расход топлива на котлах регистрировался по накопительным значениям с помощью счетчиков жидкости роторных – ЭМИС-ДИО-230.

Примечание:

Испытания с определением качественных характеристик исходного топочного мазута ГОСТ 10585-99 и опытных образцов Гомогенизированных мазутно-топливных смесей выполнялись Химической лабораторией ОАО «Сибтехэнерго» (свидетельство аттестации № 1107/2015 г.) Теплота сгорания определялась по калориметрической бомбе.

1.7 Алгоритм обработки полученных результатов по ОБРАТНОМУ БАЛАНСУ

Расход пара из котла корректировался с учетом отклонения давления и температуры питательной воды от расчетных значений:

$$D = D_{\text{изм}} \sqrt{\frac{v_{\text{расч}}}{v_{\text{действ}}}} \left(\frac{i_{\text{п}}^{\text{д}} - i_{\text{пв}}^{\text{д}}}{i_{\text{п}}^{\text{р}} - i_{\text{пв}}^{\text{р}}} \right), \text{ т/ч}$$

Где:

$D_{\text{изм}}$ – показания расходомера, т/ч

$v_{\text{расч}}, v_{\text{действ}}$ – удельные объемы пара соответственно при расчетном и действительном давлении пара, м³/кг;

$i_{\text{п}}^{\text{д}}, i_{\text{пв}}^{\text{д}}, i_{\text{п}}^{\text{р}}, i_{\text{пв}}^{\text{р}}$ – энтальпия насыщенного пара, питательной воды соответственно при расчетных и действительных параметрах;

Избыток организованного воздуха за котлом определялся по результатам газового анализа и рассчитывался по соотношению:

$$\alpha_{\text{орг}} = \frac{V_{\text{орг}}}{V_{\text{теор}}}$$

где:

$V_{\text{орг}}$ – количество организованного воздуха тыс. м³/ч;

$V_{\text{теор}}$ – теоретическое количество воздуха (тыс. м³/ч), определяемое в зависимости от расхода мазута и нагрузки котла по формуле:

$$V_{\text{теор}} = V_{\text{в}}^0 \frac{Q_{\text{ка}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{ка}}}, \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$$

где:

$V_{\text{в}}^0$ – теоретическое количество воздуха на 1 кг сжигаемого топлива;

Для сопоставления результатов расчета величина присосов приводилась к номинальной нагрузке:

$$\Delta \alpha_{\text{прис}}^{\text{прив}} = \Delta \alpha_{\text{прис}} \frac{Q_{\text{ка}}}{Q_{\text{ка}}^{\text{ном}}}$$

Расход электроэнергии на привод дутьевых машин оценивался по показаниям переносных амперметров и паспортным данным:

$$N_{\text{эл}} = 1,73 U I \cos \varphi / 1000, \text{ кВт},$$

Где:

U, I – соответственно напряжение питания (В) и сила тока (А) в цепи электродвигателя, $\cos \varphi = 0.85$;

Обработка результатов испытаний котлов проводилась в соответствии с общепринятой методикой с учетом особенностей сжигаемого топлива.

Коэффициент полезного действия (%) котла определяется по формуле:

$$\eta_{\text{к}}^{\text{ср}} = 100 - q_2 - q_3 - q_5$$

где:

q_2 – потери тепла с уходящими газами, %;

q_3 – потери тепла с химической неполнотой сгорания, %;

q_5 – потери тепла в окружающую среду, %.

Потери тепла с уходящими газами определялись по формулам:

$$q_2 = (K\alpha_{yx} + C) \cdot \left(g_{yx} - \frac{\alpha_{yx}}{\alpha_{yx} + b} \cdot t_{x,b} \right) \cdot (1 - 0,01q_4) \cdot K_Q \cdot 10^{-2}\%,$$

где:

α_{yx} – коэффициент избытка воздуха в уходящих газах;

g_{yx} – температура уходящих газов, °C;

$t_{x,b}$ – температура холодного воздуха, °C;

q_4 – потери тепла с механической неполнотой сгорания, %;

K_Q – поправочный коэффициент, учитывающий тепло, внесенное в котел с подогретым воздухом и топливом;

K, C, b – коэффициенты, зависящие от сорта и приведенной влажности топлива.

Температура холодного воздуха $t_{x,b}$ (°C) измерялась на стороне всасывания дутьевого вентилятора.

Поправочный коэффициент K_Q определялся по формуле:

$$K_Q = \frac{Q_H^p}{Q_H^p + q_{тл} + q_{кф}}.$$

Физическое тепло топлива учитывалось только при использовании нагретого мазута и рассчитывалось по формуле:

$$q_{тл} = C_{тл}^M t_{тл}^M \alpha_M,$$

где:

$C_{тл}^M$ – удельная теплоемкость мазута при температуре его поступления в топку, кДж/(кг·°C) [ккал/(кг·°C)];

$t_{тл}^M$ – температура поступающего в котел мазута, нагретого вне его, °C

α_M – доля мазута по теплу в смеси топлив.

Учитывая работу котлоагрегатов при избытках воздуха, обеспечивающих минимальное значение q_3 , расчет потерь тепла от химической неполноты сгорания топлива производился по значению содержания СО:

$$q_3 = 3.32 \text{ СО} (\alpha_{yx} - 0,05)$$

Принимая за основу отсутствие потерь от механической неполноты сгорания (q_4), при правильном соотношении «топливо-воздух», данное значение при расчете КПД котлоагрегатов не учитывалось.

Потеря тепла котлом в окружающую среду по нормативным данным определялась и корректировалась с учетом нагрузки по формуле:

$$q_5 = q_5^{\text{ном}} \cdot \frac{Q_{\text{ка}}^{\text{ном}}}{Q_{\text{ка}}}, \%,$$

где:

$q_5^{\text{ном}}$ – потеря тепла в окружающую среду при номинальной нагрузке [1];

$Q_{\text{ка}}^{\text{ном}}$ – номинальная нагрузка котла, Гкал/ч;

$Q_{\text{ка}}$ – фактическая нагрузка котла, Гкал/ч.

Расчет потери тепла от наружного охлаждения через изоляцию (q_5), определялся по формуле, %:

$$q_5^{\text{ном}} = 100 \cdot Q_5 / Q_{\text{р}}^{\text{н}}$$

где:

Q_5 – потери тепла в окружающую среду, кДж/кг:

$$Q_5 = \Delta t F \text{ Вт},$$

Где:

$\alpha_{\text{к}}$ – коэффициент теплоотдачи от стенки котла к окружающей среде, Вт/(м²К), считаем $\alpha_{\text{к}} \approx 10 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$;

$F_{\text{к}}$ – наружная поверхность котла, м²;

$$F_{\text{к}} = \pi D_{\text{к}} L_{\text{к}} + \pi D_{\text{к}}^2 / 2;$$

$L_{\text{к}}$ – длина котла (с крышками и с изоляцией), м;

$D_{\text{к}}$ – диаметр котла (с изоляцией), м;

Δt – разность температур при теплопередаче, °С.

Для котла DLZ-600 при номинальной (паспортной) мощности принимаем значение:

$$q_5^{\text{ном}} = 0,76 \%$$

Для котла ДЕ 25-14МЦ при номинальной (паспортной) мощности принимаем значение:

$$q_5^{\text{ном}} = 1,25 \%$$

Расход топлива определялся расчетным путем по обратному балансу и по показаниям расходомера мазута перед котлом.

Расход натурального топлива:

$$B_{\text{к}} = \frac{Q_{\text{ка}}}{Q_{\text{р}}^{\text{н}} \times \eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}} \times 100, \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

Расход условного топлива:

$$B_{\text{усл}} = \frac{B_{\text{к}} \times Q_{\text{р}}^{\text{н}}}{7000}, \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

7000 – калорийность условного топлива (ккал/кг);

Удельный расход натурального топлива:

$$b_{\text{нт}} = \frac{B_{\text{к}} \times 1000}{Q_{\text{ка}}}, \frac{\text{кгнт}}{\text{Гкал}};$$

Удельный расход условного топлива:

$$b_{\text{усл}} = \frac{b_{\text{нт}} \times Q_{\text{р}}^{\text{н}}}{7000}, \frac{\text{кг}}{\text{Гкал}};$$

Температура холодного воздуха $t_{\text{х.в}}$ (°C) измеряется в помещении котельной.

Для оценки экологических показателей работы котельного агрегата выполнялись измерения концентрации оксидов азота (NO_x) и серы (SO_2) в уходящих газах.

Для сопоставления и анализа полученных результатов массовая концентрация NO_x пересчитывалась на NO_2 и приводилась к избытку воздуха $\alpha_0 = 1,4$.

Концентрация оксидов серы также приводилась к избытку воздуха $\alpha_0 = 1,4$.

Расчет массовых выбросов оксидов серы по данным замеров выполнялся по формуле:

$$M_{\text{SO}_2} = C_{\text{SO}_2} * V_{\text{сг}} * B_{\text{р}} * k_{\text{п}}, \text{ г/с}$$

где:

C_{SO_2} – массовая концентрация оксидов серы в сухих дымовых газах при избытке воздуха $\alpha_0 = 1,4$ мг/м³;

$V_{\text{сг}}$ – объем сухих дымовых газов, образующихся при полном сгорании топлива, при значении $\alpha_0 = 1,4$ м³/кг;

$B_{\text{р}}$ – расчетный расход топлива, т/ч

$k_{\text{п}}$ – коэффициент пересчета в грамм в секунду, $k_{\text{п}} = 0,273 \cdot 10^{-3}$.

Объем сухих дымовых газов рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{сг}} = V_{\text{г}}^0 + (\alpha - 1) V^0 - V_{\text{H}_2\text{O}}^0, \text{ м}^3/\text{кг}$$

где:

$V_{\text{г}}^0, V^0, V_{\text{H}_2\text{O}}^0$ – теоретический объем дымовых газов, воздуха и водяных паров, м³/кг.

α - избыток воздуха в дымовых газах.

Для удобства выполнения расчетов и сравнительного анализа рабочих параметров котлов, все полученные значения обрабатывались в специальной программе Excel с графическим отображением характеристик на каждом режиме испытаний.

1.8 Алгоритм обработки полученных результатов по ПРЯМОМУ БАЛАНСУ

Расчет тепловой нагрузка котла производился по формуле, Гкал:

$$Q_p = G_v * (I_{п.} - I_{в.}) / 1000$$

где:

G_v – объем питательной воды на котел, м³;

$I_{п.}$ – энтальпия пара;

$I_{в.}$ – энтальпия питательной воды;

1000 – коэффициент перевода полученного значения в Гкал.

Массовый расход натурального топлива выполнялся по формуле, кг:

$$V_{н.т.} = V_p * \Pi$$

где:

V_p – расход натурального топлива по расходомеру, м³;

Π – плотность топлива измеренная, м³/кг;

Массовый расход условного топлива выполнялся по формуле, кг:

$$V_{у.т.} = V_p * \Pi * Q_{н.изм.} / 7000$$

где:

V_p – расход натурального топлива по расходомеру, м³;

Π – плотность топлива измеренная, м³/кг;

$Q_{н.изм.}$ – теплота сгорания низшая измеренная, ккал/кг;

7000 – теплота сгорания условная, ккал.

Расчет удельного расхода натурального топлива, производился по формуле, кг/Гкал:

$$b_{н.} = V_{н.т.} / Q_{изм.} / 0,9$$

где:

$V_{н.т.}$ – массовый расход натурального топлива, кг;

$Q_{изм.}$ – тепловая нагрузка измеренная, Гкал;

0,9 – расчетный коэффициент потерь от непрерывной продувки котла.

Расчет удельного расхода условного топлива, производился по формуле, кг/Гкал:

$$b_{усл.} = V_{у.т.} / Q_{изм.} / 0,9$$

где:

$V_{у.т.}$ – массовый расход условного топлива, кг;

$Q_{изм.}$ – тепловая нагрузка измеренная, Гкал.

0,9 – расчетный коэффициент потерь от непрерывной продувки котла.

Коэффициент полезного действия определялся по формуле, %;

$$\eta = Q_{изм.} * 1000000 / (V_{н.т.} * Q_{н.изм.}) * 100 * 0,9$$

где:

$Q_{изм.}$ – тепловая нагрузка измеренная, Гкал;

$V_{н.т.}$ – массовый расход натурального топлива, кг;

$Q_{н.изм.}$ – теплота сгорания низшая измеренная, ккал/кг;

0,9 – расчетный коэффициент потерь от непрерывной продувки котла.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Технические условия и результаты испытаний на котле - Daelim Boiler DLZ-600

Весь объем испытаний состоял из 2-х серий опытов:

Первая серия – оценка работы в эксплуатационном режиме.

Вторая серия – оценка работы в режиме наладки горения за счет изменения расхода воздуха.

В процессе испытаний проведено по 30 опытов при эксплуатационных режимах работы котла и 30 опытов с изменением расхода воздуха.

Нагрузка на котле изменялась в диапазоне $29,0 \div 79,5$ % от номинальной мощности:

$$D_k = 1,73 \div 4,77 \text{ т/ч } (Q_k = 0,7 \div 2,7 \text{ Гкал/ч})$$

Примечание:

Сравнительное сжигание всех образцов топлива проводилось при обеспечении максимальной нагрузки котла, составляющей не более 83,5 % от паспортного значения.

Данные технические условия были вызваны отсутствием потребителей пара на момент проведения испытаний в летний период работы котельной, а также изначальной настройкой регулировочной линейки топливоподачи на производительность, не более – 2,75 Гкал/час.

Температура питательной воды составляла $60 \div 90$ °С против паспортного значения 70 °С.

Давление насыщенного пара изменялось в пределах: $3,5 \div 9,0$ кгс/см².

Температура мазута изменялась в пределах: $84 \div 94$ °С.

Температура холодного воздуха измерялась в пределах: $28 \div 32$ °С.

Установка режимов работы котла осуществлялась по нарастающим значениям нагрузки.

С целью получения наиболее корректных значений на каждом установленном режиме работы котла, между замерами рабочих параметров выдерживался интервал в течении – $30 \div 40$ минут.

2.7 Результаты испытаний и обработки опытных данных представлены в таблицах № 2.2; 2.3; 2.5 и рисунка-графиках № 1 ÷ 6

2.2 Качественные характеристики исходного мазута и образцов ГМТС, используемые при сравнительном сжигании на котле - Daelim Boiler DLZ-600

Наименование характеристик	М - 100	МГ	ГМТС + 5	ГМТС + 10	ГМТС + 15
Плотность при 20°С	941	943	950	952,4	954,4
Вязкость при 80°С, Сст	51	47,11	51,99	61,48	72,92
Массовая доля воды, %	1,6	0,45	4,8	9,2	12,4
Массовая доля серы, %	1,2	1,089	0,932	0,891	0,816
Массовая доля механических примесей, %	0,14	0,044	0,028	0,032	0,037
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	175	182	188	189	192
Температура застывания	+ 20	+ 20	+ 18	+ 18	+ 18
Зольность, %	0,078	0,09	0,085	0,074	0,075
Теплота сгорания низшая, кДж/кг (ккал/кг)	42738	42738	40825	38799	36901
	10200	10200	9750	9260	8870

Расшифровка условных обозначений:

М – 100 – мазут исходный топочный (ГОСТ 10585-99)

МГ – мазут гомогенизированный (обработанный без добавления воды)

ГМТС + 5 – гомогенизированная мазутно-топливная смесь с добавлением воды 5 %

ГМТС + 10 – гомогенизированная мазутно-топливная смесь с добавлением воды 10 %

ГМТС + 15 – гомогенизированная мазутно-топливная смесь с добавлением воды 15 %.

2.3 Обработка результатов сравнительного сжигания исходного мазута и образцов ГМТС на паровом котле Daelim Boiler DLZ-600 ОБРАТНЫЙ БАЛАНС – режим работы котла эксплуатационный

НАГРУЗКА КОТЛА МИНИМАЛЬНАЯ

№ п/п	Рабочие характеристики	М - 100	МГ	ГМТС + 5	ГМТС + 10	ГМТС + 15
1	Паропроизводительность – Q_p , т/ч	3,18	2,53	2,78	1,99	2,49
2	Теплопроизводительность - Q_k , Гкал/ч	1,54	1,49	1,68	0,88	1,46
3	Температура уходящих газов - $T_{ух}$, °С	192,2	205,1	203	170,5	216,2
4	Избыток воздуха в уходящих газах - $A_{ух}$	1,27	1,35	1,3	1,43	1,51
5	Потери с уходящими газами – q_2 , %	8,81	8,89	8,34	7,30	10,31
6	Потери с химическим недожогом – q_3 , %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	Потери от наружного охлаждения - q_5 , %	1,77	1,81	1,62	3,05	1,84
8	КПД котла «брутто» - η , %	90,42	89,29	90,03	89,64	87,84
9	Массовый расход топлива расчетный, кг/ч	165,76	163,12	190,56	104,96	185,88
10	Массовый расход топлива по расходомеру, кг/ч	не измерялось	не измерялось	не измерялось	не измерялось	не измерялось
11	Δ – разница значений (расходомер – расчет)	не измерялось	не измерялось	не измерялось	не измерялось	не измерялось
12	Удельный расход натурального топлива по расходомеру – b_n , кг/Гкал	не измерялось	не измерялось	не измерялось	не измерялось	не измерялось
13	Удельный расход условного топлива расчетный – b_y , кг/Гкал	157,33	159,32	157,99	158,65	161,09

Примечание:

В связи с некорректной работой расходомера на минимальных значениях, расход топлива на данной нагрузке котла не регистрировался.

НАГРУЗКА КОТЛА СРЕДНЯЯ

№ п/п	Рабочие характеристики	M - 100	МГ	ГМТС + 5	ГМТС + 10	ГМТС + 15
1	Паропроизводительность – Q_p , т/ч	4,06	3,74	3,53	3,69	3,05
2	Теплопроизводительность - Q_k , Гкал/ч	2,25	2,26	2,28	2,20	1,84
3	Температура уходящих газов - $T_{ух}$, °С	222,65	224,1	229,6	223,0	242,0
4	Избыток воздуха в уходящих газах - $A_{ух}$	1,36	1,42	1,35	1,37	1,57
5	Потери с уходящими газами – q_2 , %	9,93	10,33	10,08	9,73	12,15
6	Потери с химическим недожогом – q_3 , %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	Потери от наружного охлаждения - q_5 , %	1,17	1,19	1,17	1,22	1,44
8	КПД котла «брутто» - η , %	88,89	88,47	88,75	88,04	86,39
9	Массовый расход топлива расчетный, кг/ч	247,03	249,13	262,09	265,35	239,52
10	Массовый расход топлива по расходомеру, кг/ч	261,0	251,12	239,78	259,52	254,82
11	Δ – разница значений (расходомер – расчет)	+ 13,97	+ 1,99	- 22,31	- 5,83	+ 15,3
12	Удельный расход натурального топлива по расходомеру - b_n , кг/Гкал	116,0	111,21	105,28	118,09	138,68
13	Удельный расход условного топлива расчетный - b_y , кг/Гкал	160,06	160,77	160,27	159,72	164,58

НАГРУЗКА КОТЛА МАКСИМАЛЬНАЯ

№ п/п	Рабочие характеристики	М - 100	МГ	ГМТС + 5	ГМТС + 10	ГМТС + 15
1	Паропроизводительность – $Q_{п}$, т/ч	4,41	5,14	5,18	4,10	3,79
2	Теплопроизводительность расчетная – $Q_{расч}$, Гкал/ч	2,67	3,05	3,33	2,59	2,36
3	Температура уходящих газов – $T_{ух}$, °С	238,0	240,5	244,5	241,8	265,1
4	Избыток воздуха в уходящих газах – $A_{ух}$	1,41	1,40	1,36	1,49	1,61
5	Потери с уходящими газами – q_2 , %	11,02	11,09	10,98	11,54	13,62
6	Потери с химическим недожогом – q_3 , %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	Потери от наружного охлаждения – q_5 , %	1,0	0,88	0,79	1,05	1,14
8	КПД котла «брутто» – η , %	87,98	88,03	88,22	87,38	85,23
9	Массовый расход топлива расчетный, кг/ч	296,68	337,76	385,8	313,94	311,25
10	Массовый расход топлива по расходомеру, кг/ч	293,58	313,64	314,14	311,86	310,13
11	Δ – разница значений (расходомер – расчет)	- 3,1	- 24,12	- 71,66	- 2,08	- 1,12
12	Удельный расход натурального топлива по расходомеру – $b_{нат}$, кг/Гкал	109,8	102,97	94,26	120,49	131,17
13	Удельный расход условного топлива расчетный – $b_{усл}$, кг/Гкал	161,68	161,58	157,51	160,46	166,81

2.4 Сводная таблица значений КПД и удельного расхода при сжигании исходного мазута и образцов ГМТС котле Daelim Boiler DLZ-600 ОБРАТНЫЙ БАЛАНС – режим работы котла эксплуатационный

НАГРУЗКА СРЕДНЯЯ

№ п/п	Наименование образцов топлива	Качественные показатели					
		Q расч.	η	b нат.	b усл.	T ух.	A ух.
1	Мазут М - 100	2,25	88,89	116,0	160,06	222,65	1,36
2	Мазут гомогенизированный	2,26	88,47	111,21	160,77	224,1	1,42
3	ГМТС (мазут 100 % + вода 5 %)	2,28	88,75	105,28	160,27	229,6	1,35
4	ГМТС (мазут 100 % + вода 10 %)	2,20	88,04	118,09	159,72	223,0	1,37
5	ГМТС (мазут 100 % + вода 15 %)	1,84	86,39	138,68	164,58	242,0	1,57
							q 2
							q 5
							1,17
							1,19
							1,17
							1,22
							1,44

НАГРУЗКА МАКСИМАЛЬНАЯ

№ п/п	Наименование образцов топлива	Качественные показатели					
		Q расч.	η	b н.	b усл.	T ух.	A ух.
1	Мазут исходный	2,67	87,98	109,8	161,68	238,0	1,41
2	Мазут гомогенизированный	3,05	88,03	102,97	161,58	240,5	1,40
3	ГМТС (мазут 100 % + вода 5 %)	3,33	88,22	94,26	157,51	244,5	1,36
4	ГМТС (мазут 100 % + вода 10 %)	2,59	87,38	120,49	160,46	241,8	1,49
5	ГМТС (мазут 100 % + вода 15 %)	2,36	85,23	131,17	166,81	265,1	1,61
							q 2
							q 5
							1,0
							0,88
							0,79
							1,05
							1,14

Условные обозначения:

Q расч. – тепловая нагрузка расчетная, Гкал/ч;

η – коэффициент полезного действия (брутто), %;

b нат. – удельный расход натурального топлива, кг/Гкал;

b усл. – удельный расход условного топлива, кг/Гкал;

A ух. – коэффициент избытка воздуха в уходящих газах, %

q 2 – потери с уходящими газами, %

q 5 – потери от наружного охлаждения котла, %

T ух. – температура уходящих газов, °С;

2.5 Обработка результатов сравнительного сжигания исходного мазута и образцов GMTС на котле Daelim Boiler DLZ-600
ПРЯМОЙ БАЛАНС – режим работы котла эксплуатационный

№ п/п	Наименование характеристик	М – 100		ГМ		GMTС + 5		GMTС + 10		GMTС + 15	
		Нагрузка средняя	Нагрузка маск.	Нагрузка средняя	Нагрузка маск.	Нагрузка средняя	Нагрузка маск.	Нагрузка средняя	Нагрузка маск.	Нагрузка средняя	Нагрузка маск.
1	Давление питательной воды, кгс/см ²	7,4	8,0	8,1	7,3	9,3	9,9	7,4	9,0	8,7	8,4
2	Температура питательной воды, °С	78,0	75,0	75,0	67,0	80,0	94,0	68,0	74,0	83,0	71,0
3	Энтальпия питательной воды	78,06	75,0611	75,063	75,042	84,091	94,198	68,0339	74,0772	83,1062	71,0584
4	Р пара в барабане котла, кгс/см ²	7,0	7,8	5,9	6,7	9,0	9,8	7,0	8,4	8,5	8,1
5	Т пара в барабане котла, °С	156,0	181,0	167,0	165,0	177,0	177,0	167,0	174,0	171,0	171,0
6	Энтальпия пара	654,565	666,238	660,0874	661,9088	665,761	662,076	661,2246	662,7969	663,42	661,5324
7	Температура топлива, °С	92,0	94,0	92,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
8	Плотность топлива измеренная, м ³ /кг	858,68	858,16	878,6	884,8	874,8	874,8	883,2	883,2	879,3	879,3
9	Q котла измеренная в паре, т/ч	4,06	4,41	4,74	5,14	3,53	5,18	3,69	4,10	3,05	3,79
10	Q котла расчетная – прямой баланс, Гкал/ч	2,34	2,61	2,19	3,02	2,05	2,94	2,19	2,40	1,77	2,24
11	Q котла расчетная – обратный баланс, Гкал/ч	2,25	2,67	2,26	3,05	2,28	3,33	2,20	2,59	2,36	2,36
12	Δ разница (прямой – обратный)	+ 0,09	- 0,06	- 0,07	- 0,03	- 0,23	- 0,039	- 0,01	- 0,19	- 0,59	- 0,12
13	Теплота по калометр. Бомбе, Ккал/кг	10200	10200	10200	10200	9750	9750	9260	9260	8870	8870
14	Расход нат. топлива измеренный, м ³ /ч	0,3021	0,3420	0,2875	0,3608	0,2741	0,3591	0,2979	0,3560	0,2898	0,3527
15	Расход нат. топлива расчетный, кг/ч	259,41	293,49	252,6	319,24	239,78	314,141	263,105	309,65	254,821	310,12
16	Расход усл. топлива, кг/ч	377,99	427,66	368,07	465,17	33398	437,553	348,051	409,623	32,895	392,978
17	Удельный расход нат. топлива, кг/Гкал	110,97	112,57	115,45	105,83	116,78	106,79	120,201	128,286	143,97	138,581
17	Среднее значение за опыт, кг/Гкал	111,77		110,64		111,79		124,24		141,28	
18	Удельный расход усл. топлива, кг/Гкал	161,69	164,04	168,22	154,21	162,66	148,75	159,01	169,7	182,43	175,6
19	Среднее значение за опыт, кг/Гкал	162,86		161,22		155,70		164,36		179,02	
20	КПД	88,35	87,09	84,92	92,64	87,83	96,04	89,84	84,18	78,31	81,35
21	Среднее значение за опыт	87,72		88,78		91,93		87,01		79,83	

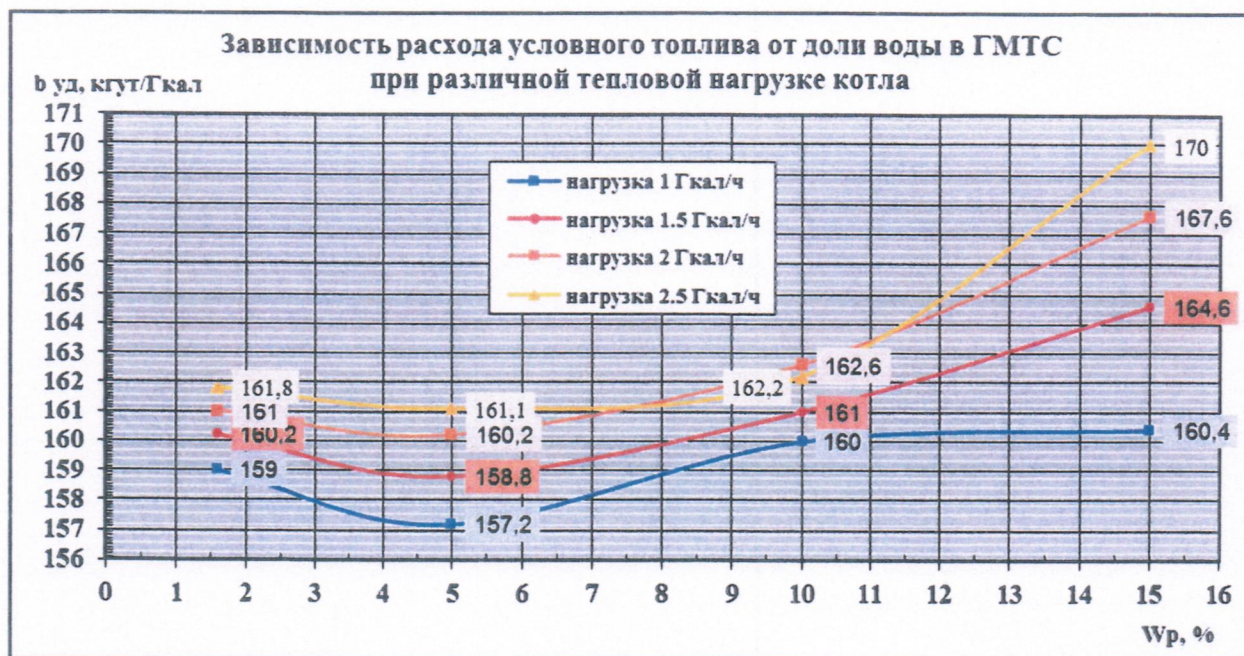


Рис. 1

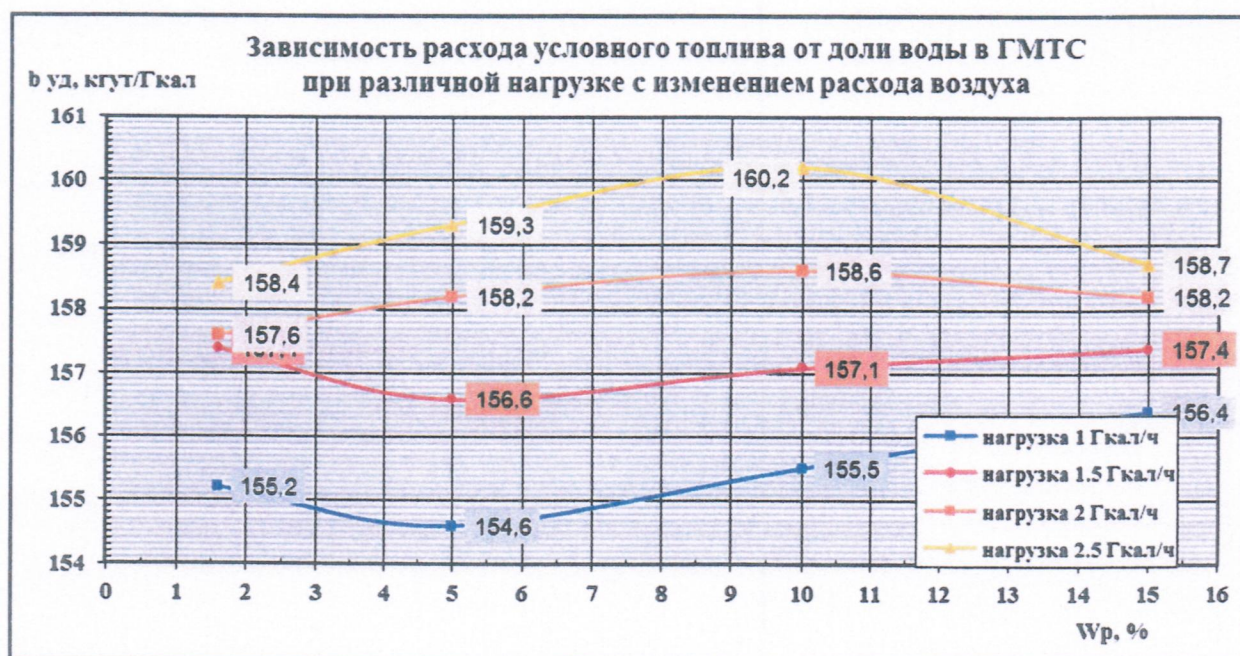


Рис. 2

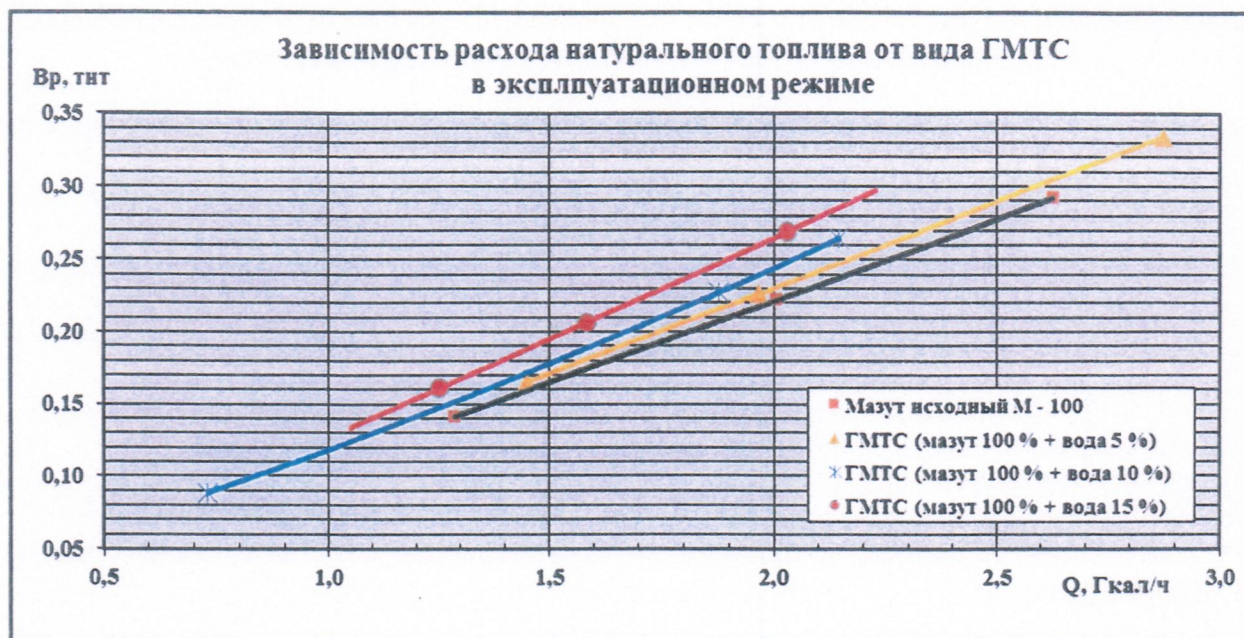


Рис. 3

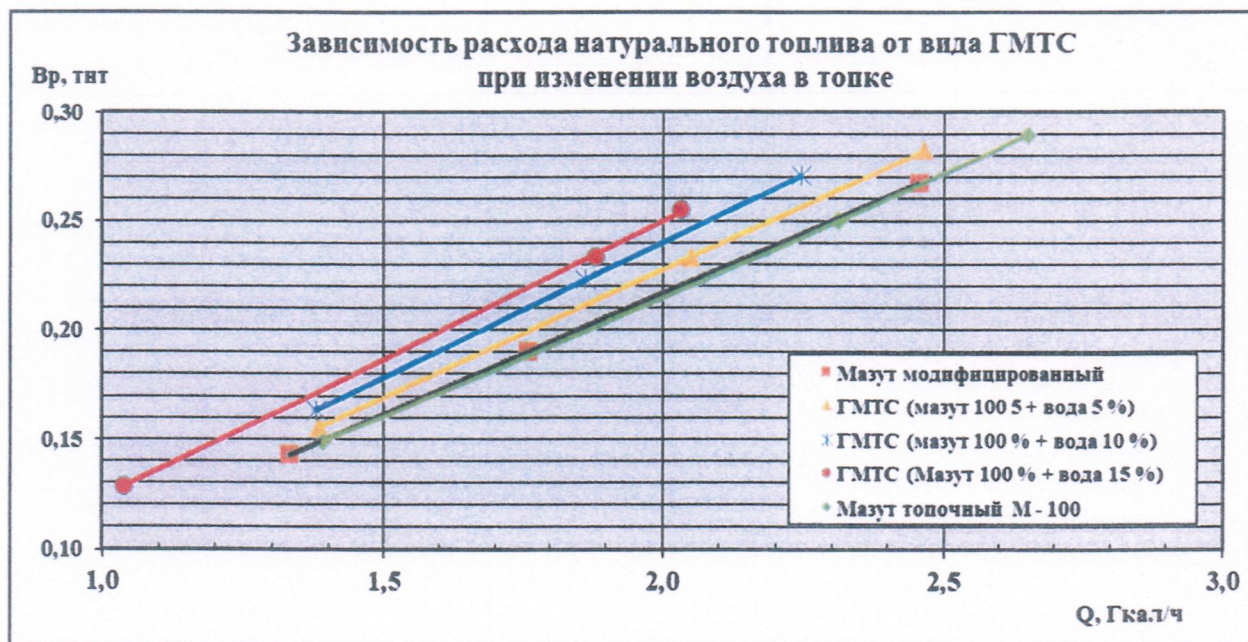


Рис. 4

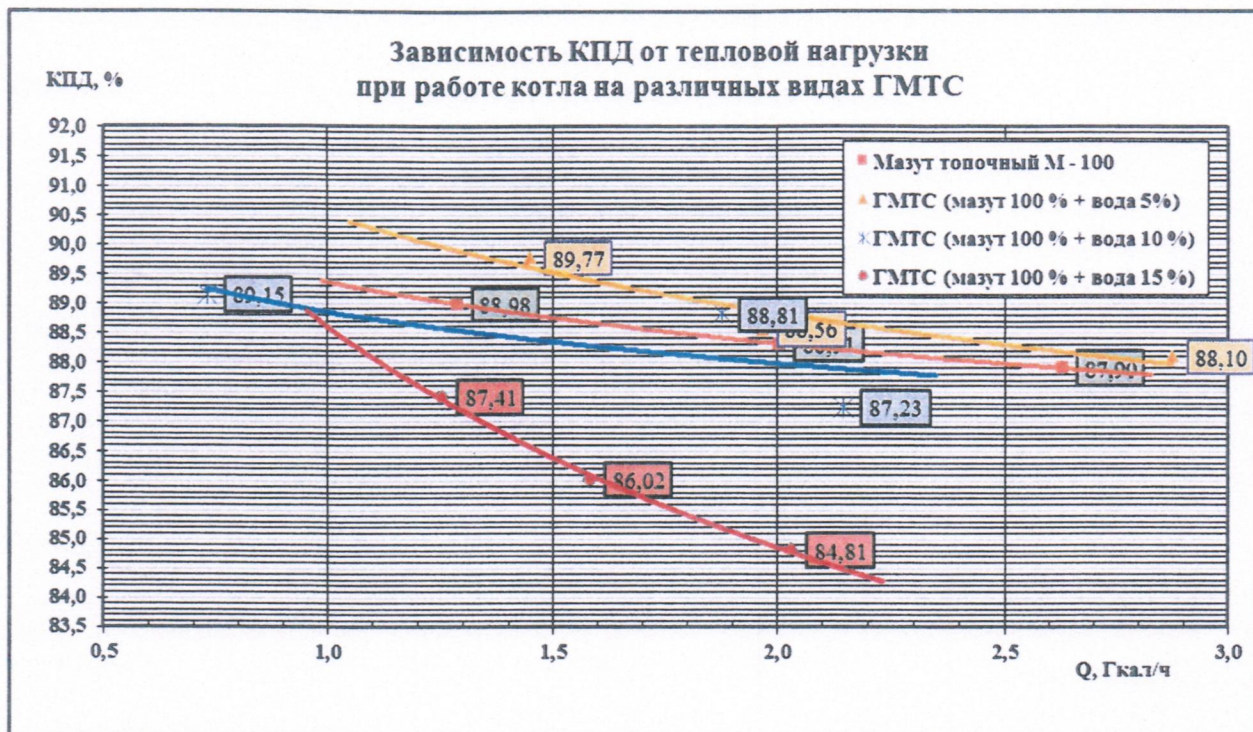


Рис. 5

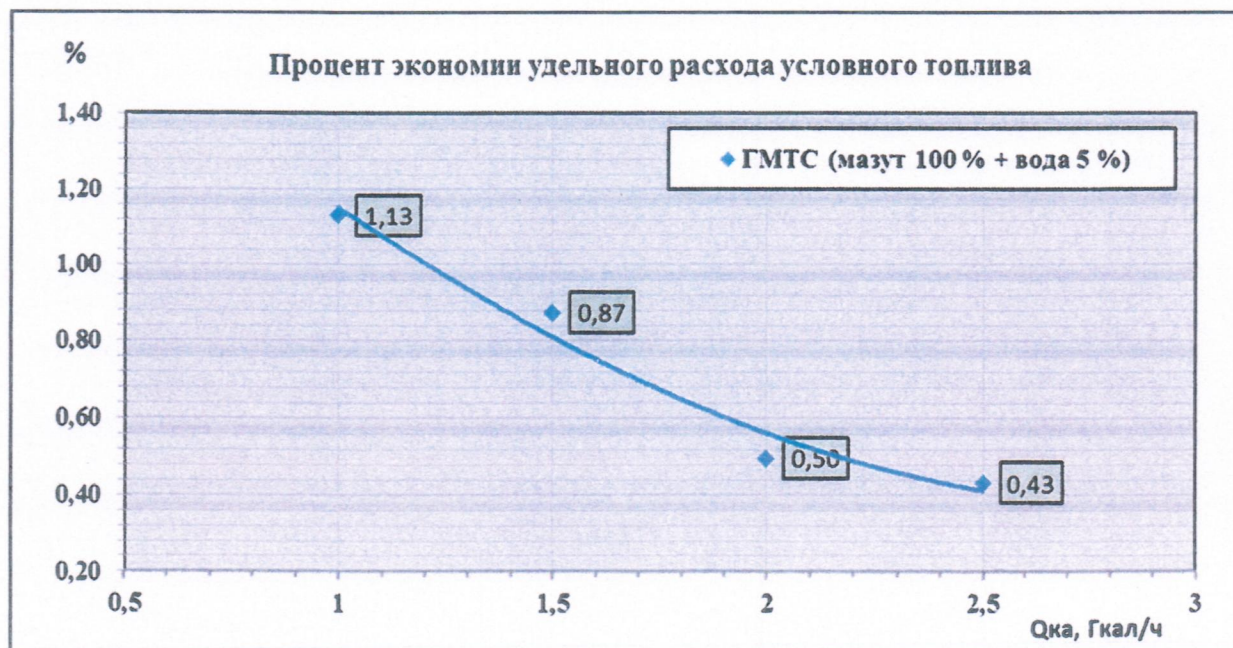


Рис. 6

2.6 Технические условия и результаты испытаний на котле – ДЕ 25-14МЦ

Весь объем испытаний состоял из 2-х серий опытов.

Первая серия – оценка работы на постоянной тепловой нагрузке.

Виды котельного топлива:

1. Мазут топочный ГОСТ 10585-99 – «сухой»;
2. Мазут топочный мазут ГОСТ 10585-99 – «стандартный»;
3. Мазут искусственно обводненный, с содержанием воды – 6,8 %;
4. ГМТС – Гомогенизированная мазутно-топливная смесь (мазут 100 % + вода 6,7 %);
5. ГМТС – Гомогенизированная мазутно-топливная смесь (мазут 100 % + вода 8,5 %);
6. ГМТС – Гомогенизированная мазутно-топливная смесь (мазут 100 % + вода 10 %);
7. ГМТС – Гомогенизированная мазутно-топливная смесь (мазут 100 % + соапсток 30 %);
8. ГТС – Котельная топливная смесь на основе соапстока – 100 %;
9. КТС-НШ – Котельная топливная смесь на основе нефтешлама – 100 %.

Вторая серия – оценка работы с изменением нагрузки

Виды котельного топлива:

1. Мазут топочный ГОСТ 10585-99 – «сухой» мазут;
2. ГМТС – Гомогенизированная мазутно-топливная смесь (мазут 100 % + вода 6,7 %);
3. ГМТС – Гомогенизированная мазутно-топливная смесь (мазут 100 % + вода 10 %);
4. ГМТС – Гомогенизированная мазутно-топливная смесь (мазут 100 % + соапсток 30 %);

В процессе испытаний проведено 9 опытов при постоянной нагрузке и 12 опытов с изменением тепловых нагрузок.

Нагрузка на котле изменялась в диапазоне $38,5 \div 65,0$ % от номинальной мощности:

$$D_k = 5,2 \div 8,8 \text{ Гкал/ч}$$

Примечание:

Сравнительное сжигание всех образцов котельного топлива проводилось при нагрузке котла не более 65 % от максимального паспортного значения. Данные технические условия вызваны отсутствием потребителей пара и снижением фактической присоединенной тепловой нагрузки от паспортной мощности котельной.

Температура питательной воды соответствовала паспортным требованиям котла.

Давление насыщенного пара изменялось в пределах: $7,9 \div 8,2$ кгс/см².

Температура топлива изменялась в пределах: $70 \div 104$ °С.

Температура холодного воздуха измерялась в пределах: $48 \div 52$ °С.

Установка режимов работы котла осуществлялась по нарастающим значениям нагрузки.

С целью получения наиболее корректных значений на каждом установленном режиме работы котла, между замерами рабочих параметров выдерживался интервал в течении – $30 \div 40$ минут.

Результаты обработки опытных данных представлены в таблицах № 2.8; 2.9; 2.10; 2.11 и рисунка-графиках № 7 ÷ 25

2.7 Качественные характеристики исходного мазута и образцов ГМТС, используемые при сравнительном сжигании на котле – ДЕ 25-14МЦ

Наименование характеристик	Мазут «сухой»	Мазут ГОСТ	Мазут обводн. + 6,8	ГМТС + 6,7	ГМТС + 8,5	ГМТС +10	ГМТС + СП	ГТС - СП	ГМТС - НШ
Плотность при 20°C	936,8	942,2	947,2	937,5	947,1	943,3	932,8	925,8	940,5
Вязкость при 50°C, ВУ/мм ² с (сSt)	Не течет	21,06/156,0	20,76/153,8	17,2/127,7	21,06/156,0	Не течет	8,8/65,0	3,28/22,7	11,2/83,0
Вязкость при 80°C, ВУ/мм ² с (сSt)	6,24/45,6	5,52/40,2	5,32/38,7	4,47/34,03	5,85/42,7	4,5/32,3	3,02/20,6	1,95/11,0	3,5/24,5
Массовая доля воды, %	следы	0,66	5,8	5,5	7,3	10,2	1,14	1,4	11,3
Массовая доля серы, %	0,92	0,82	0,98	0,94	1,1	1,06	0,95	0,46	0,81
Массовая доля механических примесей, %	0,33	0,015	0,022	0,24	0,13	0,11	0,106	0,099	0,276
Температура вспышки в закрытом тигле, °C	206,7	195,5	210,3	215,6	205,7	неопределима	165,3	200,6	неопределима
Температура застывания	+ 23	+ 15	+ 20	+ 18	+ 22	+ 15	+ 17	- 10	+ 25
Зольность, %	0,172	0,026	0,044	0,16	0,109	0,17	0,238	0,632	0,356
Теплота сгорания низшая, кДж/кг	41382,0	40868,0	38969,0	39223,0	38245,0	37403,0	40352,0	37716,0	35739,0
Теплота сгорания низшая, ккал/кг	9884,0	9761,0	9308,0	9345,0	9135,0	8934,0	9638,0	9008,0	8536,0
В пересчете на сухое топливо, кДж/кг	41382,0	41129,0	41519,0	41546,0	41449,0	41929,0	40828,0	38286,0	40603,0
В пересчете на сухое топливо, ккал/кг	9884,0	9824,0	9917,0	9923,0	9900,0	10015,0	9752,0	9145,0	9698,0

Условные обозначения:

Мазут «сухой» – предварительно выпаренный мазут до содержания воды – 0,03 (следы);

Мазут ГОСТ 10585-99 – мазут топочный;

ГМТС + 6,8 – обводненный мазут с содержанием воды – 6,8 %;

ГМТС + 6,7 – гомогенизированная мазутно-топливная смесь (мазут 100 % + вода 6,7 %);

ГМТС + 8,5 – гомогенизированная мазутно-топливная смесь на основе обводненного мазута с содержанием воды – 8,5 %;

ГМТС + 10 – гомогенизированная мазутно-топливная смесь (мазут 100 % + вода 10 %);

ГМТС + СП – гомогенизированная мазутно-топливная смесь (мазут 100 % + soapstock 30 %);

ГТС - СП – гомогенизированная мазутно-топливная смесь на основе переработанного soapstock – 100 %;

ГМТС - НШ – гомогенизированная мазутно-топливная смесь на основе нефтешлама в виде жидких отходов котельного производства

**2.8 Обработка результатов сравнительного сжигания исходного мазута и образцов ГМТС на паровом котле ДЕ 25-14МЦ
ОБРАТНЫЙ БАЛАНС – постоянная нагрузка**

НАГРУЗКА КОТЛА – ПОСТОЯННАЯ

№ п/п	Рабочие характеристики	Мазут «сухой»	Мазут ГОСТ	Мазут обводн. + 6,8	ГМТС + 6,7	ГМТС + 8,5	ГМТС +10	ГМТС + СП	ГТС - СП	ГМТС - НФС
1	Тепловая нагрузка (измеренная) – $Q_{изм}$, Гкал/ч	7,3396	5,1167	7,152	6,3646	6,9885	5,5556	7,2207	6,9573	3,9186
2	Температура уходящих газов – $T_{ух}$, °С	156,43	133,98	158,33	132,80	162,03	145,36	276,24	291,7	269,4
3	Температура факела в активной зоне горения, °С	1728,83	1702,4	1722,33	1686,83	1729,66	1705,0	1729,0	1777,0	1704,25
4	Температура факела на заднем фронте топки котла, °С	646,67	654,4	745,66	713,5	829,33	693,0	716,4	709,25	724,0
5	Содержание кислорода на выходе из котла – O_2 , %	7,52	8,64	8,13	7,53	8,33	9,02	5,48	4,45	11,05
6	Избыток воздуха в уходящих газах – $A_{ух}$	1,83	1,80	1,76	1,76	1,80	2,04	2,04	1,53	1,43
7	Потери с уходящими газами – q_2 , %	7,34	5,52	6,63	5,12	6,95	7,07	16,36	13,12	11,31
8	Потери с химическим недожогом – q_3 , %	0,157	0,053	0,264	0,063	0,213	0,126	0,017	0,215	0,010
9	Потери от наружного охлаждения – q_5 , %	1,84	2,64	1,89	2,13	1,93	2,43	1,87	1,94	3,45
10	КПД котла «брутто» - η , %	90,66	91,79	91,22	92,69	90,91	90,37	81,76	84,72	85,23
11	Массовый расход топлива расчетный, кг/ч	815,264	568,636	838,633	726,424	837,622	684,81	912,885	908,235	536,135
12	Массовый расход топлива по расходомеру, кг/ч	790,8	569,92	756,97	622,83	747,38	665,62	738,38	765,49	542,79
13	Δ – разница значений (расходомер – расчет)	- 24,464	- 1, 284	- 81,663	- 103,594	- 90,242	- 19,19	- 174,505	- 142,745	+ 6,65
14	Уд. расход наг. топлива по расходомеру – $b_{наг}$, кг/Гкал	107,74	111,38	105,84	98,48	107,09	119,81	102,26	110,03	138,52
15	Уд. расход условного топлива расчетный – $b_{усл}$, кг/Гкал	156,84	154,97	155,92	153,44	156,41	157,32	174,07	168,0	166,84

2.9 Сводная таблица значений КПД и удельного расхода при сжигании исходного мазута и образцов ГМТС на котле ДЕ 25-14МЦ
ОБРАТНЫЙ БАЛАНС – постоянная нагрузка

НАГРУЗКА КОТЛА - ПОСТОЯННАЯ

№ п/п	Наименование образцов топлива	Качественные показатели											
		Q изм.	η	b _{нат.}	b _{усл.}	T _{ух.}	O ₂	A _{ух.}	q ₂	q ₃	q ₅	T _{зак.}	T _{з.ф.}
1	Мазут «сухой»	7,3396	90,66	107,74	156,84	156,43	7,52	1,83	7,34	0,157	1,84	1728,83	646,67
2	Мазут ГОСТ 10585-99	5,1167	91,79	111,38	154,97	133,98	8,64	1,80	5,52	0,053	2,64	1702,40	654,40
3	Мазут обводненный + 6,8	7,152	91,22	105,84	155,92	158,33	8,13	1,76	6,63	0,264	1,89	1722,33	745,66
4	ГМТС + 6,7	6,3646	92,69	98,48	153,44	132,80	7,53	1,76	5,12	0,063	2,13	1686,83	713,50
5	ГМТС + 8,5	6,9885	90,91	107,09	156,41	162,03	8,33	1,80	6,95	0,213	1,93	1729,66	829,33
6	ГМТС +10	5,5556	90,37	119,81	157,32	145,36	9,02	2,04	7,07	0,126	2,43	1705,0	693,0
7	ГМТС + СП (30 % soapток)	7,2207	81,76	102,26	174,07	276,24	5,48	2,04	16,36	0,017	1,87	1729,0	716,4
8	ГТС – СП (100 % soapток)	6,9573	84,72	110,03	168,0	291,7	4,45	1,53	13,12	0,215	1,94	1777,0	709,25
9	ГМТС – НФС (на осн. нефтешлама)	3,9186	85,23	138,52	166,84	269,4	11,05	1,43	11,31	0,010	3,45	1704,25	724,0

Условные обозначения:

- Q_{изм.} – тепловая нагрузка расчетная, Гкал/ч;
 η – Коэффициент полезного действия (КПД - брутто), %;
 b_{нат.} – удельный расход натурального топлива, кг/Гкал;
 b_{усл.} – удельный расход условного топлива, кг/Гкал;
 T_{ух.} – температура уходящих газов, °С;
 A_{ух.} – коэффициент избытка воздуха в уходящих газах, %;
 q₂ – потери с уходящими газами, %
 q₃ – потери с химическим недожогом, %;
 q₅ – потери от наружного охлаждения котла, %;
 T_{ф.зак.} – температура факела в зоне активного горения, °С;
 O₂ – содержание кислорода на выходе из котла, %

**2.10 Обработка результатов сравнительного сжигания исходного мазута и образцов ГМТС на котле ДЕ 25-14МЦ
ПРЯМОЙ БАЛАНС – постоянная нагрузка**

№ п/п	Наименование характеристик	Качественные показатели									
		Мазут «сухой»	Мазут ГОСТ	Мазут обводненный + 6,8	ГМТС + 6,7	ГМТС + 8,5	ГМТС +10	ГМТС + СП	ГТС - СП	ГМТС - НФШ	
1	Давление в барабане изб, кг/см²	7,1	8,2	8,06	7,9	8,0	8,02	7,8	8,1	7,37	
2	Температура пара, °С	170,49	175,02	173,97	172,038	172,92	172,37	170,85	173,2	170,15	
3	Расход питательной воды, м³/час	12,524	8,62	12,015	10,682	11,725	9,26	12,212	11,7	6,57	
4	Энтальпия пара	662,1612	663,9397	663,5694	662,7207	663,0635	662,7091	662,2113	663,0532	662,667	
5	Давление питательной воды, кг/см²	8,87	9,1	9,3	8,8	8,83	8,42	9,82	9,2	8,05	
6	Температура питательной воды, °С	67,07	66,48	66,08	68,03	65,55	62,65	68,44	66,84	62,62	
7	Энтальпия питательной воды, I в.	62,21973	66,63466	66,23888	68,1777	65,70026	62,79537	66,5671	66,99629	62,75817	
8	Температура топлива перед форсункой, °С	96,83	89,0	90,66	89,66	90,66	90,8	79,2	73,25	84,5	
9	Плотность топлива измеренная, м³/кг	883,4	894,3	898,4	896,6	898,2	894,2	891,6	888,7	895,7	
10	Тепловая нагрузка измеренная, Гкал/ч	7,3396	5,1167	7,1520	6,3246	6,9885	5,5556	7,2207	6,9573	3,9186	
11	Тепловая нагрузка расчетная, Гкал/ч	7,4510	5,1488	7,1769	6,3509	7,0041	5,5552	7,2740	6,9739	3,9414	
12	Δ разница (измеренная – расчетный)	- 0,111	- 0,032	- 0,025	- 0,026	- 0,015	+ 0,0004	- 0,053	- 0,016	- 0,022	
13	Теплота сгорания низшая, кДж/ кг (ккал/кг)	41382/9884	40868/9761	38969/9308	39223/9345	38245/9135	37403/8934	40352/9638	37716/9008	35739/8536	
14.	В пересчете на сухое топливо, кДж/ кг (ккал/кг)	41382/9884	41129/9824	41519/9917	41546/9923	41449/9900	41929/10015	40828/9752	38286/9145	40603/9698	
14	Расход нат. топлива измеренный, м³/ч	0,8951	0,6372	0,8415	0,6946	0,8332	0,7443	0,8281	0,8614	0,606	
15	Расход нат. топлива с учетом плотности, кг/ч	790,73	569,85	756,0	622,78	748,38	665,55	738,33	765,53	542,3	
16	Расход условного топлива, кг/ч	1116,51	794,61	1005,27	831,41	976,64	849,44	1016,58	985,12	661,9	
17	Удельный расход нат. топлива, кг/Гкал	119,71	123,74	117,45	109,41	118,99	133,11	113,61	122,26	153,91	
18	Удельный расход усл. топлива, кг/Гкал	169,02	172,55	156,18	146,06	155,28	169,89	156,43	157,33	187,68	
20	КПД, %	84,52	82,79	91,47	97,81	92,0	84,09	91,32	90,8	76,12	

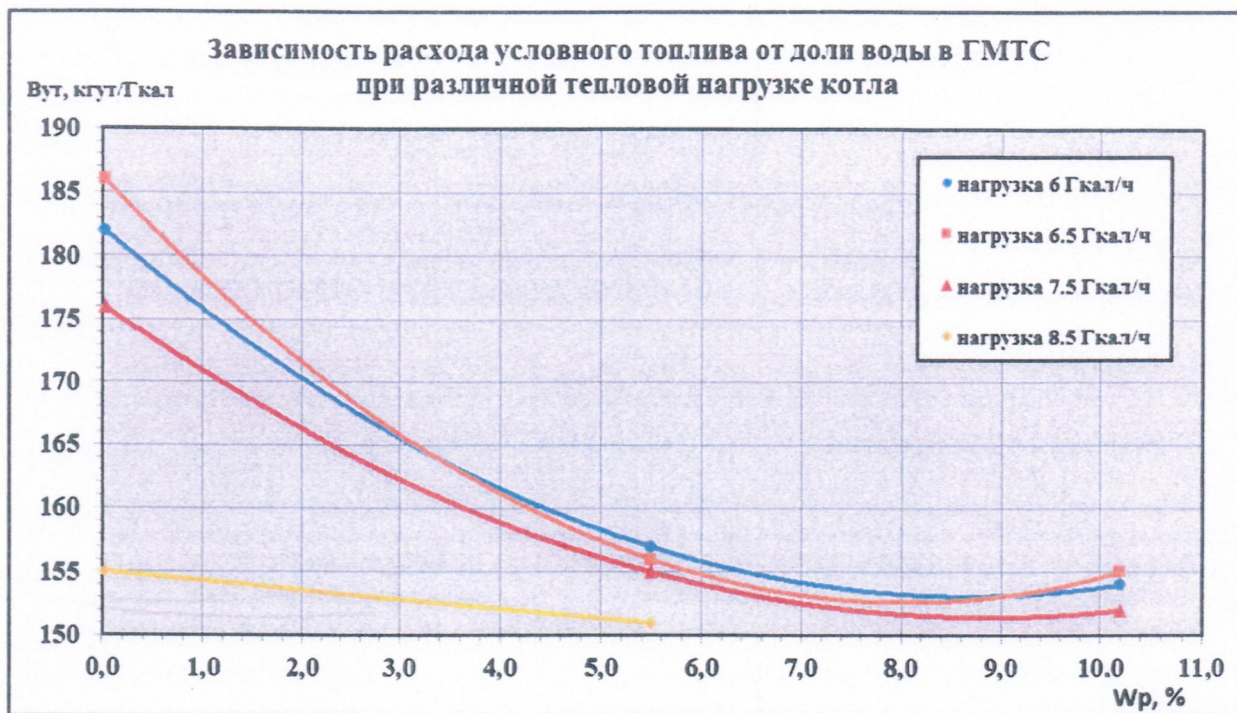


Рис. 7

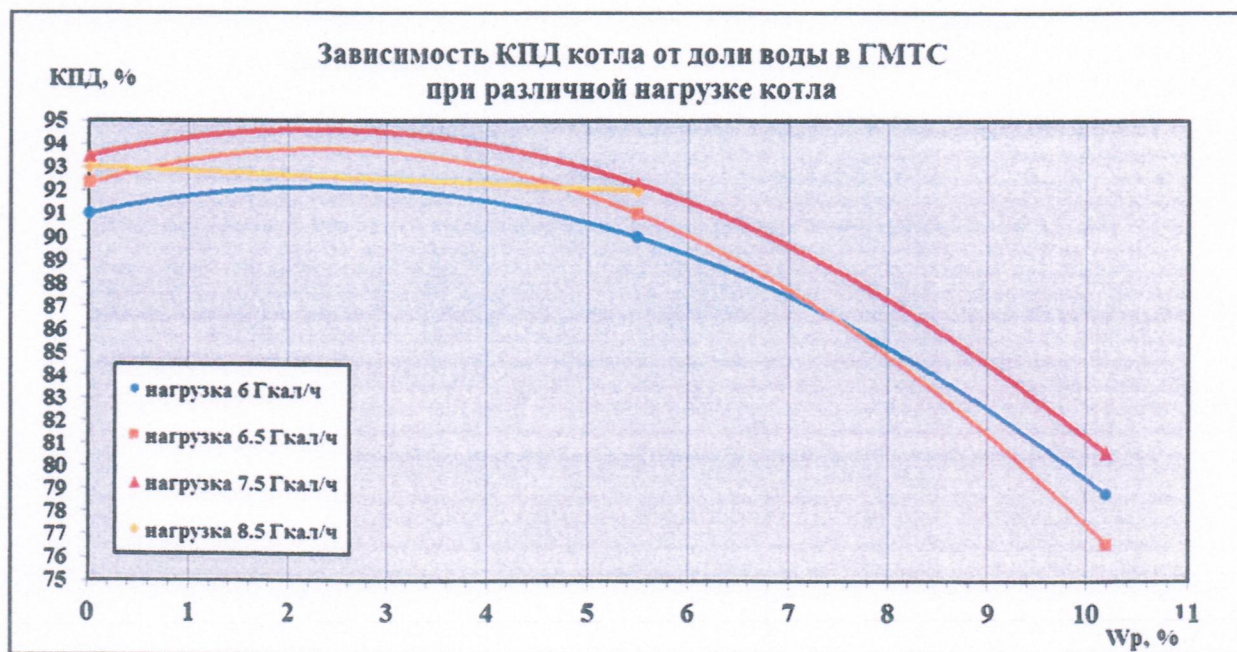


Рис. 8

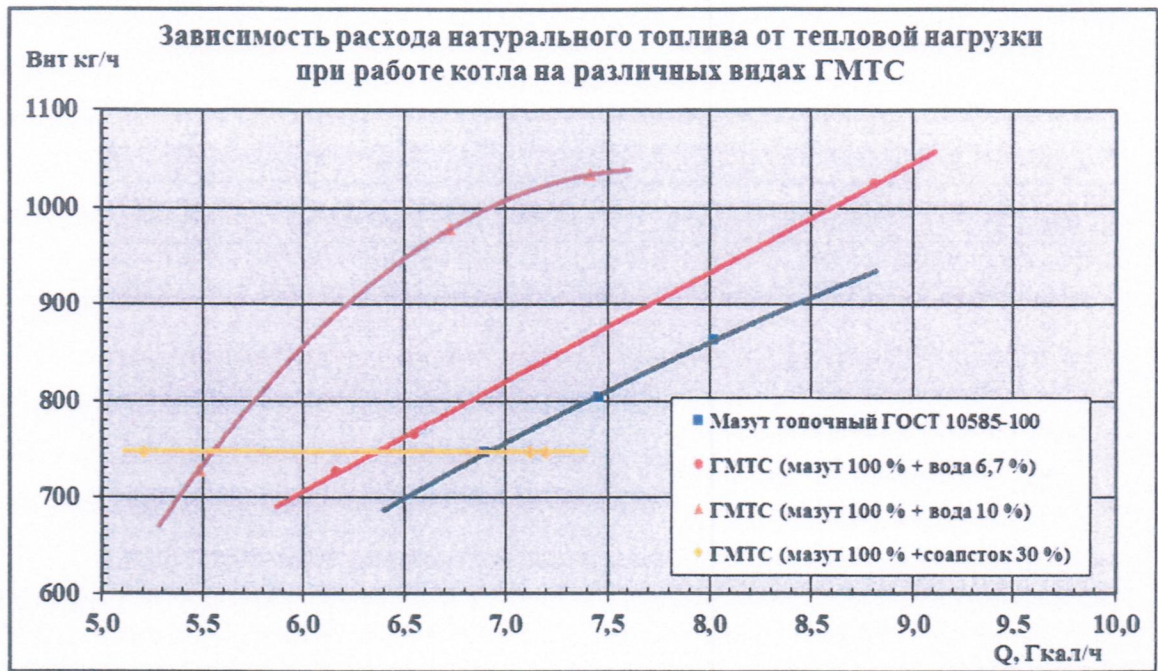


Рис. 9

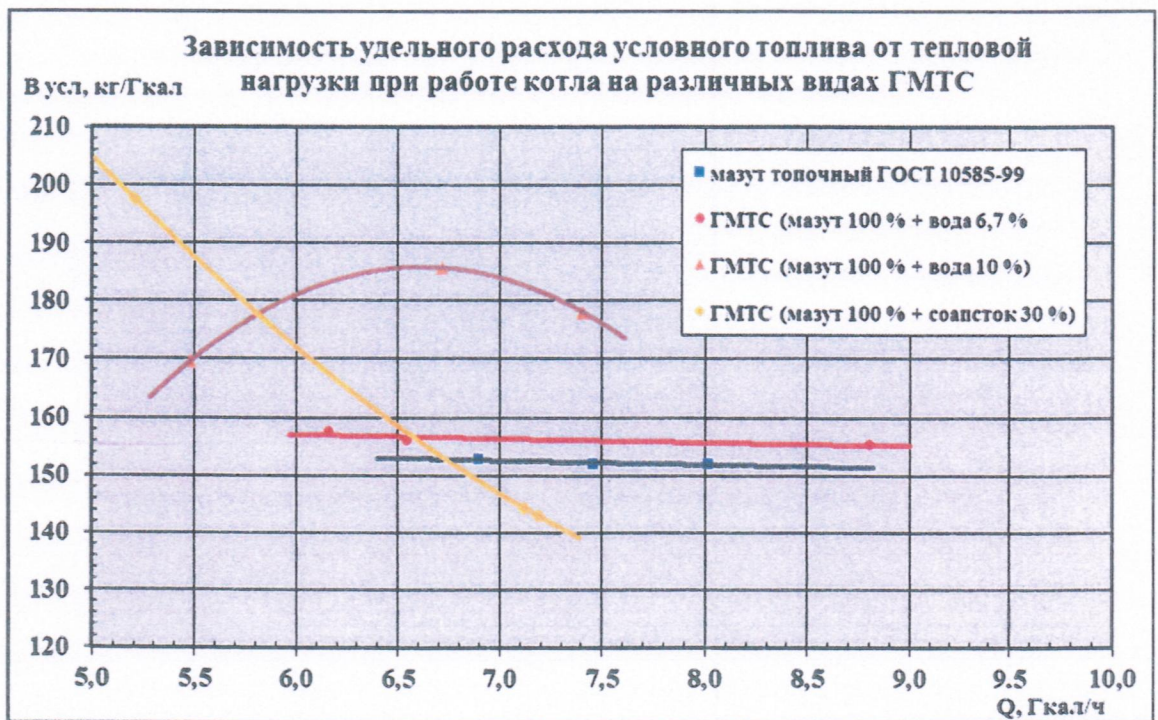


Рис. 10

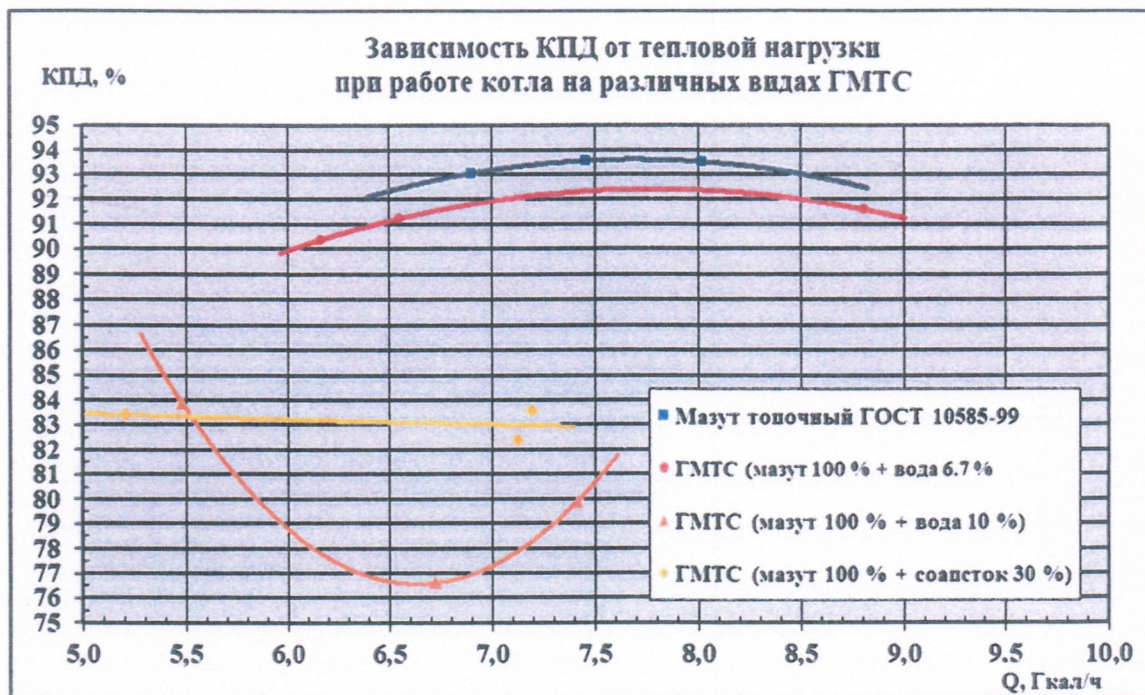


Рис. 11

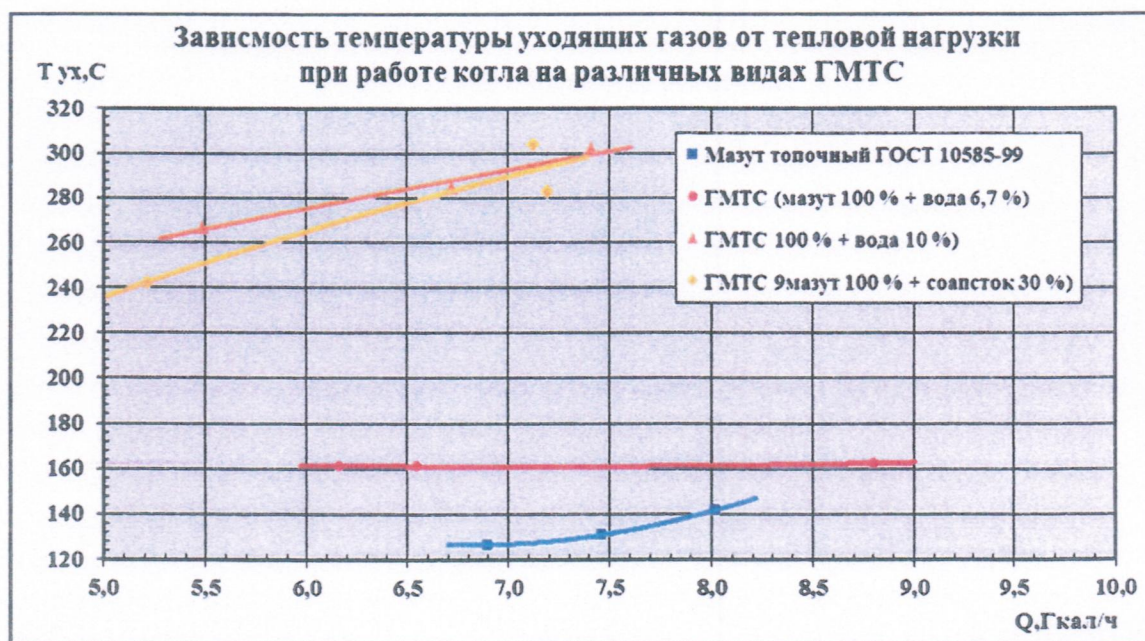


Рис. 12

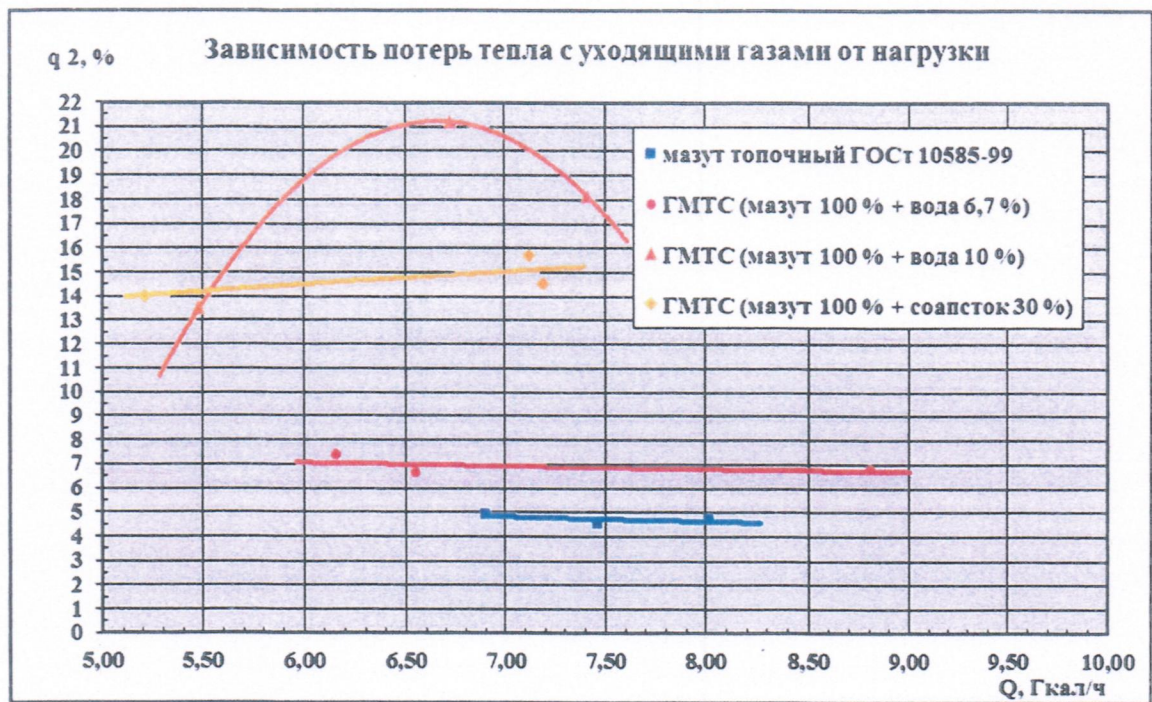


Рис. 13

3. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1. На основе полученных расчетных значений КПД и удельного расхода условного топлива определено, что максимальная энергоэффективность котлоагрегата при использовании водно-мазутной топливной смеси достигается при сравнительном сжигании Гомогенизированной топливной смеси в пропорциях – (мазут 100 % + вода 5 ÷ 7 %)

3.2. Снижение удельного расхода на максимальном режиме при сравнительном сжигании мазута и ГМТС на котле - **Daelim Boiler DLZ-600**:

В натуральном топливе:

- по обратному балансу – 14,2 кг/Гкал
- по прямому балансу – 5,1 кг/Гкал

В условном топливе:

- по обратному балансу – 2,57 кг/Гкал
- по прямому балансу – 9,7 кг/Гкал

3.3. Снижение удельного расхода на максимальном режиме при сравнительном сжигании мазута и ГМТС на котле – **ДЕ 25-14МЦ**:

В натуральном топливе:

- по обратному балансу – 12,9 кг/Гкал
- по прямому балансу – 14,53 кг/Гкал

В условном топливе:

- по обратному балансу – 1,53 кг/Гкал
- по прямому балансу – 28,03 кг/Гкал

Примечание:

- Разницу значений, полученных по обратному и прямому балансу, можно объяснить погрешностью регистрации рабочих параметров на недостаточно длительных периодах

работы котлоагрегатов с остаточными предыдущими нагрузками, а также погрешностью показаний приборов учета при работе котлов на нагрузке, составляющей не более 54 % от паспортного значения.

3.4. Экономический эффект от применения в качестве альтернативного котельного топлива Гомогенизированной мазутно-топливной смеси, приготовленной с использованием продуктов переработки промышленных отходов производства рафинированного растительного масла, включая другие виды жировых отходов, пригодные к применению, зависит от рыночной стоимости данного вида отходов и ориентировочного может составить до 15 % от стоимости исходного топочного мазута ГОСТ 10585-99.

3.5 За весь период испытаний израсходовано мазута с учетом использования всех видов Гомогенизированных мазутно-топливных смесей:

На водотрубном паровом котел **ДЕ 25-14МЦ** – 25 м³

Примечание:

Испытания проводились на основе топочного мазута ГОСТ 1-585-99, предоставленного ОАО «Владморрыбпорт» на условиях обеспечения штатных нагрузок котельной в зимний период отопительного сезона 2017 ÷ 2018 г.

На жаротрубном паровом котле **Daelim Boiler DLZ-600** – 27 м³

Примечание:

В связи с ограничением штатных тепловых нагрузок летний период работы котельной, обусловленных исключительно обеспечением ГВС, испытания проводились с использованием топочного мазута, предоставленного за счет ООО «НПО «Кавитационные системы».

3.6 На всех этапах испытаний котлоагрегаты работали устойчиво, без остановов, связанных с нарушениями эксплуатационных характеристик. По результатам осмотра технического состояния котла до и после завершения испытаний, замечаний не выявлено.

Акт технического осмотра котла **Daelim Boiler DLZ-600**, прилагается.

3.7 При сжигании гомогенизированного (модифицированного) мазута, приготовленного на основе переработки исходного мазута с помощью МУПТС-10 без добавления воды, возникает дополнительный экономический эффект в пределах 1,0 ÷ 1,5 %. Данный эффект можно объяснить уменьшением кинематической вязкости, за счет чего обеспечивается более качественный распыл и наиболее полное сжигание топлива при меньшей температуре разогрева – 85 ÷ 90 °С.

Примечание:

Температура разогрева топочного мазута необходимая для наиболее качественного и полного сжигания, должна соответствовать – не менее 100 ÷ 110 °С.

3.8 При сравнительном сжигании топочного мазута ГОСТ 10585-99 и образцов ГМТС, приготовленных с использованием воды, на всех этапах обеспечивается снижение суммарных оксидов азота (NOx) – до 20 % и оксидов серы (SO₂) – до 23 %.

3.9 Наибольшее снижение вредных выбросов в атмосферу, зафиксировано при сравнительном сжигании Гомогенизированной топливной смеси (ГТС), приготовленной на основе соапстока:

- По содержанию суммарных оксидов азота (NOx) – на 51,6 %
- По содержанию оксида серы (SO₂) – на 67,3 %

3.10 Возможность переработки нефтешлама в виде жидких замазученных отходов котельного производства и приготовление на их основе гомогенизированных топливных смесей, пригодных к сжиганию в качестве котельного топлива, позволяет эффективно решить проблему утилизации данного вида отходов.

3.11 Практически все виды приготовленных образцов Гомогенизированных топливных смесей отвечают эксплуатационным требованиям котлоагрегатов и пригодны к применению в качестве альтернативного котельного топлива.

3.12 Перечень Гомогенизированных топливных смесей, обеспечивающих максимальный экономический эффект и рекомендуемых к использованию в качестве альтернативного котельного топлива:

- ГМТС «мазут 100 % + вода 5 %);
- ГМТС «мазут 100 % + соапсток 30 %);
- ГТС на основе соапстока – 100 %

3.13 Для подтверждения полученных результатов на условиях максимального исключения корреляционных влияний, рекомендуется проведение аналогичных испытаний на более длительных периодах в эксплуатационных режимах с обеспечением тепловых нагрузок котлоагрегатов не менее 70 % от паспортных значений.

3.14 Максимальная температура разогрева топлива, при которой обеспечивается качественное сжигание Гомогенизированной мазутно-топливной смеси по сравнению с топочным мазутом, составляет:

- не > 90°C при использовании водо-мазутной смеси;
- не > более 70°C при использовании ГМТС (мазут 100 % + соапсток 30 %);
- не > 45°C при использовании ГТС-СП (на основе соапстока – 100 %)

Данные характеристики полученных образцов котельного топлива, позволяют значительно уменьшить расходы на собственные нужды котельной и дополнительно оптимизировать себестоимость производства тепловой энергии.

3.15 Внедрение технологии МУПТС-10 в систему топливоподготовки мазутных котельных, может обеспечить ориентировочный экономический эффект в прямой экономии мазута:

- при использовании ГМТС (мазут 100 % + вода 6,5 %) – до 5 %;
- при использовании ГМТС (мазут 100 % + соапсток 30 %) – до 20 %;
- при использовании ГТС-СП (на основе соапстока - 100 %) – до 15 %;

3.16 Технические возможности, заложенные в производственном комплексе МУПТС-10, позволяют использовать данную технологию для переработки застарелых видов мазута, образующихся при длительном хранении и не пригодных к дальнейшему применению по прямому назначению с восстановлением исходных качественных характеристик.

АКТ
проверки технического состояния
поверхностей нагрева парового котла DLZ-600

30 августа 2017 г.

г. Владивосток

Комиссия, в составе:

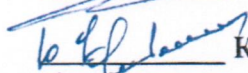
Заместителя главного энергетика ОАО «Владморрыбпорт» Джамалдинова М.Ю.; Главного конструктора ООО «НПО «Кавитационные системы» Кривошеина Ю. А.; Мастера по ремонту котельного оборудования «Владморрыбпорт» Ефименко Б.А. Независимых научных экспертов от кафедры теплотехники и теплоэнергетики Дальневосточного федерального университета Лесных А.В. и Гончаренко Ю.Б., составила Настоящий акт о состоянии поверхностей нагрева парового котла DLZ-600, заводской № _____.

Осмотр проведен в соответствии с требованиями утвержденной Программы производственных испытаний по сравнительному сжиганию товарного мазута и опытных образцов Гомогенизированных топливных смесей (ГМТС) приготовленных с помощью Мобильной установки приготовления топливных смесей (МУПТС-10). Осмотр проводился с фотофиксацией состояния теплообменных жаровых труб и топочного пространства котла до и после проведения испытаний.

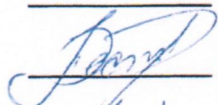
В результате комиссионной проверки установлено:

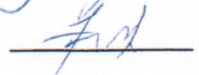
1. Испытания котла по сравнительному сжиганию товарного мазута и различных опытных образцов ГМТС проводились в период с 30.05.2017 г. по 25.08.2017 г.
2. За весь период производственных испытаний было сожжено более 70 тонн опытных образцов ГМТС, включая товарный мазут. Общее количество образцов сожженного экспериментального топлива составило 7, при изменении доли воды от 1,6 % до 15 %.
3. За весь вышеуказанный период котел работал устойчиво, с обеспечением всех нагрузок в соответствие с утвержденным техническим регламентом испытаний.
4. Аварийных остановов и сбоев в работе котла и котельно-вспомогательного оборудования не наблюдалось.
5. После завершения испытаний теплообменные жаровые трубы и топочное пространство котла находится в удовлетворительном техническом состоянии. Весь комплекс котельно-вспомогательного оборудования, включая воздушно-тяговый дымовой тракт, соответствует исходному состоянию, зафиксированному перед началом проведения испытаний.
6. За весь период испытаний, каких-либо факторов, негативно влияющих на работоспособность и общее техническое состояние котла, не обнаружено.
7. Фотографии представлены в приложении к акту.

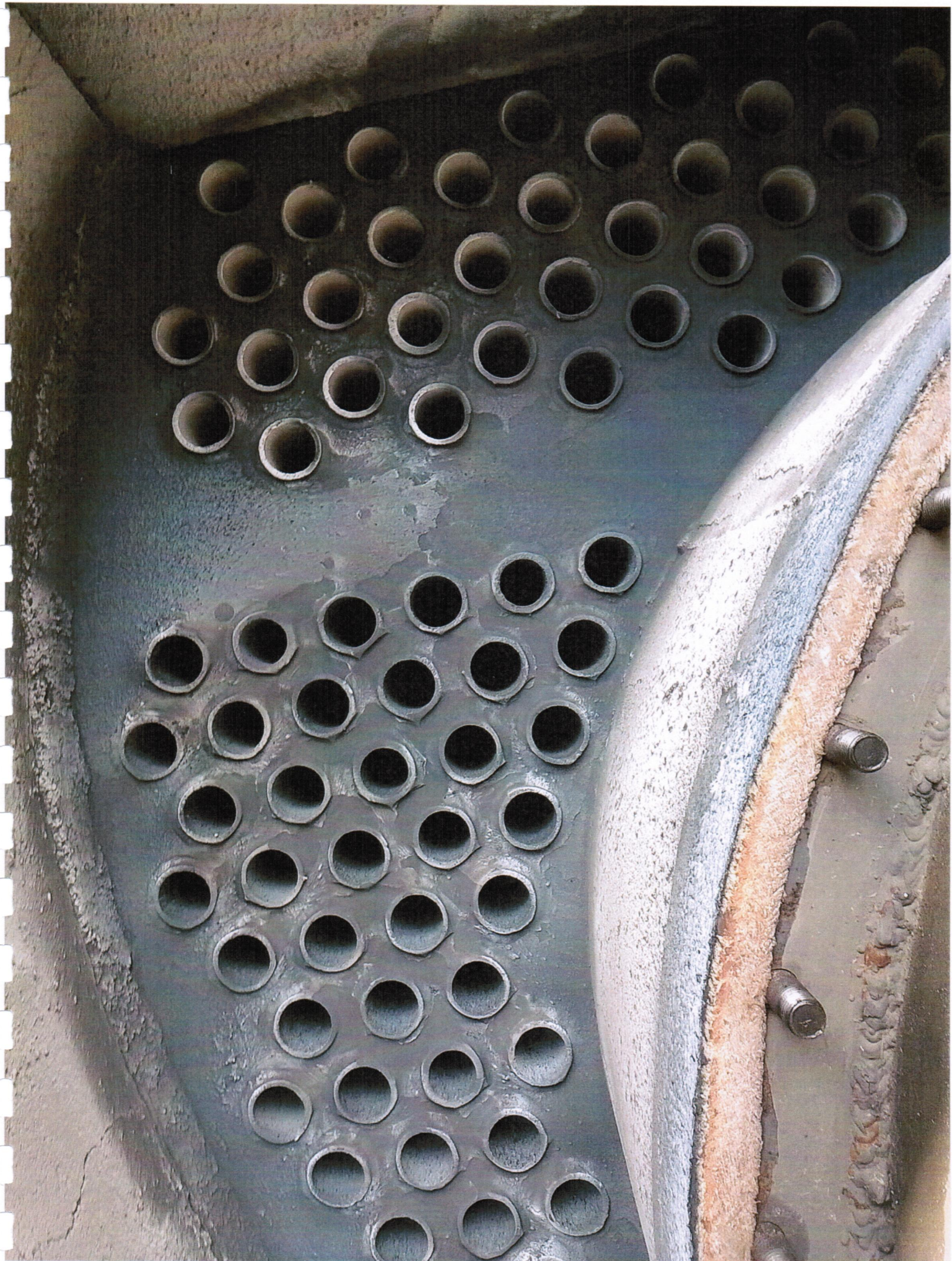

Джамалдинов М.Ю.


Кривошеин Ю.А.

Ефименко Б.А.


Лесных А.В.


Гончаренко Ю.Б.



4. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ ПРИ СЖИГАНИИ ВОДО-МАЗУТНЫХ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ.

Преамбула

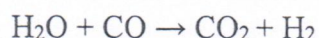
Для приготовления водо-мазутных смесей разработано достаточно много различных технологических устройств, принцип действия которых основан на диспергировании воды, находящейся в мазуте. В исследованиях, посвященных теории горения углеводородов обосновано, что для эффективного сжигания водо-мазутной эмульсии необходима однородная топливная масса по типу "вода в масле", где влага находится внутри топливной сольватной оболочки в виде дисперсных частиц диаметром в несколько микрометров. При соблюдении данных условий с содержанием воды до 20 % от общего объема мазута, обеспечивается надежное воспламенение такой смеси с высокой полнотой сгорания. Вместе с тем, не смотря на достигнутые в этой области многочисленные положительные результаты и теоретические обоснования современной науки, споры на предмет эффективного использования водо-мазутных смесей в качестве альтернативного котельного топлива по сравнению с традиционным мазутом, продолжаются и особую скептическую оценку применения данного вида альтернативного котельного топлива выражают руководители теплоисточников. Причины данной точки зрения могут быть, как субъективные, заключающиеся в технической некомпетентности, так и в коррупционной составляющей, присутствующей в системе ЖКХ РФ при условии, когда мазут является одним из основных топливных ресурсов и закупается на условиях сложившейся монополии и «сохранения» утвержденных финансовых лимитов.

С целью достижения наиболее объективного мнения и на основе достигнутых научно-практических результатов, описанных в Настоящем отчете, предлагается следующее обоснование эффективности использования водо-мазутных смесей в качестве альтернативного котельного топлива.

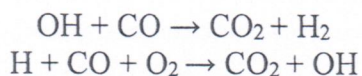
1. Основным эффектом от использования дисперсной воды в топливе, является оптимизация горения, когда в обводненных нефтепродуктах происходят сложные физико-химические процессы, отличительной особенностью которых является наличие в зоне пламени водяных паров, обеспечивающих химические преобразования сгораемого топлива с частичным эффектом диссоциации молекул, так как вода, связанная с мазутом за счет мощного кавитационного воздействия, вводится в топку котла еще до воспламенения горючей смеси.

2. Согласно современной теории горения и описания цепных реакций можно предположить, что наличие в мазуте воды в виде мелкодисперсной связанной фазы, и соответственно – повышенное содержание водяных паров, как в свежей горючей смеси, так и в продуктах сгорания, положительно влияет на процесс горения и, в первую очередь, на скорость распространения пламени.

3. Появление в зоне пламени большого числа активных центров атомарного водорода Н и гидроксида ОН может во много раз ускорить реакции окисления углеводородного топлива в результате развития цепочно-теплого механизма. Ускоряющее действие водяных паров в процессе горения окиси углерода объясняется суммарной реакцией:



В результате данного процесса возникает легковоспламеняющийся водород и последующее его гомогенное окисление приводит к образованию радикалов ОН и атомов Н и О, обуславливающих как развитие цепей основной реакции путем процессов:



их разветвления:



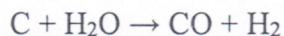


или



4. В результате вышеописанных цепных реакций увеличиваются скорости горения CO, что всегда имеет место в присутствии водяного пара и вода в данном случае не только является инициатором цепей в реакции, но и непосредственно участвует в развитии самих цепей. Внешне, данный эффект выражается в изменении интенсивности свечения факела, с переходом пламени в ядре с ярко - желтого цвета (соломенного) на ярко - белый по аналогу сварочной дуги.

5. При сжигании мазута с содержанием диспергированной воды, уменьшается дымление, которое вызывается дефицитом кислорода в зоне реакции, что соответственно приводит к усилению крекинга топлива и выделению свободного углерода, который имеет способность сгорать по реакции:



6. Данная реакция обеспечивается наличием вблизи крекингующих молекул продуктов сгорания, имеющих в своем составе водяные пары, которых в обводненном углеводородном топливе всегда достаточное количество, т.е. даже без сгорания H_2 в H_2O сгорание C в CO будет обязательным, а затем и CO в CO_2 .

7. Поскольку температура кипения воды ниже температуры кипения мазута, а слой мазута по отношению к заключенной внутри дисперсной микрочастице воды выполняет роль теплоизолятора, частицы воды, связанные в капле мазута, перегреваются и мгновенно вскипают с разрывом на мельчайшие составляющие. Происходящие микровзрывы капель способствуют увеличению площади поверхности испарения топлива, и соответственно – повышению тепломассообмена. Данный эффект способствует интенсификации реакций горения, вследствие чего уменьшается количество сажистых частиц.

8. В результате микровзрывов, происходящих в топке, возникают очаги турбулентных пульсаций и увеличивается число элементарных частиц топлива, благодаря чему факел увеличивается в объеме и более равномерно заполняет топку котла.

Вышеописанные процессы обеспечивают следующую эффективность:

- выравнивание термического поля топки с уменьшением локальных максимальных температур и увеличение средней температуры в топке;
- повышение светимости факела и увеличение поверхности излучения;
- существенное снижение недожога топлива;
- существенное уменьшение выбросов в виде NO_x ; SO_2 и бенз(а)пирена

Уменьшение количества сажистых частиц влечёт за собой снижение выбросов в виде суммарного оксида азота (NO_x), серы (SO_2), а также концентрации бенз(а)пирена, относящегося к канцерогенным полициклическим ароматическим углеводородам. Установлено, что капля эмульсии размером 2 мм и влажностью до 20 % сгорает за 2,8 секунды, в то же время – капля необводненного «сухого» мазута, сгорает за 3,7 секунды. Микровзрывы связанных капель мазута и воды, ускоряют испарение, улучшают смесеобразование и позволяют значительно интенсифицировать процесс сжигания.

Таким образом, применение водо-мазутных топливных смесей меняет традиционное представление о процессах, происходящих в топке котла и позволяет иначе оценить роль влияния воды на процессы горения.

Основная задача в понимании эффективности сжигания водо-мазутных топливных смесей, состоит в том, что диспергированная вода, равномерно распределенная по всему объему топлива, оказывает совершенно другое воздействие на процесс горения, нежели просто вода как однородное вещество в своем нормальном физическом состоянии.

5. АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГМТС, ПРИГОТОВЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ - МУПТС-10

Анализ полученных данных показал, что качество Гомогенизированных мазутно-топливных смесей (ГМТС) в основном определяется качеством исходного мазута. При равной доле воды в топливной смеси, калорийность отличается на $300 \div 400$ ккал/кг (рис.14), в то же время калорийность исходного Мазута в разных партиях отличается в среднем на 100 ккал/кг (рис.15).

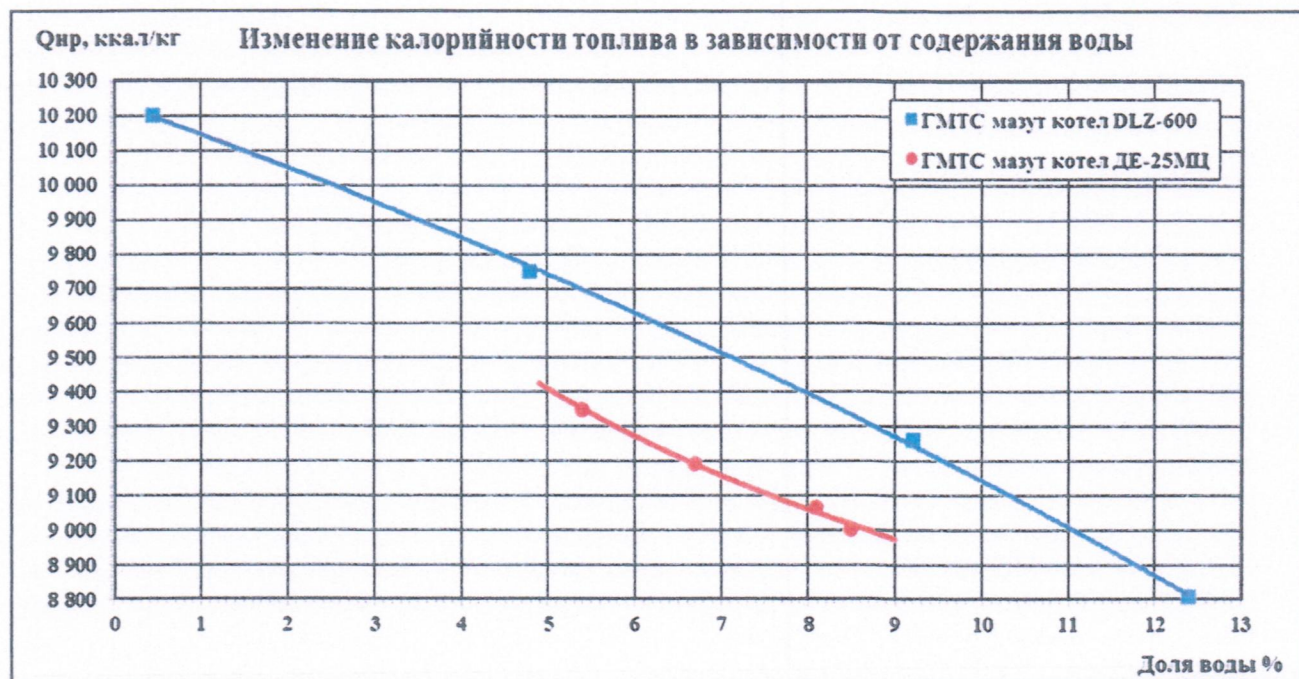


Рис. 14

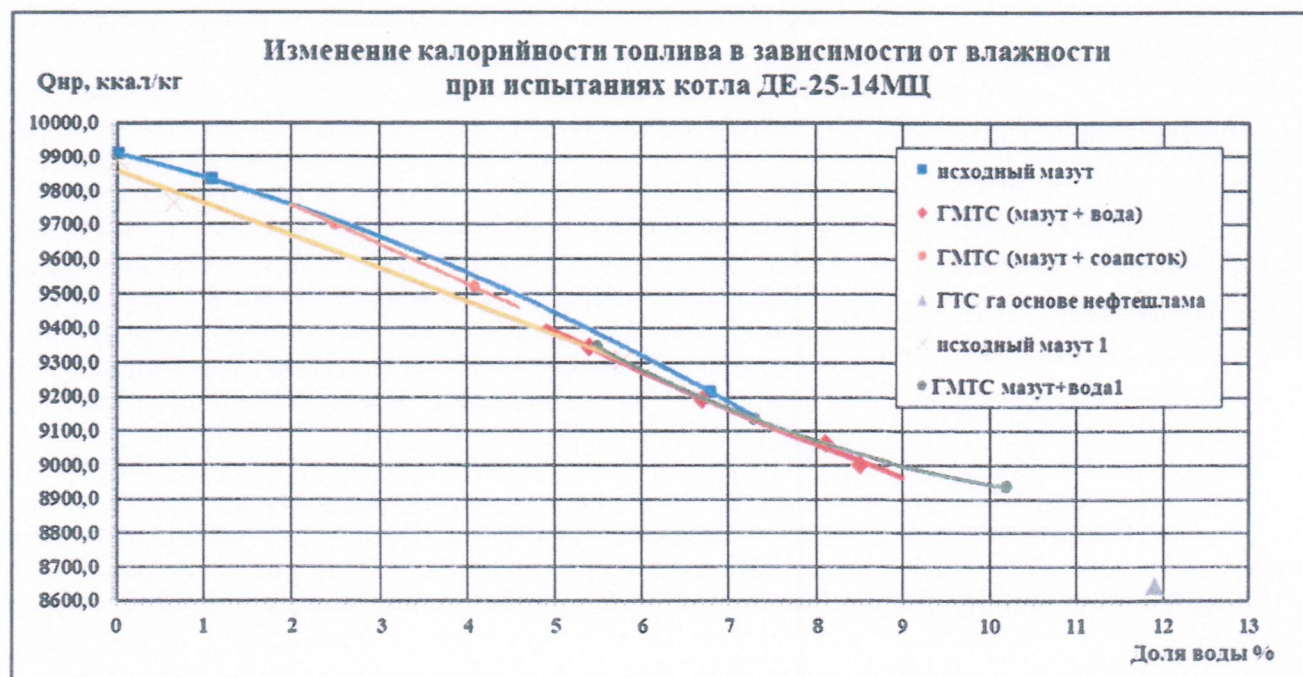


Рис. 15

На рис.16 ÷ 17 представлены изменения плотности исходного Мазута и Гомогенизированных мазутно-топливных смесей в зависимости от температуры и доли воды. Из представленных данных видно, что с ростом температуры на 25 °С (от 60 °С до 85 °С) плотность топлива снижается на 2,5 ÷ 3,0 %, а с увеличением от 85 °С до 95 °С – на 5,6 %.

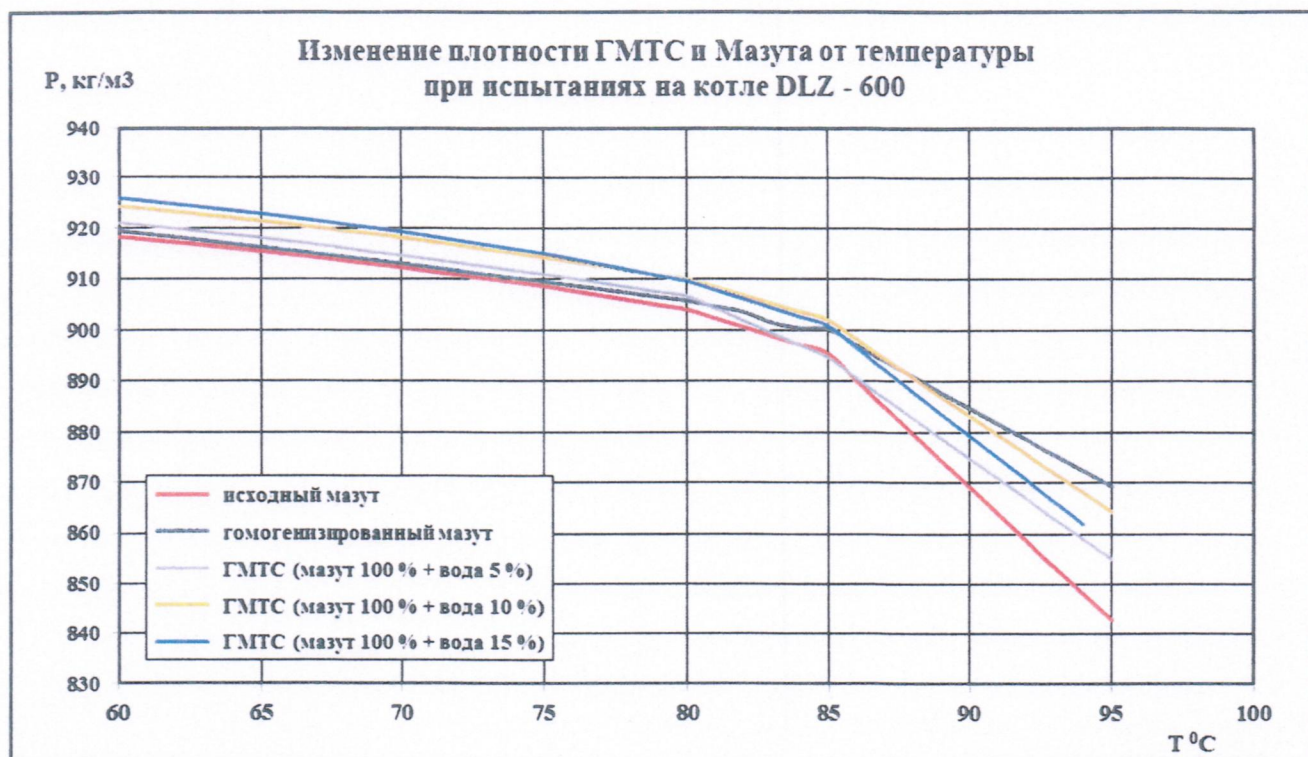


Рис. 16

В качестве подтверждения качества наиболее оптимальных пропорций Гомогенизированной мазутно-топливной смеси по сравнению с исходным Мазутом следует отметить, что минимальное значение плотности топливной смеси находится в диапазоне температур 80 ÷ 95 °С при содержании воды – 5 %, (рис.17).

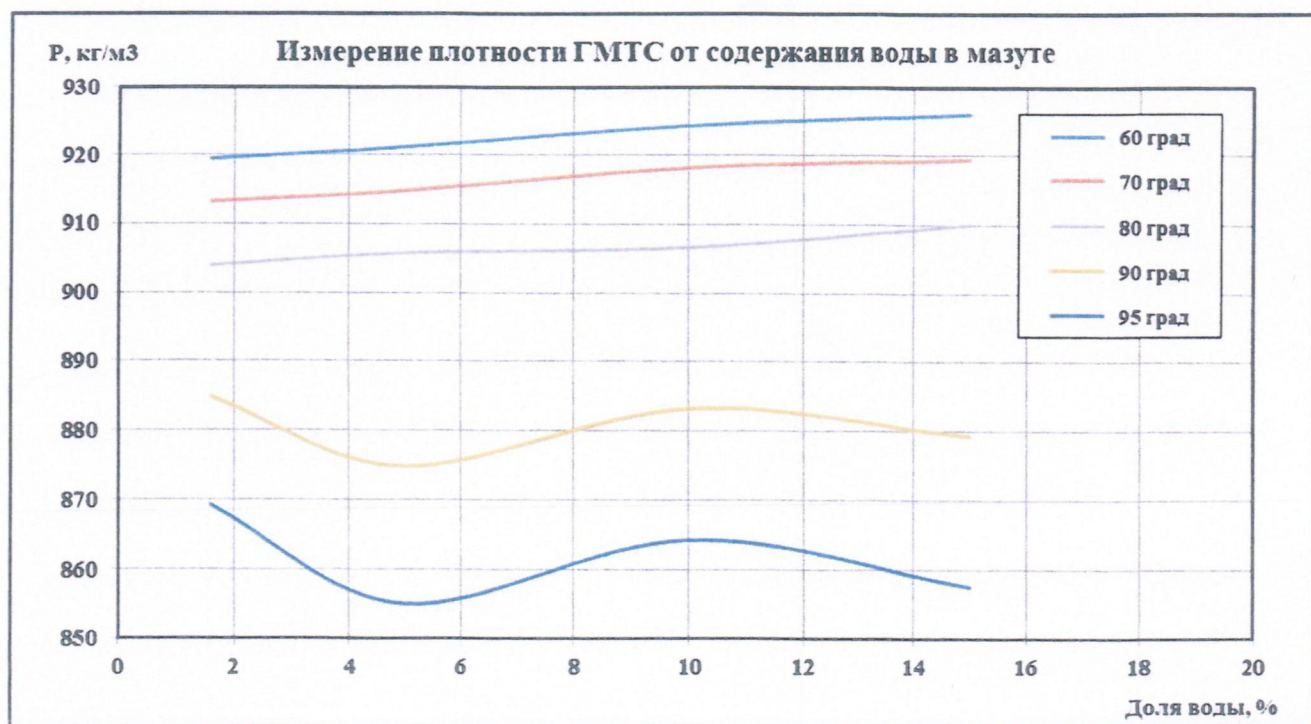
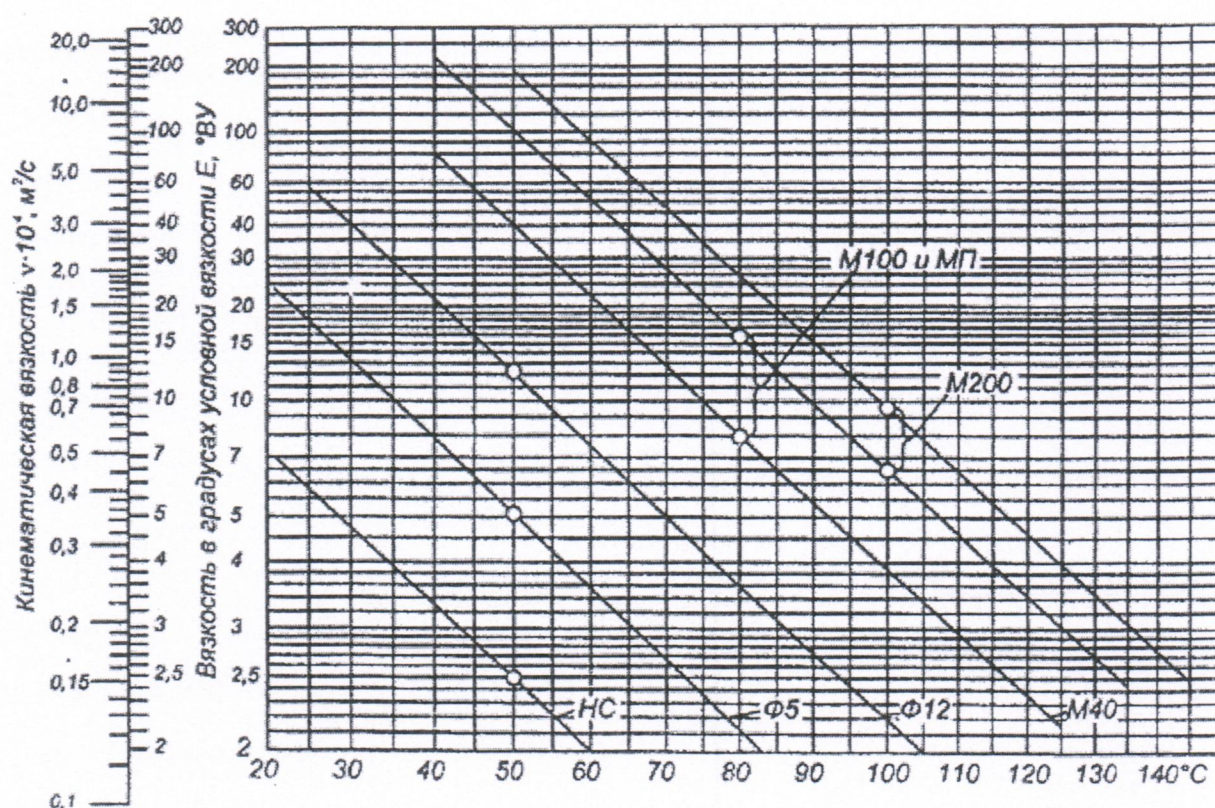


Рис. 17

Примечание:

Вязкость наряду с теплотворной способностью, является основным техническим свойством мазутов и изначально определяется составом нефти, из которой они получены и очень сильно зависит от температуры (рис.18).



Зависимость коэффициентов вязкости мазутов от температуры:
 Ф5 и Ф12 — мазуты флотские; М40, М100, М200 — мазуты топочные;
 МП — топливо для мартеновских печей; НС — нефть стабилизированная

Рис.18

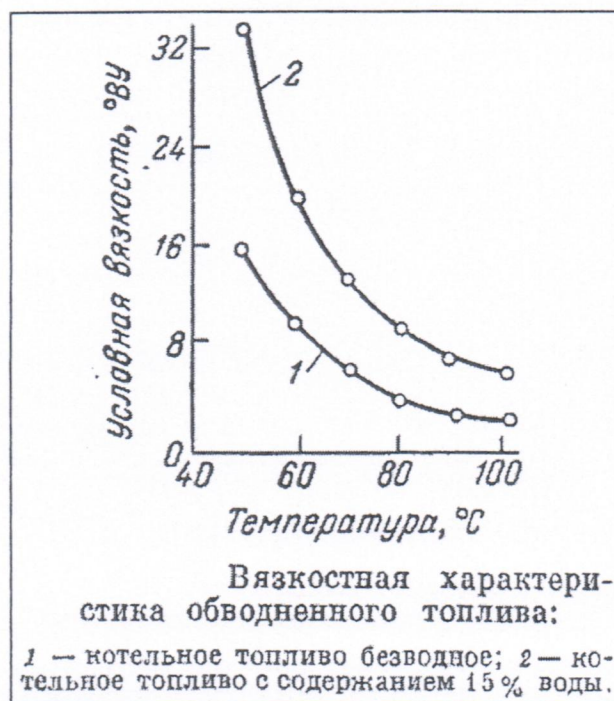


Рис.19

Вязкость мазутов изменяется в зависимости от степени их обводненности. Обводнение мазутов до 2 ÷ 3 % практически не влияет на вязкость. Чем больше содержится воды в мазутах, тем значительно увеличивается их вязкость (рис.19).

Гомогенизация мазута, не зависимо от степени обводненности снижает вязкость на 23÷28% (рис.20), что позволяет сократить затраты на перекачку топлива и уменьшить температуру подогрева топлива при подаче в котел.

Конкретные значения величины снижения вязкости ГМТС в зависимости от температуры подогрева, уточняются непосредственно при приготовлении и сжигании топлива на котлах.

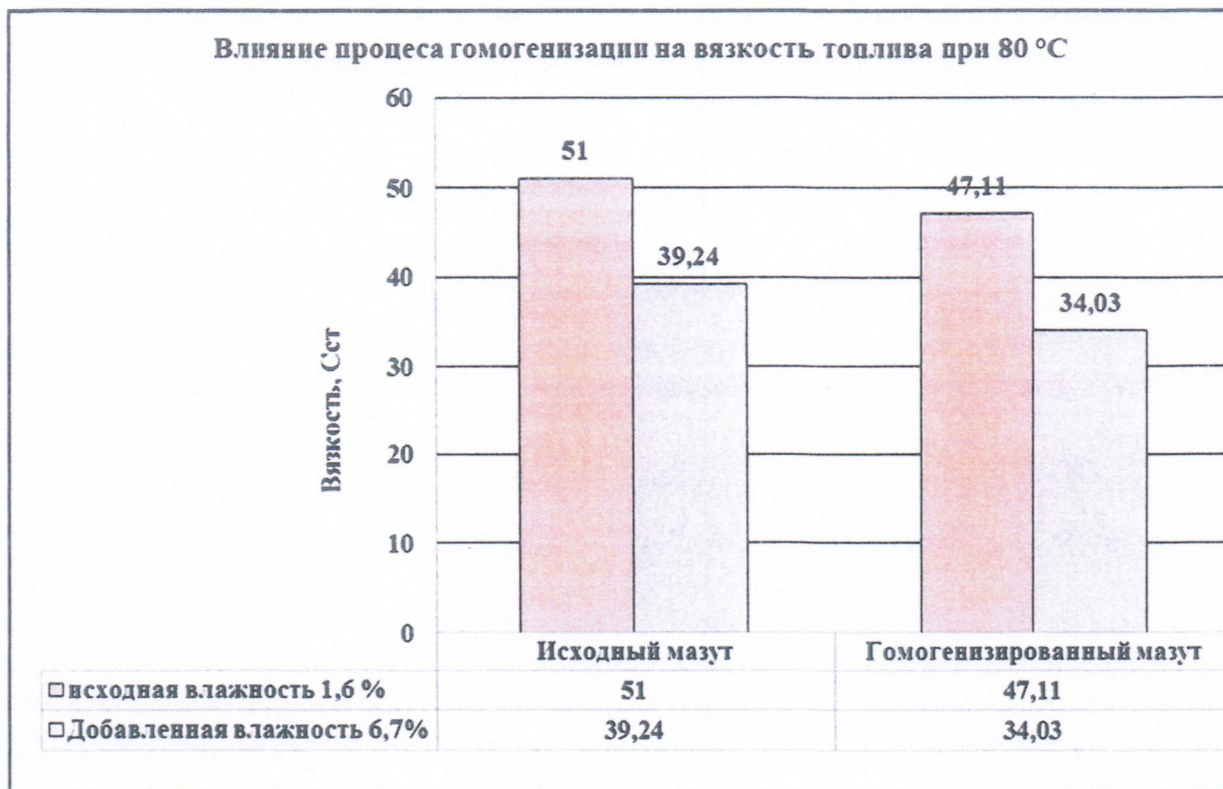


Рис.20

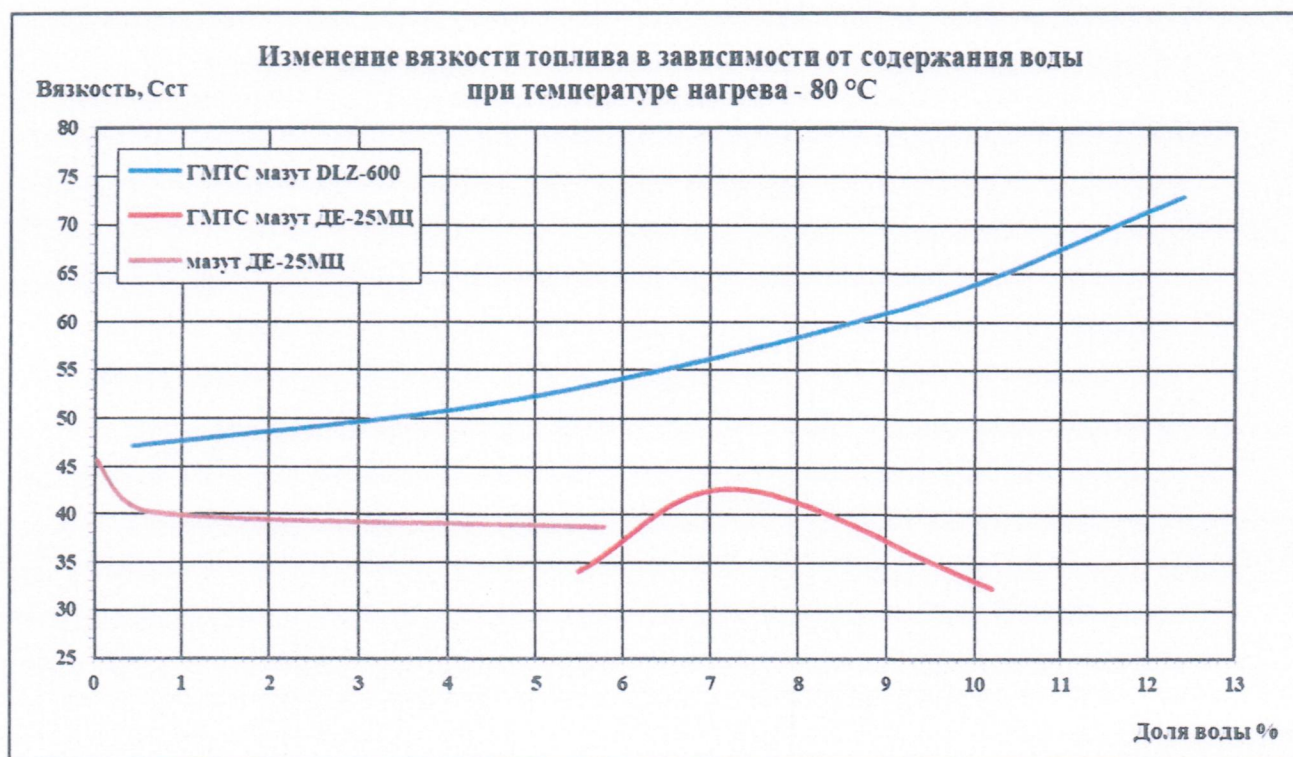


Рис. 21

5.1 АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ФАКЕЛА ПРИ СЖИГАНИИ ИСХОДНОГО МАЗУТА ГОСТ 10585-99 И ГМТС НА ПАРОВОМ КОТЛЕ ДЕ 25-14МЦ

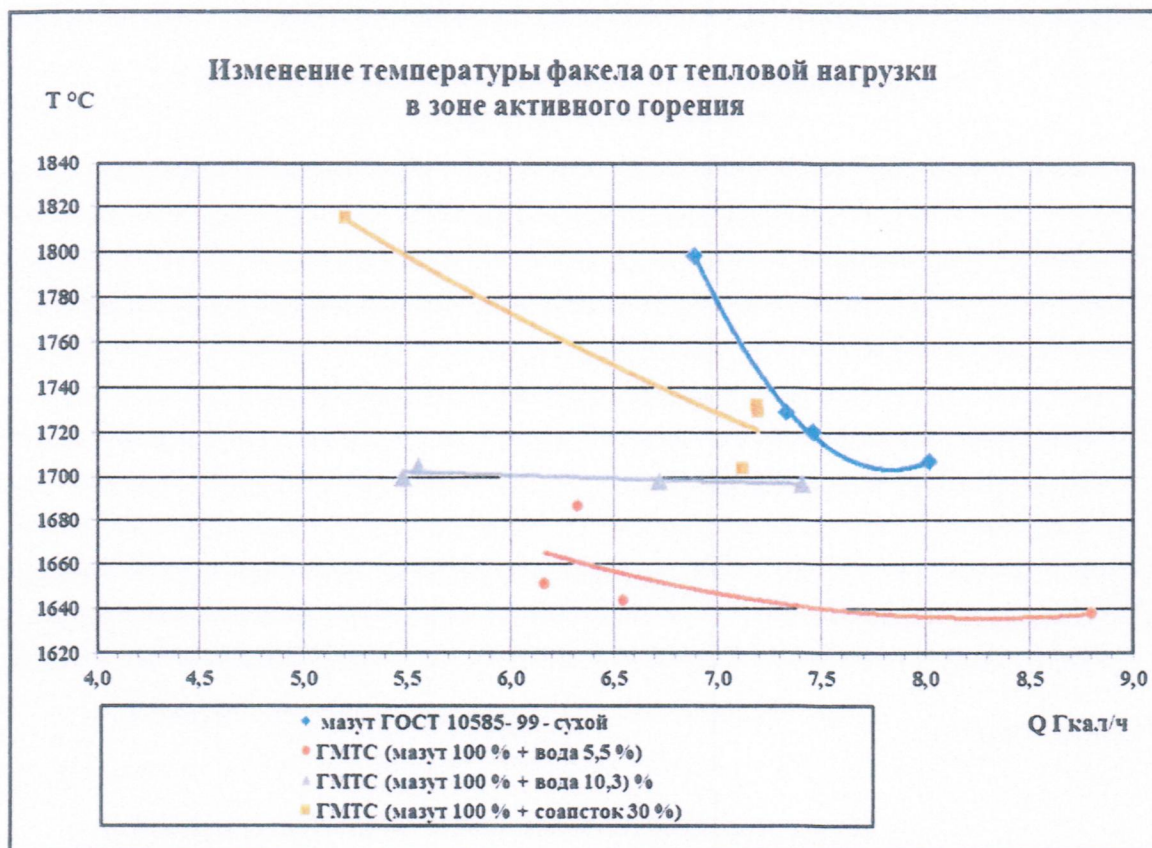


Рис. 22

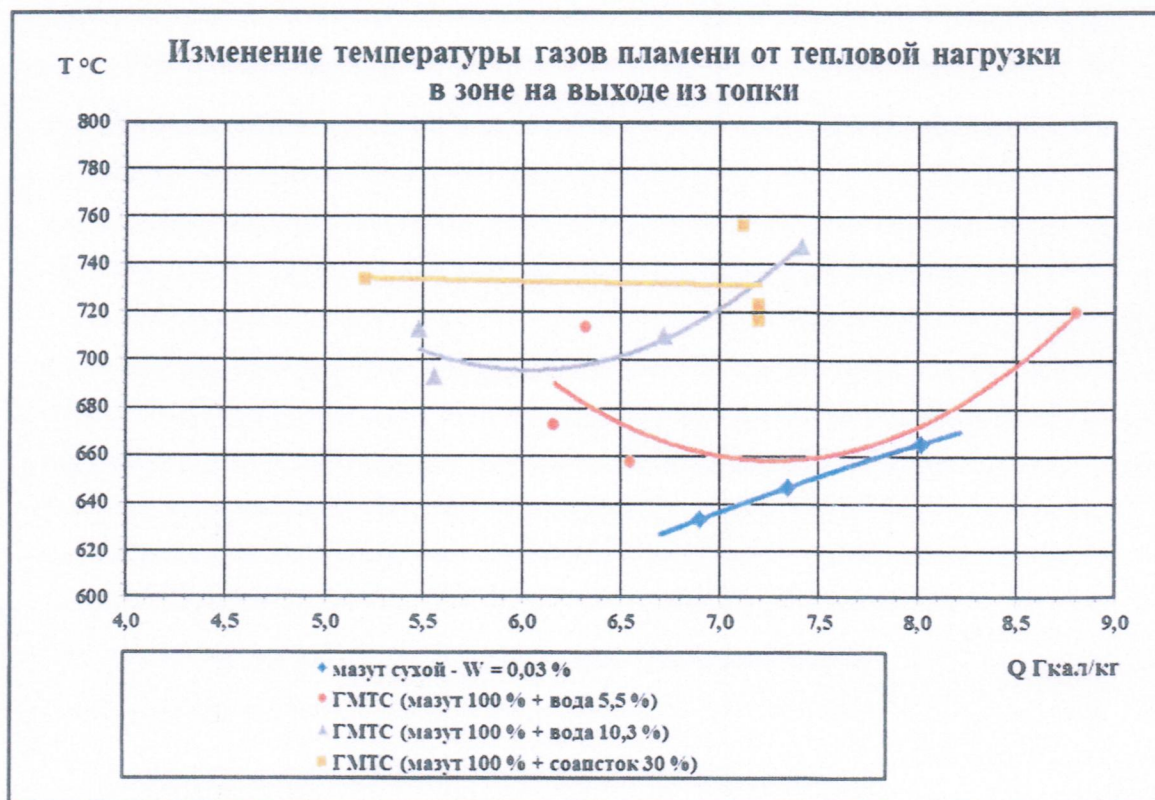


Рис. 23

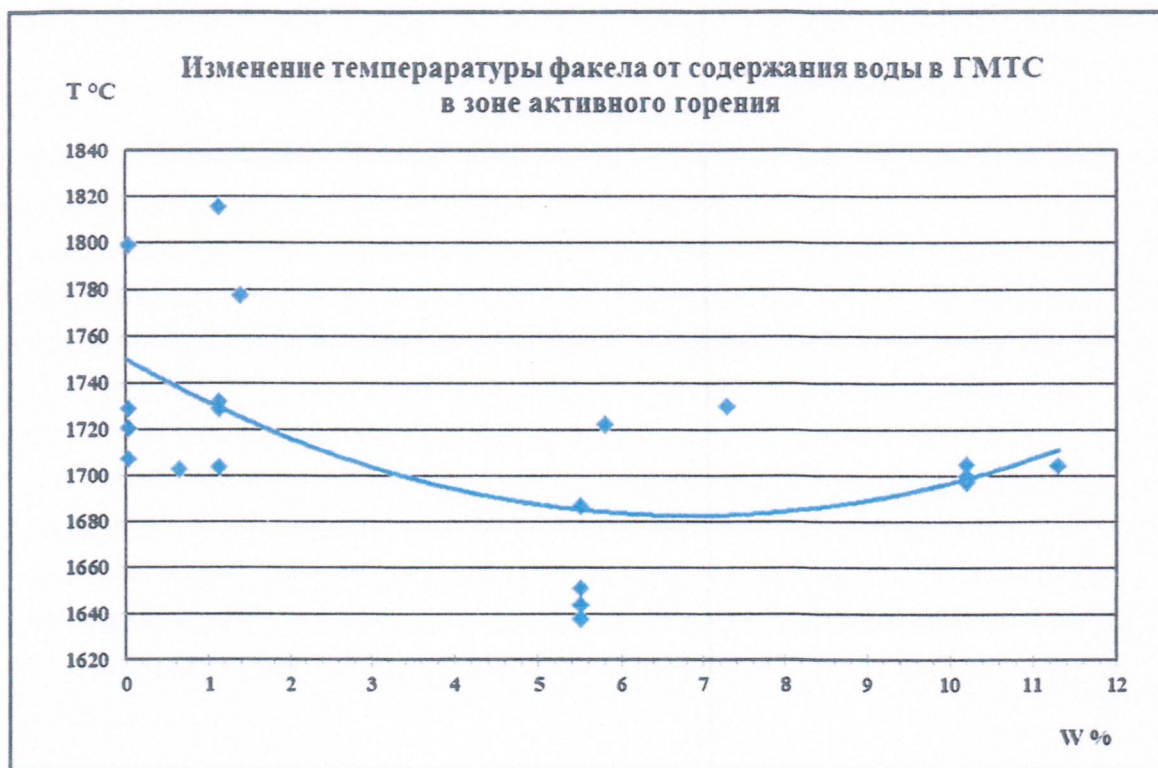


Рис. 24

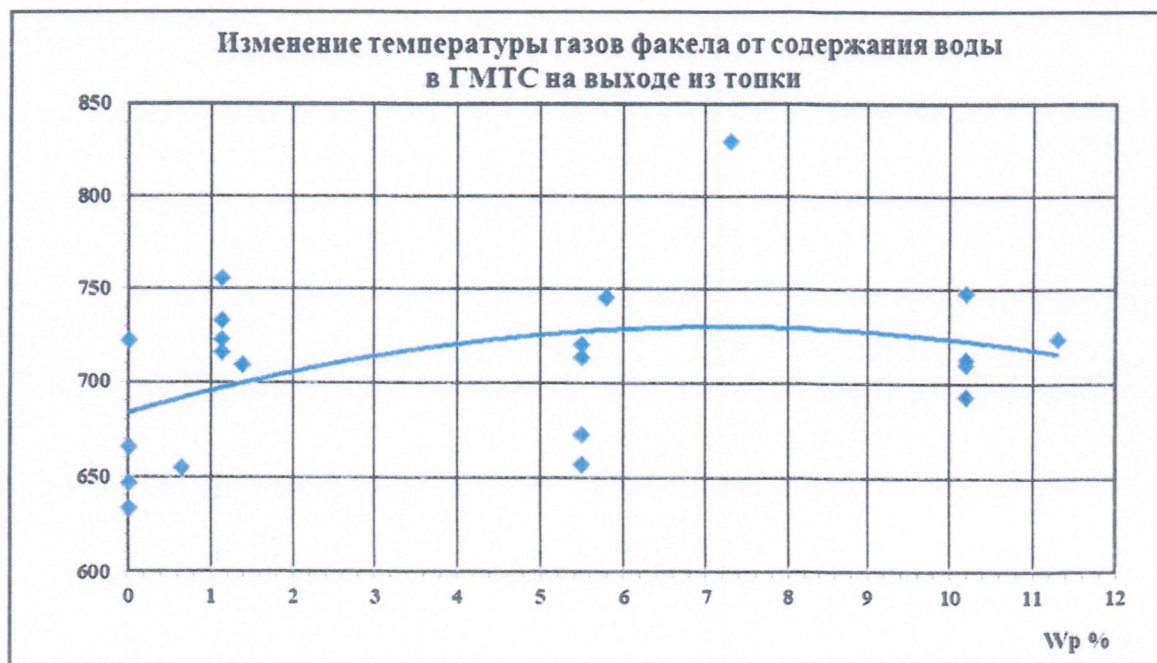


Рис. 25

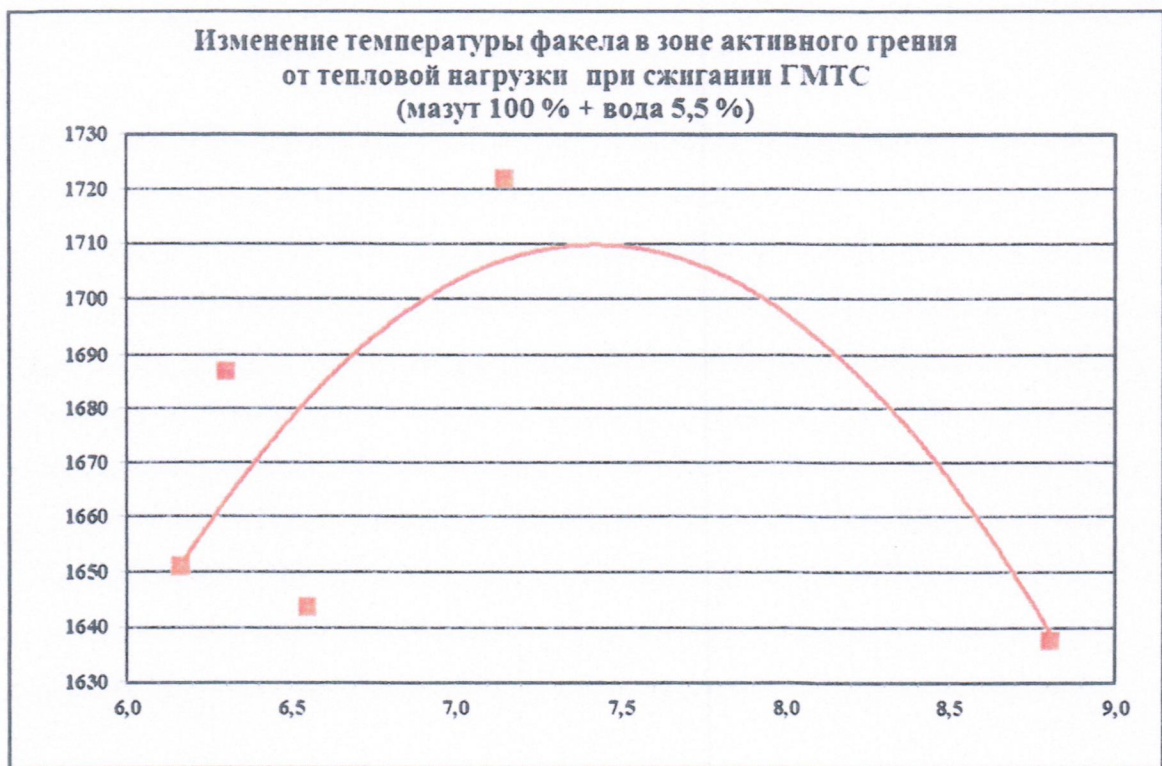


Рис. 26

5.2 АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ФАКЕЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДОВ ТОПЛИВА НА ПАРОВОМ КОТЛЕ ДЕ 25-14МЦ

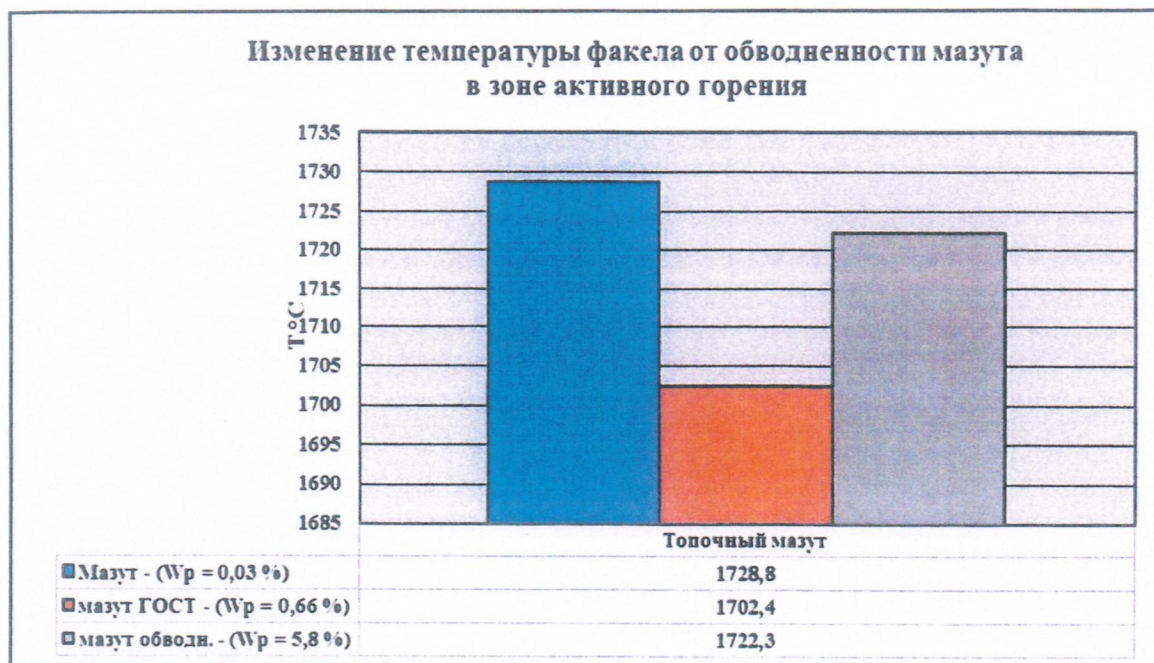


Рис. 27

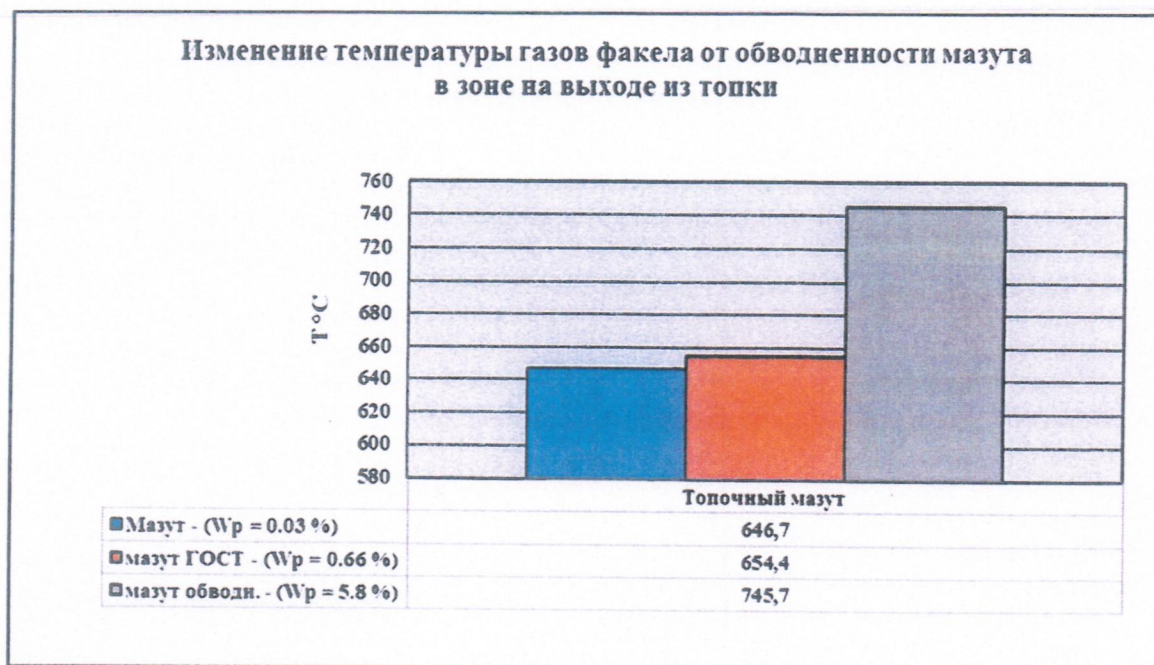


Рис. 28

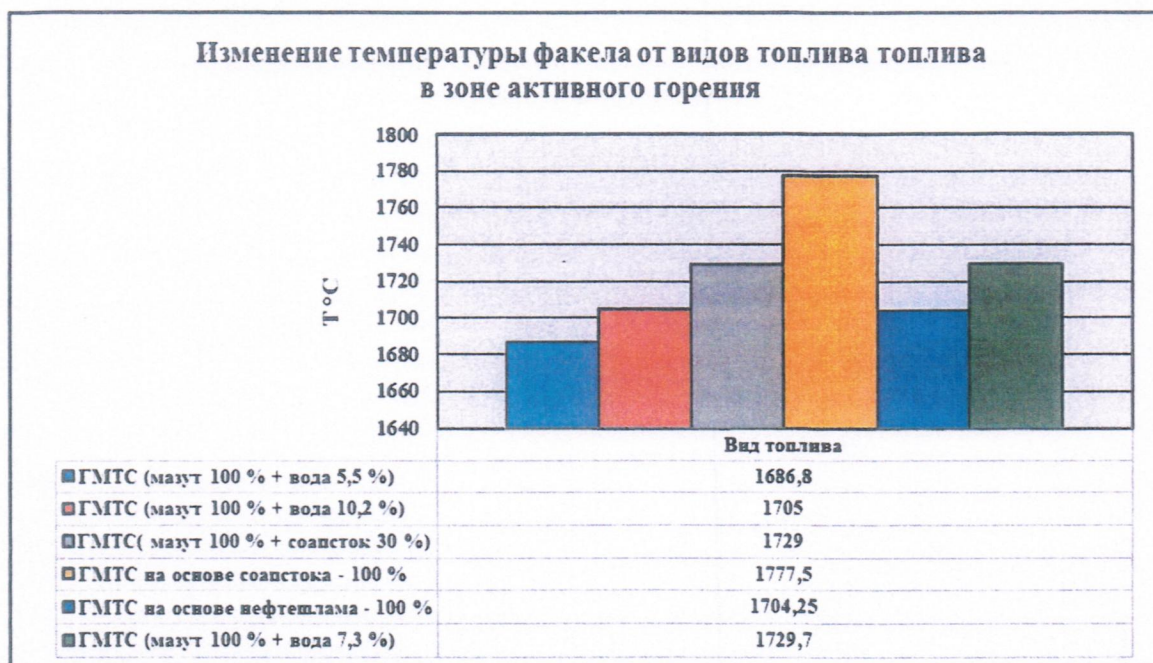


Рис. 31

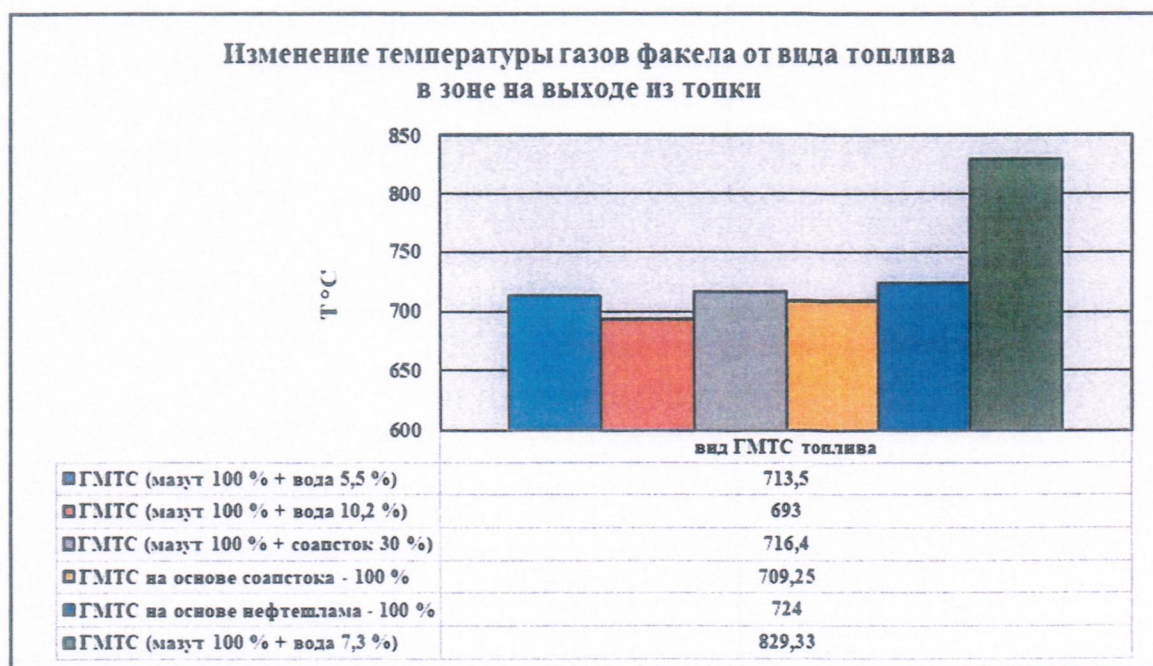


Рис. 32

5.3. ОБОБЩЕНИЕ И ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОДО-МАЗУТНЫХ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ

Гомогенизированная мазутно-топливная смесь (ГМТС) сгорает быстрее и полнее, чем сухой мазут, потому что после распыления за счет первичного диспергирования на форсунке горелочного устройства, каждая капля ГМТС под воздействием температуры в топке котла, подвергается вторичному диспергированию за счет мгновенного вскипания связанных частиц воды и разрывается на множество более мелких капель. Попадая в камеру сгорания, где температура порядка 1200 °С, каждая микрочастица воды в среднем за 1,5 секунды нагревается до кипения и «взрывается», порождая тысячи мельчайших капелек топлива, которые сгорают в среднем за 0,04 с, т.е. практически мгновенно. Капля же сухого мазута сгорает равномерно без взрыва, в течение 5 ÷ 6 сек., из чего следует, что скорость сгорания водо-мазутной смеси увеличивается как минимум в 3 раза. Соответственно котлоагрегату будет передано в 3 раза большее количество теплоты в единицу времени, за счёт чего повышается КПД котлоагрегата и, соответственно, уменьшается удельный расход топлива.

Здесь, правда, следует отметить, что на подогрев воды до точки кипения ($Q_{н.в.}$), на парообразование ($Q_{пар.}$) и, затем, образовавшегося пара до температуры T_k в объёме камеры горения ($Q_{н.п.}$) будет затрачиваться некоторое количество теплоты

$$Q_{доп} = Q_{н.в.} + Q_{пар.} + Q_{н.п.},$$

где:

$$Q_{н.в.} = c_v(T_2 - T_1) = 1,0055(100 - 90) = 10,055 \text{ (ккал/кг)};$$

$C_v = 1,0055 \text{ ккал/(кг} \cdot ^\circ\text{С)}$ – средняя теплоёмкость воды в интервале температур от 90 до 100 °С.

90 °С – температура ГМТС на входе в форсунку;

100 °С – температура кипения воды.

$Q_{пар.} = 549 \text{ ккал/кг}$ – удельная теплота парообразования воды;

$$Q_{н.п.} = C_p(T_3 - T_2) = 0,561 * (1200 - 100) = 617 \text{ ккал/кг};$$

$C_p = 0,561 \text{ ккал/(кг} \cdot ^\circ\text{С)}$ – среднее значение теплоёмкости водяного пара при постоянном давлении 100 кПа (750 мм. рт. ст.) в диапазоне температур 100 ÷ 1200 °С – рассчитано по информации на сайте

$T_3 = 1200 \text{ } ^\circ\text{С}$ – температура в топке котла.

Таким образом, дополнительный расход тепловой энергии на нагревание 1 кг воды, присутствующей в ГМТС

$$Q_{доп.} = 10,055 + 549 + 617 = 1176 \text{ ккал/кг.}$$

Затраты теплоты на нагревание воды, присутствующей в 1 кг ГМТС

Количество теплоты	Соотношение «мазут/вода» в топливной смеси				
	95/5	90/10	85/15	80/20	75/25
$Q_{доп.}, \text{ ккал/кг}$	$1176 * 0,05 = 58,8$	117,6	198,0	235,2	294,0

Теплота от сгорания мазута в топливной смеси

Количество теплоты от сгорания 1 кг мазута, составляет: $Q_{\text{маз}} = 9370$ ккал/кг.

При содержании мазута и воды в пропорциях – (мазут 95 % + вода 5 %), теплота сгорания топливной смеси, составит:

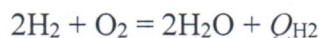
$$Q_{\text{тс}}^{95/5} = (9370 \cdot 95) / 100 = 8901,5 \text{ ккал/кг.}$$

Расчётные данные для других пропорций приведены в следующей таблице.

Количество теплоты, выделяющееся при сгорании 1 кг ГМТС	Соотношение «мазут/вода» в топливной смеси				
	95/5	90/10	85/15	80/20	75/25
$Q_{\text{тс}}$, ккал/кг	8901,5	8433	7964	7496	7027

Теплота от сгорания водорода, присутствующего в воде

В воде всегда присутствуют растворённые газы, в частности, водород и кислород, которые при испарении воды переходят в атмосферу камеры горения. Таким образом, в результате реакцию частичной диссоциации молекул воды, тепловой эффект горения водорода, рассчитывается по формуле:



Тепловой эффект по реакции горения водорода, составляет:

$$Q_{\text{H}_2} = 55300 \text{ кал/моль}$$

Расчётные данные для нескольких значений соотношения «мазут/вода» в ГМТС приведены в следующей таблице.

Количество теплоты, выделяющееся при сгорании водорода на 1 кг ГМТС	Соотношение «мазут/вода» в топливной смеси				
	95/5	90/10	85/15	80/20	75/25
Q_{H_2} , ккал/кг	0,06912	0,13825	0,2073	0,2765	0,3456

Теплота от сгорания недожога мазута в ГМТС

Из вышеприведенных расчётов массы мазута, который переходил бы в коксовый остаток при различных соотношениях добавленной воды следует, что при исключении недожога мазута за счёт интенсификации процесса горения можно получить дополнительное количество теплоты. При пропорциях топливной смеси – (мазут 95 % + вода 5 %), количество теплоты от устранения недожога в виде остатков (кокс/сажа), составит:

$$Q_{\text{нед}}^{95/5} = 2563 \text{ ккал/кг.}$$

На примере ГМТС в составе (мазут 95 % + вода 5 %), при принятии за удельную единицу расчета – 1 кг ГМТС, диссоциация воды (H_2O), рассчитывается из массы – 0,05 кг.

Расчётные данные для других пропорций ГМТС приведены в следующей таблице:

Количество теплоты, выделяющееся при сгорании недожога мазута в 1 кг ГМТС	Соотношение «мазут/вода» в топливной смеси				
	95/5	90/10	85/15	80/20	75/25
$Q_{\text{нед}}$, ккал/кг	2563	2428	2293	2158	2023,9

5.4. РАСЧЁТ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОМОГЕНИЗИРОВАННОЙ ВОДО-МАЗУТНОЙ СМЕСИ – (МАЗУТ 100 % + ВОДА 5 %)

- Количество теплоты от чистого мазута: $Q_{\text{маз}} = 9370$ ккал/кг.
- Количество теплоты от горения мазута в эмульсии: $Q_{\text{маз}}^{95/5} = 8901,5$ ккал/кг.
- Количество теплоты, расходуемое на подогрев воды: $Q_{\text{под.в}}^{95/5} = 58,888$ ккал/кг.
- Количество теплоты от водорода, присутствующего в воде: $Q_{\text{H}_2}^{95/5} = 0,6912$ ккал/кг.
- Количество теплоты от недожога коксовых остатков: $Q_{\text{нед}}^{95/5} = 2563$ ккал/кг.

Общее количество выделенной теплоты от сгорания 1 кг данного вида топливной смеси, составляет:

$$Q_{\text{пол}}^{95/5} = Q_{\text{маз}}^{95/5} - Q_{\text{под.в}}^{95/5} + Q_{\text{H}_2}^{95/5} + Q_{\text{нед}}^{95/5} = 8901,5 - 58,8 + 0,6912 + 2563 = 11405,7 \text{ ккал/кг}$$

**Сравнительная таблица расчётных значений теплоты сгорания
водо-мазутных топливных смесей и «сухого» мазута**

Мазут, $Q_{\text{маз}}$, ккал/кг	Соотношение топливной смеси «мазут – вода» соответственно				
	95/5	90/10	85/15	80/20	75/25
9370	11406	10750	10090	9431	8772

ОРИЕНТИРОВОЧНЫЙ РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Вид котельного топлива: ГМТС – (мазут 100 % + вода 5 %)

1. Стоимость топочного мазута II ÷ III вида по рыночным ценам 2018 г. – 23 000 руб/т.
2. Стоимость технической воды – 17,2 руб/т.
3. Стоимость услуг по приготовлению водо-мазутно топливной смеси – 700 руб/т.
4. Общая стоимость услуг – 1 662 500 руб/год
(2 500 т. – 125 т.) * 700 руб/т = 1 662 500 руб/т.
5. Доход заказчика услуг от аренды и предоставления ресурсов – 720 000 руб/год
6. Объем потребления мазута – 2 500 т/год
7. Общая сумма финансовых затрат на приобретение топочного мазута – 57 500 000 руб.
2 500 т. x 23 000 руб. = 57 500 000 руб.
8. Объем уменьшения потребления мазута – 125 т.
2 500 x 5 % / 100 % = 125 т
9. Уменьшение прямых финансовых затрат на закуп мазута – 2 875 000 руб.
125 т. x 23 000 руб. = 2 875 000 руб.
10. Уменьшение расхода мазута в удельном натуральном топливе – 106,8 т.
(2500 т. – 125 т.) x 4,5 % / 100 % = 106,8 т.
11. Уменьшение прямых денежных затрат за счет экономического эффекта – 2 456 400 руб.
106,8 т. x 23 000 руб. = 2 456 400 руб.

Экономический эффект с учетом аренды рабочей площадки на условиях возмещения затрат по предоставлению ресурсов в виде пара и электроэнергии и без учета снижения затрат котельной на собственные нужды – 4 428 900 руб/в год.

$$(2\,875\,000 \text{ руб.} + 2\,456\,400 \text{ руб.} + 720\,000 \text{ руб.}) - 1\,662\,500 \text{ руб.} = 4\,428\,900 \text{ руб.}$$

ОБОБЩЕНИЕ

Полученные результаты сравнительного сжигания топочного мазута ГОСТ 10585-99 и опытных образцов Гомогенизированных мазутно-топливных смесей на типовых паровых котлах, приготовленных с помощью Мобильной установки приготовления топливных смесей – МУПТС-10, показали следующие технико-экономические возможности технологии:

- возможность эффективного применения альтернативного котельного топлива в виде гомогенизированных мазутно-топливных смесей, приготавливаемых на основе топочного мазута ГОСТ 10585-99 с использованием воды, нефтешламовых отходов котельной, а также жировых отходов производства рафинированного растительного масла в виде СОАПСТОКА.

Применение данных видов альтернативного котельного топлива, позволит достичь повышения следующих эксплуатационных показателей котельных:

- снижение дымности в $2 \div 5$ раз;
- снижение вредных выбросов в зависимости от видов топлива – до 50 %;
- снижение расходов котельного производства на утилизацию мазутных отходов;
- восстановление качественных характеристик застарелых сортов мазута;
- качественная переработка продуктов зачистки мазутных емкостей;
- снижение удельного расхода «сухого» топлива до 10 %;
- увеличение ресурса топливной аппаратуры;
- снижение затрат на собственные нужды котельной до 3 %.

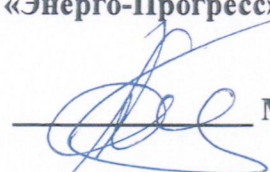
6. ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Ведомости регистрации рабочих параметров котлоагрегатов при проведении испытаний;
2. Протоколы испытаний образцов котельного топлива, используемого при сравнительном сжигании на водотрубном паровом котле – ДЕ 25-14МЦ;
3. Обработка рабочих параметров котла Daelim Boiler DLZ-600 по обратному балансу;
4. Обработка рабочих параметров котла ДЕ 25-14МЦ по обратному балансу;
5. Обработка рабочих параметров котла Daelim Boiler DLZ-600 по прямому балансу;
6. Обработка рабочих параметров котла ДЕ 25-14МЦ по прямому балансу.

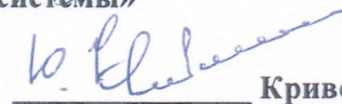
ПОДПИСИ УЧАСТНИКОВ

Независимый научно-технический эксперт ООО НВП «Энерго-Прогресс» ДВ



 Маняхин Ю.И.

Главный конструктор ООО «НПП «Вакуационные системы»

 Кривошеин Ю.А.

Ведущий специалист службы экономической безопасности ОАО «Владморрыбпорт»



 Скалин В.А.