

УДК 662.995:662.61

Долинский А.А., Халатов А.А.,  
Кобзарь С.Г., Назаренко О.А., Мещеряков А.А.

Институт технической теплофизики НАН Украины

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ МАЛОЗАТРАТНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ КОТЛА НИИСТУ-5

Використовуючи пакет прикладних програм Phoenics v 3.6, проведено дослідження інтеграції пальника ГБГМ-0,85НД в топковий простір котла НИИСТУ-5. Результати розрахунків показали, що інтеграція пальника в об'єм котла можлива за умови захисту заднього екрану котла. Виконана серія розрахунків дозволила знайти технічне рішення, яке було реалізовано при маловитратній модернізації котла НИИСТУ-5. При витратах на модернізацію близько 50 тис.грн., строк окупності становить менше одного опалювального сезону.

Используя пакет прикладных программ Phoenics v 3.6, проведено исследование по интеграции горелки ГБГМ-0,85НД в топочное пространство котла НИИСТУ-5. Результаты расчетов показали, что интеграция горелки в объем котла возможна только при условии защиты заднего экрана котла. Выполненная серия расчетов позволила найти техническое решение, которое было реализовано при малозатратной модернизации котла НИИСТУ-5. При затратах на модернизацию около 50 тыс.грн, срок окупаемости составил менее одного отопительного сезона.

The investigation of the gas burner GBGM-0,85ND integration into the NIISTU-5 boiler combustion space based on commercial CFD Phoenics v 3.6 was carried out. The results have shown that burner integration is possible only with the heat protection of the rear baffle plate. The calculations made allowed to identify the engineering decision, of the low-cost reconstruction of NIISTU-5 municipal boiler. The reconstruction costs are about 50000 UAH and pay back period is less than one heating season.

$k$  – кинетическая энергия турбулентности;  
 $s$  – стехиометрическое отношение реакции  
топливо – окислитель;  
 $T$  – температура;  
 $\underline{v}$  – скорость;  
 $Y$  – массовая концентрация;  
 $\varepsilon$  – диссипация кинетической энергии;  
 $\rho$  – плотность;

$B$  – высота;  
 $D$  – длина;  
ЖКХ – жилищно-коммунальное хозяйство;  
 $\Pi$  – ширина.  
**Индексы:**  
 $fuel$  – топливо;  
 $ox$  – окислитель.

Быстрое истощение запасов природного газа и нефти в последние годы способствовало существенному подорожанию энергетических ресурсов во всем мире. Такая отрицательная тенденция привела к серьезным проблемам во всех отраслях Украины, в том числе в жилищно-коммунальном хозяйстве (ЖКХ), которое потребляет до 70% органического топлива в стране, 80% которого – природный газ. Другие проблемы обусловлены значительным износом котельного оборудования. Сегодня в системе ЖКХ Украины нуждаются в срочной замене около 14 тысяч котлов мощностью до 1000 кВт, срок эксплуатации

57% котельных превышает 20 лет. Около 11000 котлов мощностью от 100 до 1000 кВт находятся в эксплуатации более 20 лет, 40% котлов эксплуатируются с коэффициентом полезного действия менее 82%.

Полная модернизация ЖКХ Украины требует огромных средств – более десяти миллиардов гривен. В связи с невозможностью привлечения таких серьезных инвестиций в короткое время концепция модернизации ЖКХ Украины, базирующаяся сегодня на региональных программах, направлена на демонтаж и полную замену устаревших котлов – прежде всего большой мощнос-

ти и малозатратную модернизацию котлов малой и средней мощности, находящихся в удовлетворительном состоянии и способных функционировать еще несколько лет. При этом модернизация котлов направлена на более качественное сжигание топлива, повышение эффективности поверхностей теплообмена, адаптацию котлов к работе на альтернативных, низкокалорийных и местных видах топлива.

Примером широко распространенных котлов малой мощности, которых в Украине эксплуатируется более 35000, является котел НИИСТУ-5, созданный более 40 лет назад, но до сих пор широко используемый в качестве водогрейного котла для систем отопления промышленных и жилых зданий. Котел НИИСТУ-5 с принудительной циркуляцией воды, его теплопроизводительность составляет 0,6 Гкал/час, температура нагрева воды до 115 °С. Хотя паспортное значение КПД котлов составляет 85%, но в действительности большинство из них в настоящее время имеют КПД от 50 до 70%.

В середине 70-х годов прошлого века большинство котлов НИИСТУ-5, которые работали на угле, были переоборудованы для работы на природном газе. Модернизация заключалась в удалении колосников и установки на их место подовых горелок. Однако недостаток стандартных подовых горелок состоит в отсутствии плавного регулирования мощности, они работают при высоких коэффициентах избытка воздуха (1,3...1,5). К достоинствам котла НИИСТУ-5 следует отнести его хорошую ремонтпригодность, замена обмуровки котла и вышедших из строя труб может быть осуществлена на месте силами предприятия.

В Институте технической теплофизики НАН Украины развивается технология малозатратной модернизации котлов НИИСТУ-5, основанная на их оснащении фронтальными блочными горелками ГБГМ-0,85НД производства КМП "Промел" (г.Киев). Выбор блочных горелок ГБГМ-0,85НД для модернизации котлов НИИСТУ-5 не случаен, так как данные горелки имеют ряд преимуществ и отличительных особенностей перед горелками которые выпускаются как в Украине, так и за рубежом. К таким отличительным особенностям можно отнести:

1. Применение электронной системы регулирования соотношения "газ – воздух" с автоматической настройкой частоты вращения двигателя вентилятора в зависимости от подачи природного газа позволяет увеличить точность регулирования соотношения "газ – воздух" при этом производить малотоксичное сжигание природного газа с незначительным выбросом оксидов азота.

2. Применение цифрового измерителя – регулятора тепловой мощности горелки, который использует пропорциональный интегрально – дифференциальный закон (ПИД) автоматического регулирования тепловой мощностью, позволяет с высокой точностью поддерживать выходной параметр теплового агрегата (температуру воды).

3. Настройка горелки при помощи микропроцессорного блока автоматики позволяет быстро скорректировать параметры работы, а также при необходимости изменить алгоритм работы.

4. Запрограммированная последовательность работы блока автоматики на базе микропроцессора обеспечивает чрезвычайно стабильное согласование по времени, независимое от изменений напряжения, температуры окружающей среды и/или циклов включения.

5. Применение регулятора частоты вращения двигателя позволяет:

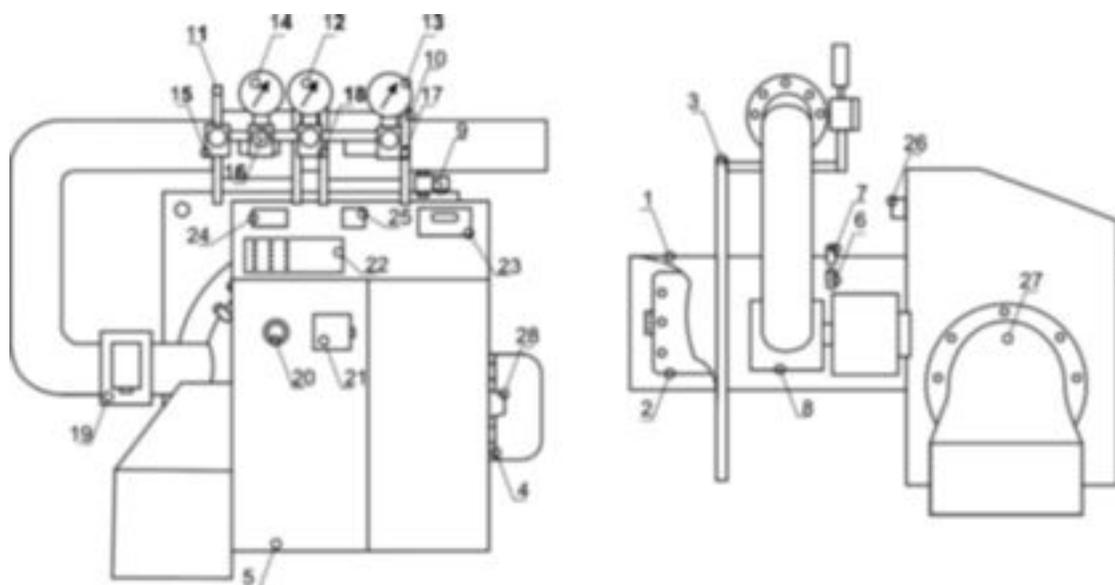
- снизить количество потребляемой электроэнергии,
- снизить уровень шума при работе горелки,
- исключить наличие люфтов в механических конструкциях и соединениях, которые передают момент с одной тяги на другую, благодаря этому при изменении тепловой мощности горелки удастся избежать механического гистерезиса (запаздывания) и неточностей регулирования, которые возникают со временем.

6. Блок автоматики горелки обеспечивает высокий уровень безопасности и автоматизации работы всего теплового агрегата и позволяет эксплуатировать горелку без постоянного обслуживающего персонала, обеспечивая при этом безаварийный останов.

7. Полная заводская готовность горелки к эксплуатации с полной комплектацией КИП и А.

8. Оригинальная компактная конструкция.

Модернизация котла заменой горелки имеет две положительные стороны: во-первых, замена



*Рис. 1. Схематическое изображение горелки ГБГМ – 0,85НД.*

устарелых горелок на новые позволяет решить проблему модернизации без разрушения существующей инфраструктуры котельной; во-вторых, в будущем, при замене котла на новый аналогичной мощности, возможно повторное использование горелки. Параллельно с заменой горелки предлагается оснастить котельные современными приборами учета и автоматизации, что позволяет экономить электроэнергию при эксплуатации основного и вспомогательного оборудования.

Печальный опыт модернизации котла ДЕ-6,5 Бийского завода (Россия) свидетельствует о том, что замена горелок без серьезного инженерного обоснования весьма опасна. При установке стандартной горелки фирмы Weishaupt (Германия) в объем котла ДЕ-6,5 факел оказался слишком длинным, задняя стенка котла быстро прогорала и котел выходил из строя. Фирме Weishaupt пришлось в срочном порядке модернизировать свои горелки и разработать новое смесительное устройство для уменьшения длины факела. Модернизированные горелки, получившие индекс SF, уже лучше интегрировались в топочное пространство котла ДЕ-6,5 и работали удовлетворительно [1], но на это решение было потрачено слишком много времени. Печальный опыт использования иностранных горелок в котлах без предварительного анализа и инженерного обоснования имеется и в регионах Украины.

Предложения ИТТФ НАНУ по рациональному использованию горелки ГБГМ-0,85НД в котле НИИСТУ-5 основаны на использовании методов современной компьютерной технологии [2].

Расчеты проводились с использованием коммерческого пакета прикладных программ PHOENICS-v.3.6, который разработан в Великобритании и широко используется за рубежом при модернизации и проектировании различного энергетического оборудования [3]. Численное моделирование системы уравнений, характеризующих горение природного газа, позволило с высокой точностью определить поля скоростей, температур, концентраций, а также эмиссию окислов азота в окружающее пространство и на этой основе сформулировать обоснованные технические предложения по установке горелки и режимам эксплуатации котла.

### **Газовая горелка ГБГМ – 0,85НД**

Блочная газовая горелка ГБГМ–0,85НД со струйной стабилизацией пламени и плавным регулированием мощности предназначена для сжигания природного газа в топках тепловых агрегатов (рис. 1). Она состоит из огневого, газоподающего и воздушного трактов, механизма регулирования мощности и электрооборудования (системы автоматики).

Огневой узел содержит основную (1) и дежурно-запальную (2) горелки. Основная горелка своим фланцем крепится к патрубку теплового агрегата. Дежурно-запальная горелка смонтирована на поворотной консоли (3). Газоподающий узел состоит из газопроводящих патрубков, отсечного клапана подачи газа на основную горелку (11), отсечного клапана (10), отсечного клапана подачи газа на дежурно-запальную горелку (9), регулирующей газовой заслонки (8), напоромера давления газа (12, 14). Воздушный узел смонтирован на поворотной консоли (3) и состоит из электродвигателя (4), вентиляторного агрегата (5), напоромера давления воздуха (13), воздухозаборного короба (27). В корпусе вентиляторного агрегата встроены датчики контроля пламени (21) и окно (20) для визуального наблюдения за факелом.

Механизм регулирования мощности включает в себя регулятор (24), осуществляющий управление электроприводом МЭП (19) газовой заслонки (8) и регулятор соотношения частотный РСЧ (23). При работе на природном газе мощность горелки определяет расход газа, т.е. открытие газовой заслонки. Необходимый для качественного сжигания газа расход воздуха во всём диапазоне от минимальной нагрузки до максимальной обеспечивается соответствующей частотой вращения электродвигателя вентилятора. Частоту вращения электродвигателя вентилятора при определенном положении газовой заслонки устанавливает регулятор соотношения частотный РСЧ (23) по запрограммированной зависимости в виде кусочно-линейной кривой (кривая соотношения “газ-воздух”). Зависимость расхода воздуха (частота вращения) от положения регулирующей газовой заслонки (расход газа) устанавливается при наладке.

Система автоматики горелки состоит из блока защиты и розжига БЗР (22), автоматического выключателя (25), разъемов для внешних подключений (26), датчиков аварийной защиты горелки (15,16,17,18,21) и исполнительных устройств.

Принцип работы газовой горелки основан на образовании частично подготовленной газовой смеси и стабилизации пламени за счёт поджигания от постоянно работающей дежурно-

запальной горелки. Воздух от вентилятора, поступающий в огневой узел горелки, разделяется на два потока. Основная часть воздуха проходит в кольцевую щель между корпусом и центральным стаканом, куда через отверстия поступает основной поток природного газа. Другая часть воздуха поступает на дежурно-запальную горелку внутри стакана, вытекает через отверстия перфорации диска и отверстия на боковой поверхности стакана, образуя поперечные воздушные струи в потоке основного воздуха или газовой смеси.

Газ на дежурно-запальную горелку подаётся по центральной трубе через отверстия, расположенные между рядами перфорации диска в одной радиальной плоскости с боковыми отверстиями стакана. При поджигании от искры свечи зажигания дежурно-запальная горелка образует устойчивый веерообразный факел с развитой поверхностью, который поджигает основную газоздушную смесь, проходящую между центральным стаканом и внутренней обечайкой корпуса.

**Характеристики потока на срезе горелки.** До расчета термогазодинамики котла НИИСТУ-5 было выполнено математическое моделирование движения потока внутри горелки. Результаты моделирования позволили установить характеристики потока на срезе горелки и использовать их в качестве граничных условий при моделировании термогазодинамических процессов в топке котла. Моделирование движения струи природного газа в открытом пространстве за горелкой ГБГМ – 0,85НД показало, что при 100% нагрузке полное смешение газа и воздуха достигается на расстоянии 0,5 м от ее среза. Таким образом, при моделировании горения природного газа в котле НИИСТУ-5 может быть принято допущение о горении предварительно перемешанной смеси топлива и окислителя.

### **Компьютерная модель котла НИИСТУ-5**

Рассмотрим результаты модернизации котла НИИСТУ-5, расположенного в отопительной котельной № 5 с. Тарасовка Киево-Святошинского района Киевской области. Котельная оборудована шестью котлами НИИСТУ-5 мощностью 0,56 Гкал/час. Котлы стандартной компо-

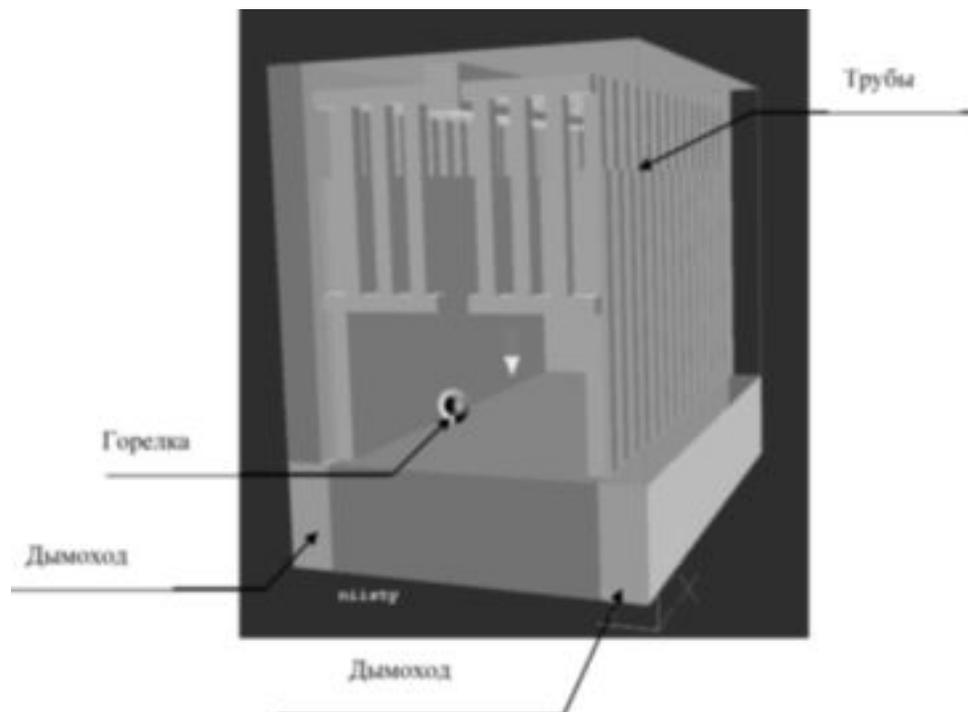


Рис. 2. Компьютерная модель котла НИИСТУ-5.

новки с поверхностью нагрева  $47,5 \text{ м}^2$ , одна половина котлов оборудована подовыми горелками, расположенными в углублении ниже нижних коллекторов котла, а другая – горелками Л1–Н.

До выполнения расчетов были проведены измерения гометрических размеров котла, трубного пучка и других элементов. Размеры расчетной области топki составили  $2,709 \times 1,32 \times 1,8 \text{ м}^3$  (Д x Ш x В). По результатам этих измерений с использованием препроцессора PHOENICS-v.3.6 была построена компьютерная модель котла (рис. 2), при ее построении сечение горелки было заменено кольцевой областью, через которую в расчетную область (объем котла) поступает топливо-воздушная смесь.

### Термогазодинамика котла НИИСТУ-5

При расчетах термогазодинамических параметров котла НИИСТУ-5 коэффициент избытка воздуха брался близким к оптимальному (1,05), а параметры потока на входе в котел задавались на основе результатов компьютерного моделирования горелки. При определении полей скорости, давления, температуры и концентраций в объеме котла использовалась численная процедура ре-

шения уравнений движения (Рейнольдса), неразрывности, энергии и концентраций для топлива, окислителя и продуктов сгорания. Для замыкания уравнений турбулентного движения использовалась стандартная  $k$ - $\epsilon$  модель турбулентности. Радиационный теплообмен моделировался при помощи встроенной в пакет PHOENICS-v.5 модели Immersol [3], степень черноты труб котла принималась равной 0,80, а их температура –  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ . Моделирование горения природного газа осуществлялось при помощи встроенной в пакет модели горения SCRS, согласно которой горение природного топлива записывается на основе стехиометрического баланса масс:

$$1 \text{ кг топлива} + r \text{ кг окислителя} \Rightarrow (1 + r) \text{ кг продуктов сгорания}$$

При таком подходе принимается, что реакция между топливом и кислородом идет до конца и все компоненты превращаются в продукты сгорания.

Для нахождения средней скорости горения использовалась Модель Разрушения Вихрей [4, 5], которая предполагает, что горение лимитируется

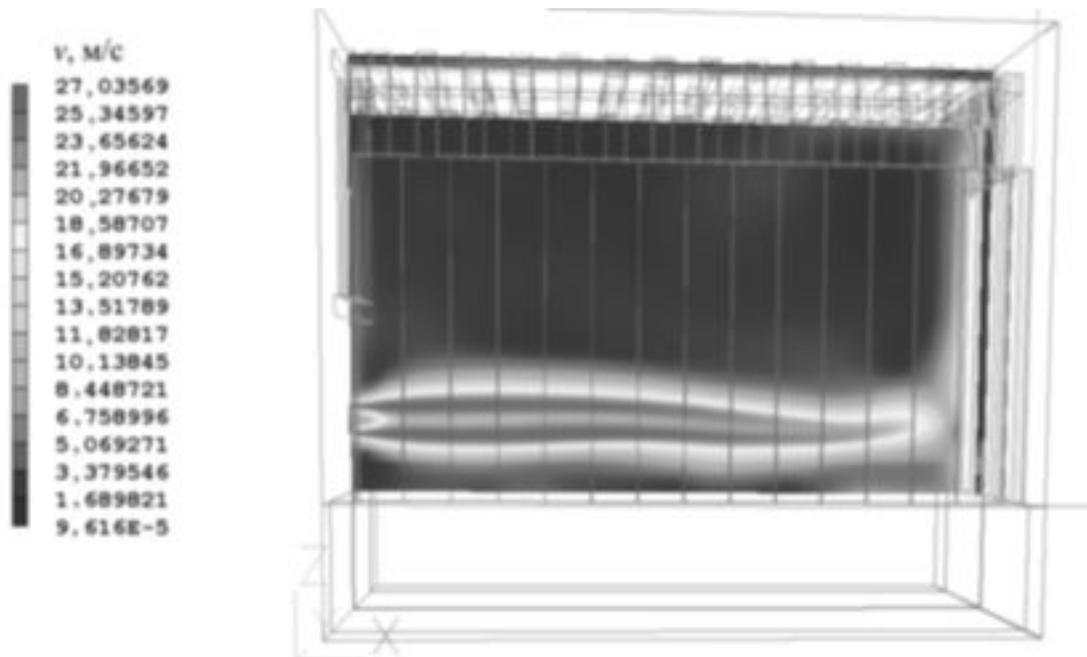


Рис. 3. Распределение скорости продуктов сгорания вдоль оси горелки в вертикальной плоскости (100%).

смешением, а средняя скорость реакции определяется выражением:

$$\bar{m}_k = C_{EBU} \frac{\varepsilon}{k} \rho \min \left\{ \bar{Y}_{fuel}, \frac{\bar{Y}_{ox}}{s} \right\},$$

где  $C_{EBU}$  — константа модели.

Предварительные расчеты интеграции горелки в огневое пространство котла показали, что наиболее целесообразно установить горелку на вертикальной оси котла в сечении, находящемся в середине между подом котла и низом переднего экрана. При этом полость для установки подовых горелок необходимо заложить для образования непрерывного ровного пода.

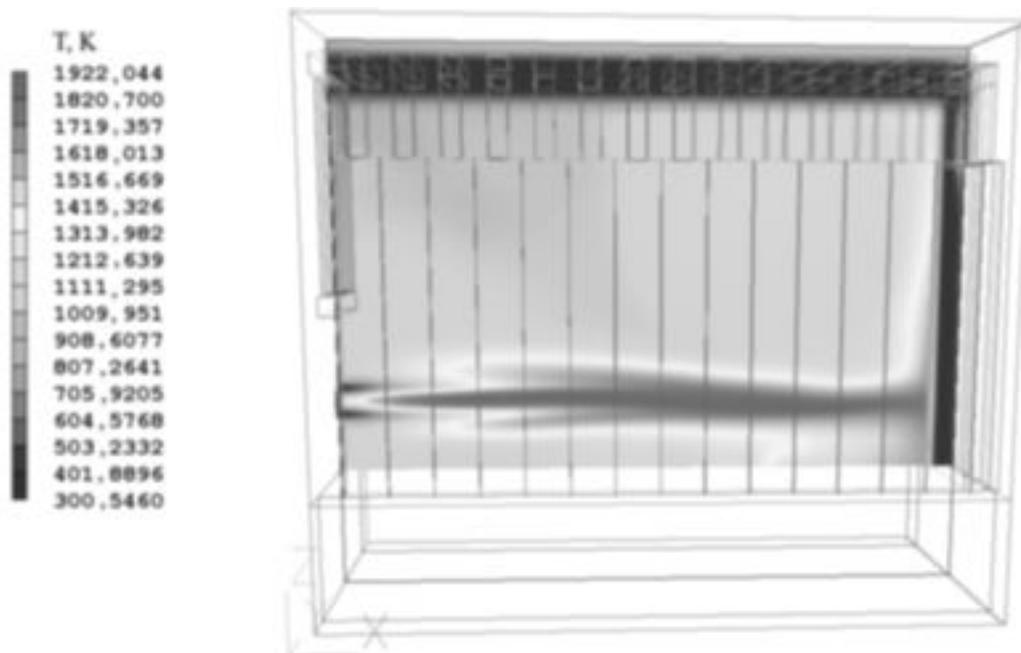
**Полная мощность горелки 850 кВт (100%).** На данном режиме расход газа составлял 0,0174 кг/с, а расход воздуха — 0,315 кг/с. Распределение скорости и температуры продуктов сгорания вдоль оси горелки в вертикальной плоскости показано на рис. 3 и 4. Из этих данных следует, что факел горения достаточно узкий, а его форма несимметрична по угловой координате. При этих условиях поток горячих продуктов с высокой скоростью ударяется о задний экран котла и частично разворачивается в обратном направлении. Основная масса горячих продуктов сгорания поднимается вверх вдоль зад-

него экрана, а затем, частично огибая боковые экраны, попадает в боковые дымоходы. Распределение концентрации природного газа в горизонтальной плоскости приводится на рис. 5. Как следует из рис. 5, выгорание топлива происходит достаточно быстро, причем длина факела составляет около 1,7 м при горизонтальной длине котла 2,709 м.

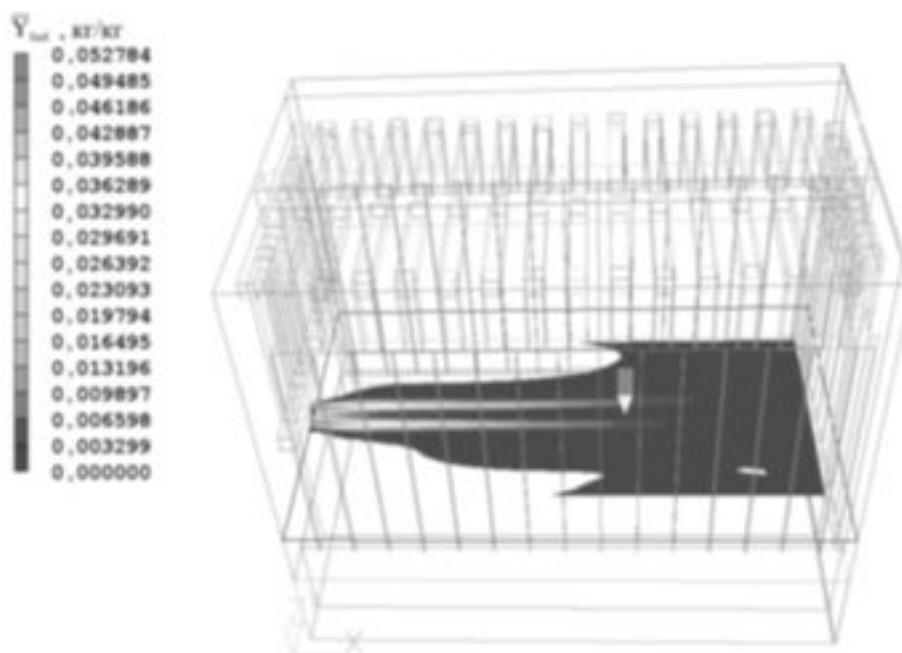
Данные компьютерного моделирования свидетельствуют о том, что задний экран котла НИ-ИСТУ-5 находится в термически “тяжелых” условиях, температура продуктов сгорания здесь максимальна и значительно превышает температуру плавления материала трубного пучка. Таким образом, работа горелки на режиме полной мощности (100%) может привести к быстрому прогару заднего экрана и выходу котла из строя.

**Частичная мощность горелки (50%).** Снижение мощности горелки моделировалось уменьшением расходов природного газа и воздуха через горелку. При данном режиме расход газа составлял 0,0087 кг/с, а расход воздуха — 0,1575 кг/с. Коэффициент избытка воздуха сохранялся таким же и равнялся 1,05. Результаты выполненных расчетов представлены на рис. 6–8.

Результаты расчета показывают, что длина факела уменьшилась примерно до 1,0 м. За счет снижения скорости на выходе из горелки горя-



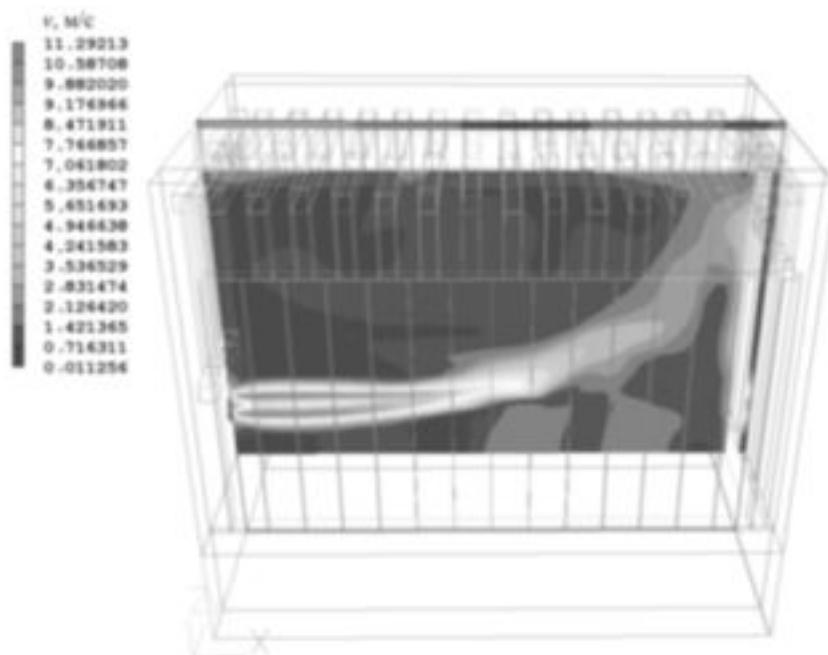
*Рис. 4. Распределение температуры потока вдоль оси горелки в вертикальной плоскости (100%).*



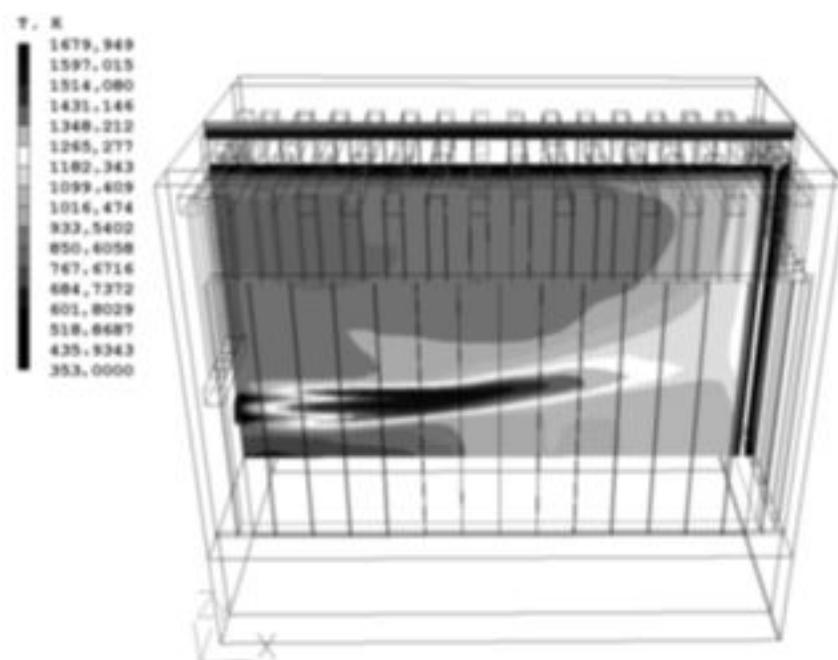
*Рис. 5. Концентрация топлива в горизонтальной плоскости (100%), длина факела по маркеру 1,7 м.*

чий поток под действием гравитационных сил на расстоянии 1,4 м от среза горелки начинает “всплывать”, двигаясь в верхнюю часть заднего экрана. Основная термическая нагрузка горячих продуктов сгорания ( $T = 1250 \text{ K}$ ) приходится на верхнюю центральную часть заднего экрана в

промежутке от 0,5 м до 1,0 м по высоте экрана от пода котла. Таким образом, данный сегмент экрана будет работать в условиях повышенной тепловой нагрузки, что приведет к локальному вскипанию котловой воды, накоплению отложений и выходу из строя части заднего экрана.



*Рис. 6. Распределение скорости продуктов сгорания вдоль оси горелки в вертикальной плоскости (50%).*



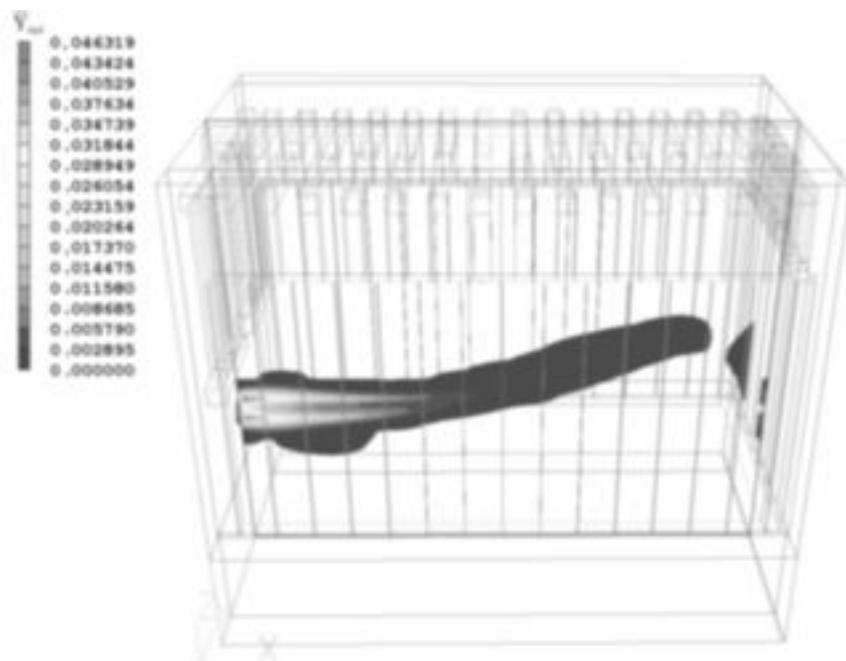
*Рис. 7. Распределение температуры продуктов сгорания вдоль оси горелки в вертикальной плоскости (50%).*

Таким образом, режим работы котла на 50% максимальной мощности горелки также не удовлетворяет условиям надежной эксплуатации котла.

**Частичная мощность горелки (20%).** На данном режиме расход газа составлял 0,00348 кг/с, а расход воздуха — 0,063 кг/с (коэффициент избыт-

ка воздуха 1,05). Результаты выполненных расчетов представлены на рис. 9 и 10.

Анализ этих результатов показывает, что факел уже не является дальнобойным, а вблизи задней стенки его скорость близка к нулевому значению. Длина факела составляет только 0,9 м, а об-



**Рис. 8. Концентрация топлива в вертикальной плоскости (50%), длина факела – 1,0 м.**

ласть высоких температур локализуется в узкой области длиной 1,9 м. Факел под действием гравитационных сил “всплывает” к верхней стенке котла, в этой же области происходит полное выгорание топлива. Хотя в этом случае поверхности нагрева работают в термически приемлемых условиях, мощность котла будет явно недостаточной.

Приведенный выше анализ работы горелки ГБГМ–0,85НД, интегрированной в котел НИИСТУ-5, позволяет сделать следующие основные выводы:

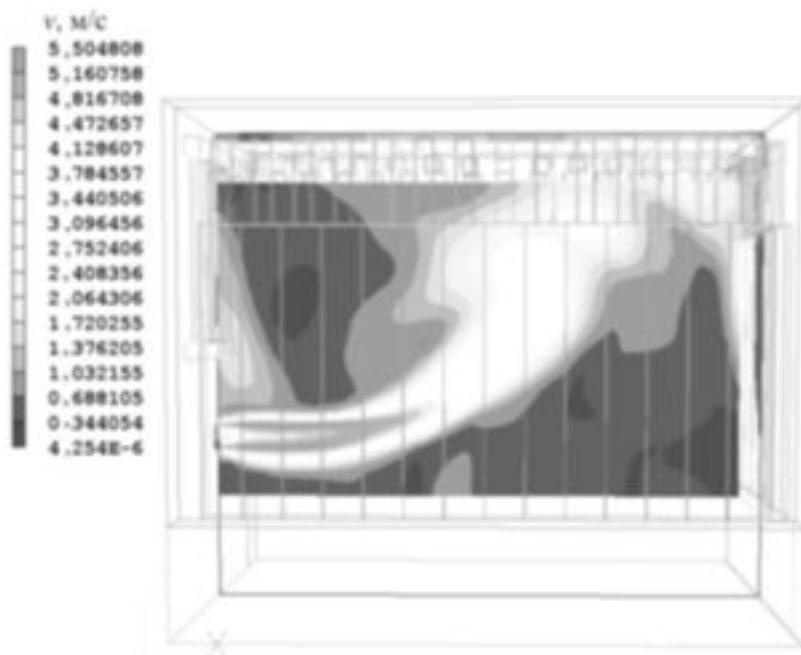
- ◆ Удовлетворительная работа горелки в котле без проведения дополнительных мероприятий по защите заднего экрана котла возможна только для случая работы горелки на нагрузке не более 20 % от номинальной мощности.

- ◆ Для работы горелки на максимальной нагрузке (100%) необходимо защитить задний экран котла примерно на высоту 1,0 м от пода или снабдить горелку закручивающим устройством, что позволит уменьшить длину факела и предотвратить удар горячих газов о задний экран котла. Однако последнее мероприятие требует серьезных изменений в конструкции горелки и ее испытаний.

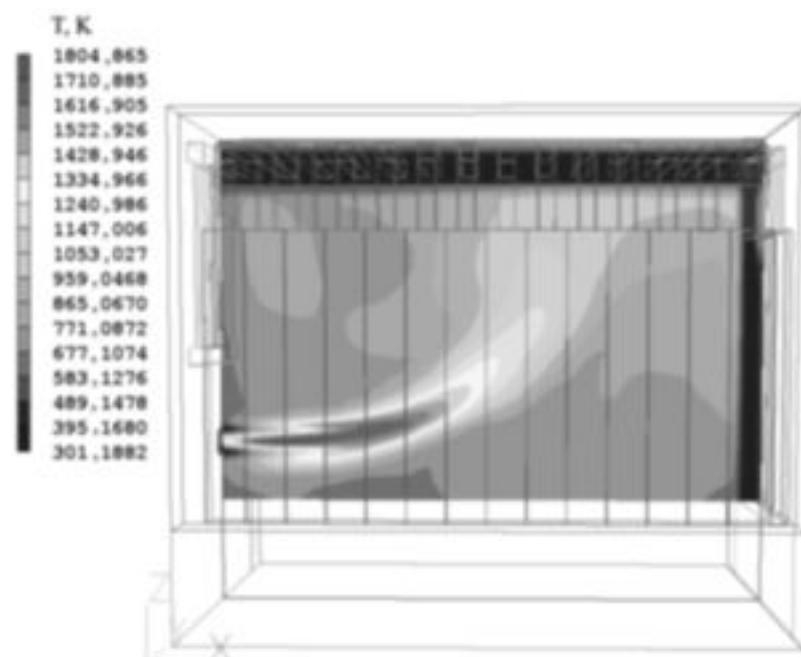
**Предложения по защите заднего экрана котла.** Для эксплуатации котла НИИСТУ-5 при номи-

нальной мощности горелки ГБГМ–0,85НД наиболее предпочтительным мероприятием является термическая защита заднего экрана кирпичной кладкой на высоте до 1,0 м от пода топки. Для защиты боковых экранов целесообразно выполнить продолжение кладки вдоль боковых экранов, начиная с высоты 1,0 м около заднего экрана с постепенным уменьшением ее высоты до нулевого значения по мере приближения к переднему экрану. Зазор между кладкой и экранами должен составлять не менее 50 мм.

Это предложение было проанализировано на компьютерной модели котла с кирпичной кладкой, которая показана на рис. 11. Мощность горелки составляла 719 кВт, что при 90% КПД котла соответствует его номинальной мощности. Результаты расчета показали, что предложенное мероприятие по защите заднего экрана обеспечивает надежные эксплуатационные результаты. Кирпичная кладка улучшает ситуацию в огневом пространстве, хорошо защищает задний экран от теплового удара и предохраняет его от возможного разрушения. По мере прогрева кирпичная кладка будет работать как переизлучатель и нагревать задний экран за счет радиационного теплообмена между задней стенкой и поверхностью экранов.



*Рис. 9. Распределение скорости продуктов сгорания вдоль оси горелки в вертикальной плоскости (20%).*

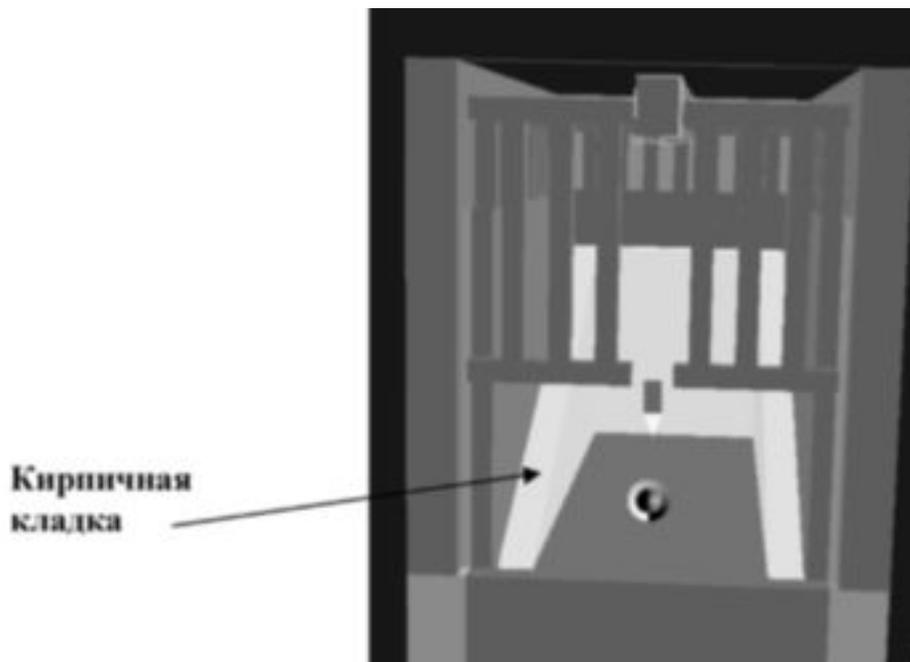


*Рис. 10. Распределение температуры продуктов сгорания вдоль оси горелки в вертикальной плоскости (20%).*

### **Модернизация котла НИИСТУ-5**

Подготовительные мероприятия. Предложенные мероприятия по защите задних экранов были реализованы на одном из котлов НИИСТУ-5 в отопительной котельной № 5 с. Тарасовка Киево-Святошинского района Киевской области.

В феврале 2007 г. были выполнены проектные и монтажные работы по реконструкции первого котла НИИСТУ-5. В соответствии с результатами компьютерного моделирования при реконструкции топочного пространства котла его нижняя часть (под) была заложена огнеупорным кирпичом. На передней стенке котла была пере-



*Рис. 11. Компьютерная модель котла НИИСТУ-5 с защитой заднего экрана кирпичной кладкой.*

делана плита для крепления газовой горелки ГБГМ–0,85НД с установкой дополнительной теплоизоляции. Внутри топки задний топочный экран на половину высоты его футерован огнеупорным кирпичом. Также частично (по ниспадающей кривой по направлению к переднему топочному экрану) были футерованы огнеупорным кирпичом боковые экраны котла.

Был проведен технический осмотр контрольно–измерительных приборов установленных на котле, при этом неисправные контрольно–измерительные приборы были заменены. Для проведения сравнительных характеристик работы котла до и после модернизации была произведена установка микропроцессорного корректора для счетчика расхода газа и счетчика теплоты Multical UF Dy 150.

### **Результаты испытаний**

В марте 2007 г. были проведены режимно-наладочные испытания модернизированного котла НИИСТУ-5 с участием специалистов Института технической теплофизики НАН Украины, КМП “Промел” (г. Киев) и Государственного Центра по испытанию и внедрению топливоиспользующего оборудования (г. Киев).

Результаты последующих испытаний показали, что применение горелки ГБГМ-0,85НД при 100% нагрузке в совокупности с предложенными мероприятиями по теплоизоляции задней стенки котла кирпичной кладкой позволили не только получить приемлемые результаты по тепловому состоянию задних экранов, но и увеличить КПД котла с 65 до 90%. При этом по данным испытаний и выполненным расчетам экономия природного газа за счет повышения КПД котла составила 27,7 м<sup>3</sup>/час на одну гигакалорию произведенной теплоты. Экономия электрической энергии составила 9,5 кВт/ч за счет отключения дымососа и меньшего потребления электроэнергии горелкой. Последующее оснащение всех котлов котельной № 5 горелками данного типа и доработка общего дымохода позволит отказаться от применения дымососа, что дополнительно снизит потребление электроэнергии. Общая экономия при производстве 1 Гкал теплоты по результатам испытаний составила :

- ◆ по газу при стоимости 686 грн за 1000 м<sup>3</sup> – 30,3 грн;
- ◆ по электроэнергии при стоимости 0,39 грн за 1 квт·ч – 6,06 грн.

Таким образом, общая стоимость 1 Гкал произведенной теплоты уменьшилась на 36,36 грн, общая экономия за одни сутки эксплуатации котла НИИСТУ-5 составила 540 грн, а за весь отопительный сезон – 97200 грн.

Покольку стоимость оборудования для модернизации одного отопительного котла НИИСТУ-5 с учетом монтажа и пуско-наладочных работ составила 49000 грн, то срок окупаемости предложенных мероприятий по модернизации котла составляет менее одного отопительного сезона.

### **Выводы**

1. Компьютерное моделирование термодинамики внутрикотлового пространства обладает высокой точностью, надежностью и информативностью. Оно позволяет достаточно быстро разработать надежные инженерные мероприятия по интеграции конкретной горелки в объем котла и обосновать режимы ее эксплуатации.

2. По данным выполненного компьютерного анализа разработаны рекомендации по интеграции горелки ГБГМ-0,85НД в объем котла НИИСТУ-5, расположенного в котельной № 5 с. Тарасовка Киево-Святошинского района Киевской области.

3. Выполненные экспериментальные измерения подтвердили надежность предложенных рекомендаций. Установка кирпичной кладки около задних экранов котла позволила эксплуатировать горелку ГБГМ–0,85НД при 100% мощности, при этом коэффициент полезного действия котла увеличился с 65% до 90%.

4. При производстве 1 Гкал теплоты суммарная экономия по газу и электроэнергии состави-

ла 36,36 грн, а суточная экономия – 540 грн. Срок окупаемости предложенных мероприятий по модернизации котла НИИСТУ-5 составляет менее одного отопительного сезона. При стоимости оборудования для модернизации котла около 49000 грн расчетная экономия за отопительный сезон составляет 97200 грн.

5. По результатам выполненной работы предполагается создание стандартного проекта малозатратной модернизации котла НИИСТУ-5 с использованием горелки ГБГМ –0,85НД. В дальнейшем полученный опыт может быть распространен и на другие коммунальные предприятия Украины.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Новые решения. Модернизация водотрубных котлов* <http://www.weishaupt.kiev.ua>
2. *Халатов А.А., Кобзарь С.Г.* // Компьютерные технологии в модернизации котлов и камер сгорания. – Аква-Терм. – 2007. – №1. – С.12-15.
3. *PHOENICS Reference Guide Version 3.6.* CHAM, London. – 2004.
4. *Spalding D.B.* Mixing and chemical reaction in study of confined turbulent flames. In 13th Symp. (Int.) on Combustion. Pittsburgh. – 1971. The Combustion Institute, Pittsburgh, USA. – P. 649–657.
5. *Кобзарь С.Г., Халатов А.А.* Апробация упрощенной модели расчета горения и формирования оксидов азота при сжигании жидкого топлива // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т.25, №4. – С. 391-392.

*Получено 03.08.2007 г.*