

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В КОТЛАХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО КИПЯЩЕГО СЛОЯ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ

*А.В. Бондарев, к.т.н.,
ВА МТО, Санкт-Петербург*

Приведены результаты экспериментальных исследований переходных процессов котла с топкой высокотемпературного кипящего слоя и рециркуляцией уходящих газов. Переходные процессы реализованы за счет возмущающих воздействий изменения нагрузки (расхода топлива) в диапазоне 80–100 %. Работа котла осуществлялась на угле фракционного состава 10–25 мм и фрезерном торфе. Показано, что при работе на различных топливах динамические параметры котла с рециркуляцией уходящих газов, а именно время запаздывания, коэффициент самовыравнивания и время выхода на заданный установившийся режим значительно лучше, чем у котла, работающего без рециркуляции. Сравнение характеристик переходных процессов, полученных экспериментально, и расчетных характеристик, показало удовлетворительную сходимость при отклонениях, не превышающих 5 %.

Источниками теплоснабжения на объектах общего и специального назначения, как правило, являются автономные отопительные и технологические котельные, вырабатывающие горячую воду для отопления, хозяйственного и технологического водоснабжения.

Большинство из них не имеет каких-либо систем механизации топливоподготовки, топливоподдачи и шлакозолоудаления, газоочистки. Хранение угля в них осуществляется на открытых площадках.

Приоритетным направлением модернизации систем теплоснабжения является строительство автоматизированных котельных с технологией сжигания топлива в высокотемпературном кипящем слое (ВТКС).

В настоящее время проведен комплекс экспериментальных исследований при научном сопровождении специалистов ВИ(ИТ) ВА МТО [1, 2] на котлоагрегате КВП-1,74-ВТКС по исследованию стационарных режимов и переходных процессов при сжигании угля, торфа и древесных отходов, а также совместной работы дизель-ге-

нератора с активным котлом-утилизатором высокотемпературного кипящего слоя.

Многочисленные экспериментальные исследования опытных образцов котлов малой мощности с топками ВТКС выявили ряд недостатков в конструктивных решениях, которые снижают качество топочных процессов на установившихся и переходных режимах. К их числу относятся:

- нарушение режима горения при увеличении коэффициента избытка воздуха и температуры с последующим шлакованием решетки, в особенности на неустановившихся режимах;

- кратерное горение топлива в кипящем слое и неравномерность теплового напряжения объема топочной камеры из-за одностороннего бокового направления подачи первичного воздуха;

- неравномерность (порционность) подачи топлива скребковым питателем, которая нарушает температурный режим и устойчивость горения на установившихся режимах и в переходных процессах;

- унос мелких фракций топлива из кипящего слоя в надслоевое пространство из-за круглого сечения сопел вторичного воздуха.

Для устранения указанных недостатков разработан комплекс технических решений по технологической части и по системе автоматического регулирования процесса горения в топке котла с применением рециркуляции уходящих газов [3].

В рамках практической разработки системы автоматического регулирования и пуска котлов малой мощности в теплоэнергетическом комплексе кафедры двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ) ВА МТО проведен комплекс экспериментальных исследований при сжигании твердого топлива в котле КВП-1,74 ВТКС с топкой высокотемпературного кипящего слоя с рециркуляцией уходящих газов на установившихся и неустановившихся режимах работы [4].

Анализ результатов математического моделирования процессов горения в топке котла на статических и динамических режимах с рециркуляцией уходящих газов приведен в работах [4, 5].

Схема экспериментальной установки с расположением измерительных прибавок для кон-

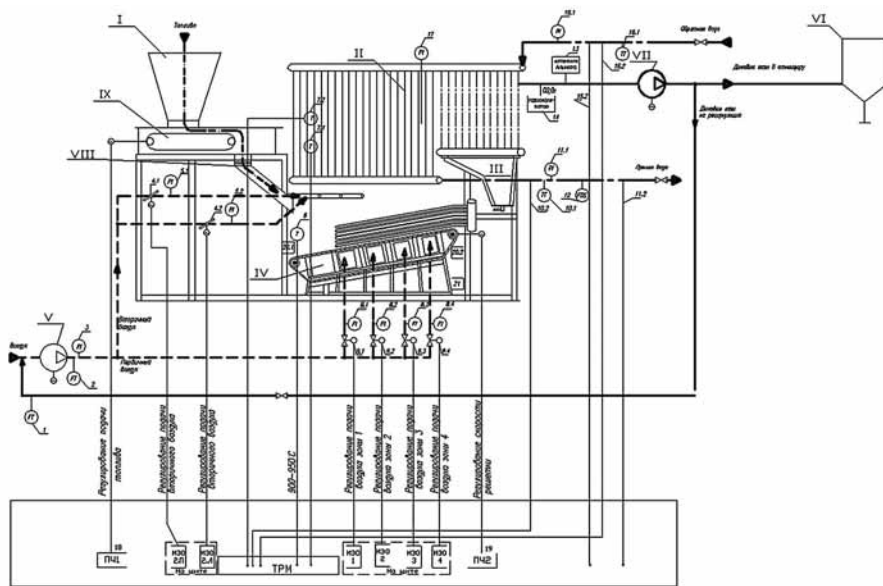


Рис. 1. Схема экспериментальной установки котла КВП-1,74 ВТКС с рециркуляцией уходящих газов

троля работы котла ВТКС с рециркуляцией уходящих газов представлена на рис. 1.

На рис. 2–7 представлен измерительный комплекс экспериментального котла КВП-1,74 ВТКС с рециркуляцией уходящих газов.

уходящих газов рециркуляции, вносимых в топку котла ВТКС с определением коэффициента избытка кислорода $\alpha_{\text{к}}^{\text{см}}$ на каждом режиме представлены на рис. 8. Показано снижение $\alpha_{\text{к}}^{\text{см}}$ с 1,66 (без рециркуляции уходящих газов) до 1,25 (с ре-

Первый цикл экспериментальных исследований работы котла на переходных и установившихся режимах проводился при сжигании каменного угля calorийностью 5221 ккал/кг, зольностью $A_p = 11,1\%$, влажностью $W_p = 14,6\%$ и фракционным составом 10–25 мм.

По программе исследований проведено 4 серии экспериментов на статических и динамических режимах работы котла при внесении возмущающих воздействий за счет расхода топлива воздушной смеси и ступенчатого изменения нагрузки.

Экспериментальные данные по определению максимально возможного расхода



Рис. 2. Измерительный комплекс котла КВП-1,74 ВТКС



Рис. 3. Приборы измерения расхода и давления воздуха и газов рециркуляции



Рис. 4. Расстановка термопар в топке котла



Рис. 5. Щит КИП с терморегуляторами



Рис. 6. Обработка экспериментальных данных на мониторе ПК (ПО Scada)



Рис. 7. Измерительный комплекс расхода сетевой и котловой воды

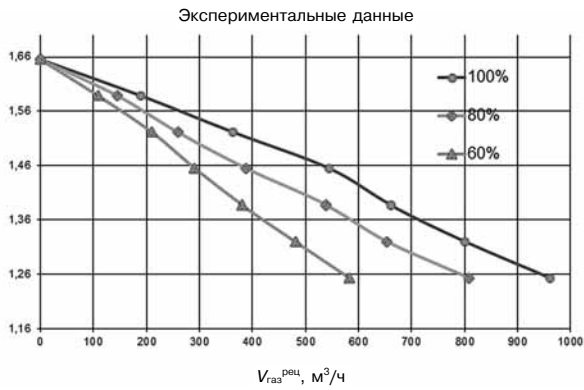


Рис. 8. Изменение коэффициента избытка кислорода α в зависимости от объема рециркуляции уходящих газов котлоагрегата КВП-1,74 ВТКС на номинальной и долевых нагрузках

циркуляцией) на номинальных и долевых режимах при увеличении объема замещения воздуха продуктами сгорания до 25–30 %.

Экспериментальные данные по экономии топлива представлены на рис. 9. Они показывают, что экономия топлива составляет порядка 2,8 % при максимальном объеме замещения воздуха уходящими газами.

Изменение температуры в топке котла на переходных режимах при изменении нагрузки от 80 до 100 % представлены на графиках рис. 10. При изменении расхода топлива в течение 15–20 с одновременно изменяется положение задвижек на трубопроводе рециркуляции уходящих

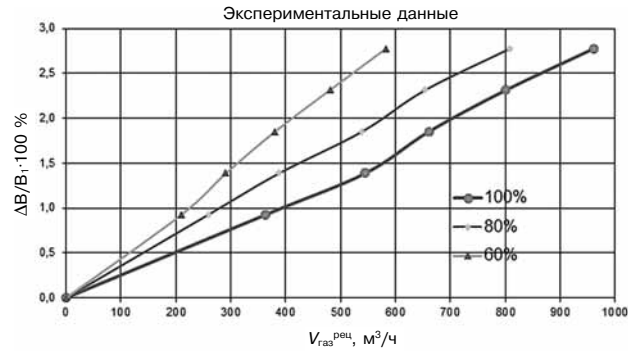


Рис. 9. Экономия топлива котла (в %) в зависимости от объема рециркуляции уходящих газов котлоагрегата КВП-1,74 ВТКС на номинальной и долевых нагрузках

газов. Температура слоя в начальный момент характеризуется явно выраженным периодом запаздывания, что обусловлено прогревом топлива и удалением из него влаги. Переходный режим изменения температуры носит апериодический колебательный характер с выходом на новый установившийся режим. На рис. 11 представлены характеристики переходных процессов, полученные расчетным и экспериментальным способами.

Второй цикл экспериментальных исследований выполнен при сжигании в котле ВТКС фрезерного торфа. На рис. 12 представлены графики расчетного и экспериментального переходных процессов при изменении нагрузки котла от 80

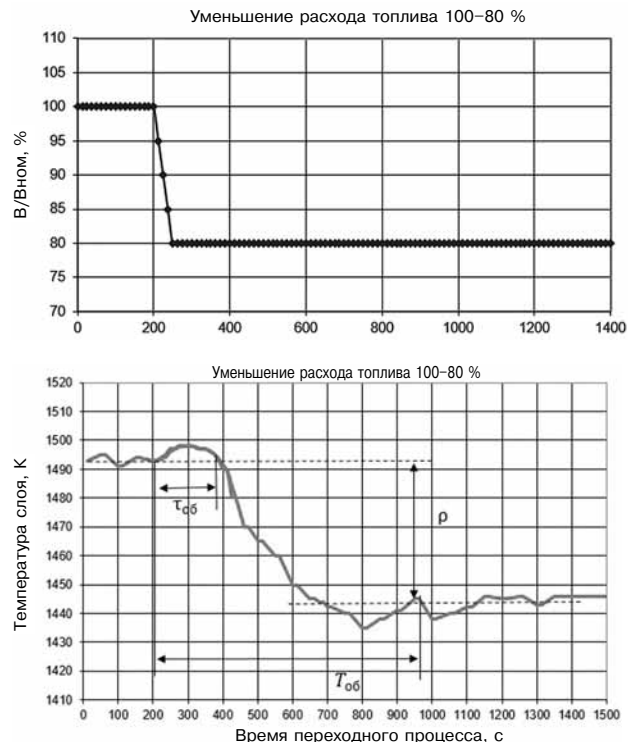
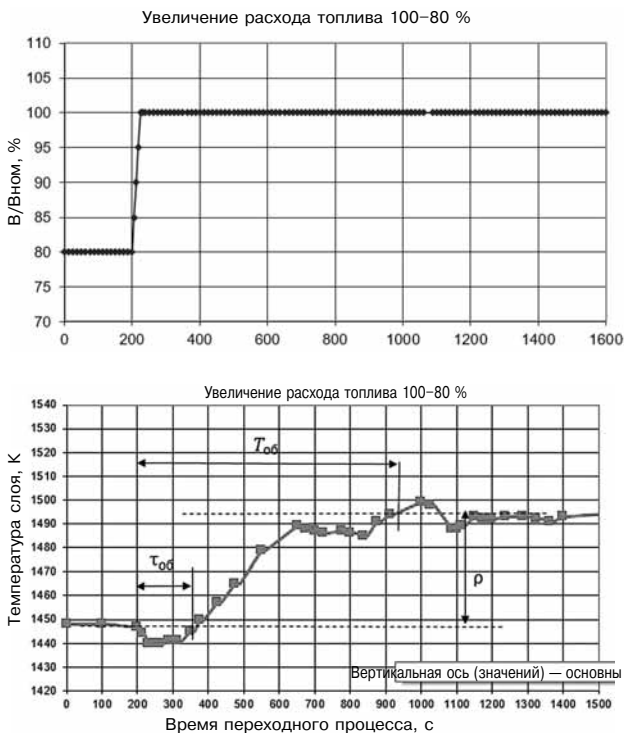


Рис. 10. Переходные процессы в котле «КВП-1,74-ВТКС» с рециркуляцией уходящих газов при изменении расхода топлива (угля)

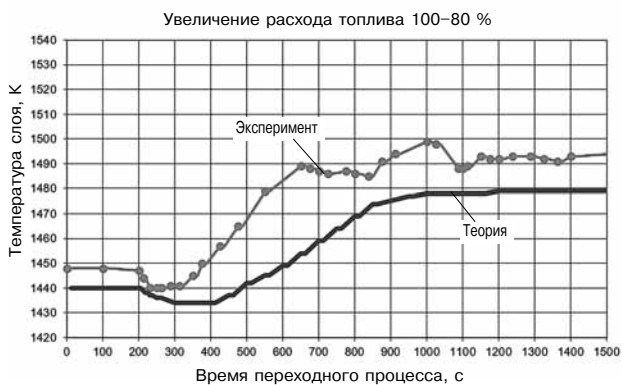


Рис. 11. Экспериментальный и расчетный переходные процессы в котле «КВП-1,74-ВТКС» с рециркуляцией уходящих газов при сжигание угля

до 100 % при сжигании фрезерного торфа Тихвинского месторождения следующего элементарного состава: содержание углерода $C_p = 42,14\%$; водорода $H_p = 4,46\%$; серы $S_p = 0,15\%$; зольность $A_p = 2,17\%$; влажность $W_p = 23,5\%$; выход летучих $V_p = 68,85\%$.

Температура слоя в начальный период переходного процесса также характеризуется периодом запаздывания, необходимого для прогрева топлива и удаления из него влаги. Переходный режим изменения температуры носит аperiodический

характер, продолжительность переходного процесса несколько меньше, чем при сжигании угля, что связано с выгоранием фрезерного топлива в надслоевом пространстве в верхней части топочного пространства.

Третий цикл экспериментальных исследований проводился на комбинированной установке при сжигании угля в активном котле-утилизаторе АКУ ВТКС, в топку которого подавались отработавшие газы от дизель-генератора. Результаты экспериментальных исследований комбинированной установки на установившихся режимах работы представлены в статье [5].

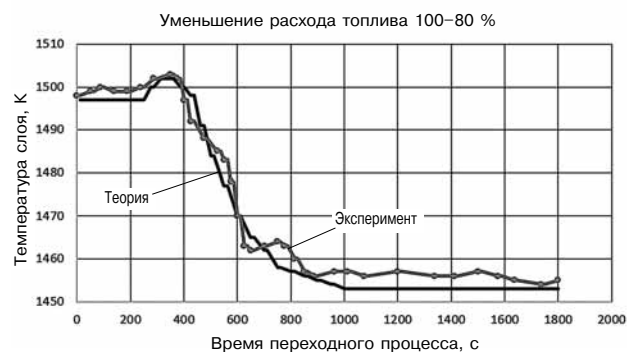
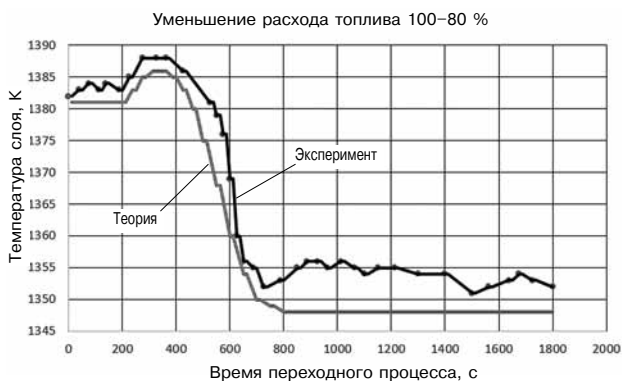
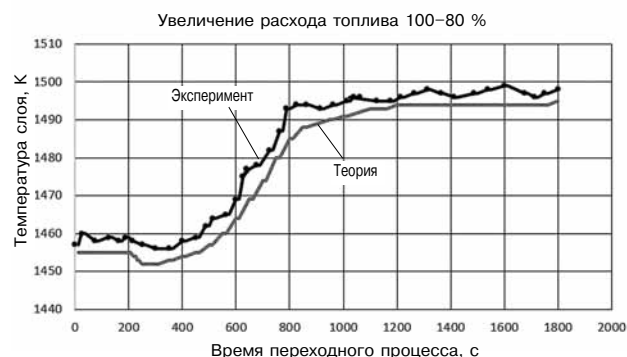
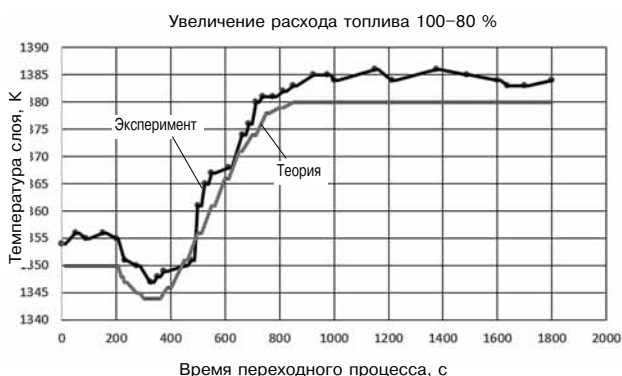


Рис. 12. Экспериментальный и расчетный переходные процессы в котле «КВП-1,74-ВТКС» с рециркуляцией уходящих газов при сжигание торфа

Рис. 13. Экспериментальный и расчетный переходные процессы в котле при работе комбинированной установки с активным котлом утилизатором ВТКС при подаче в топку ОГ дизеля

Ниже приведены графики переходных процессов полученных расчетным методом и экспериментально.

На рис. 13 показано, что при подаче в топку котла смеси воздуха и отработавших газов дизеля повышается температура горения, время запаздывания сокращается из-за быстрого прогрева топлива, коэффициент самовыравнивания $\rho_{об}$ несколько ниже, чем при сжигании угля с рециркуляцией уходящих газов, при этом время переходного процесса $T_{об}$ незначительно увеличивается.

Выводы

Характер и продолжительность переходных процессов, полученных экспериментально и расчетным методом при возмущающих воздействиях за счет изменения расхода топлива, при сжигании угля, торфа и работы комбинированной установки с АКУ, показывают удовлетворительную сходимость, не превышающую 5 %.

Коэффициент избытка кислорода в котле с рециркуляцией уходящих газов по экспериментальным данным незначительно превышает расчетные значения и составляет 1,66 при работе без рециркуляции, что обусловлено подсосом воздуха в топочное пространство котла.

Динамические параметры объекта, а именно время запаздывания, коэффициент самовыравнивания, время выхода на заданный режим и меньше чем у котла без рециркуляции уходящих газов.

Экспериментально подтверждена устойчивая работа котла с рециркуляцией уходящих газов в широком диапазоне нагрузок от 50 до 120 % без шлакования решетки.

Основные параметры переходных процессов время запаздывания $\tau_{об}$, разгона объекта $T_{об}$, коэффициента самовыравнивания $\rho_{об}$ показывают

удовлетворительную сходимость с теоретическими данными, численные значения которых значительно ниже, чем при работе без газов рециркуляции.

Полученные данные будут использованы для разработки алгоритма системы автоматического управления процессом горения в топке ВТКС котла малой мощности и заложены в контроллер комплектного устройства для комплексной автоматизации котельных оснащенных котлами малой мощности.

Литература

1. *Смирнов А.В., Бондарев А.В.* Основные направления и практический опыт реконструкции угольных котельных малой мощности по технологии высокотемпературного кипящего слоя // Военный инженер. — 2016. — № 1. — С. 13–18.
2. *Смирнов А.В., Рода И.С., Овчаров И.В., Бондарев А.В., Карпов М.А.* Практический опыт проектирования, строительства и реконструкции угольных котельных малой мощности по технологии высокотемпературного кипящего слоя // Инженерные системы. — 2006. — № 4 (25).
3. *Смирнов А.В., Бондарев А.В., Маллаев К.М. и др.* Котлоагрегат для сжигания твердого топлива в кипящем слое. Патент на полезную модель. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей 05.05.2017 г., № 170747, Бюл. № 13.
4. *Бондарев А.В., Болбышев Э.В., Смирнов А.В.* Автоматизация угольных котлов малой мощности с топками высокотемпературного кипящего слоя и рециркуляцией дымовых газов // Двигателестроение. — 2018. — № 3. — С. 24–28.
5. *Смирнов А.В., Бондарев А.В., Александров С.В., Болбышев Э.В.* Разработка дизельных теплоэлектростанций с активными котлами утилизаторами высокотемпературного кипящего слоя // Двигателестроение. — 2018. — № 3. — С. 19–23.



Василию Степановичу Корчинскому 60 лет!

08 марта 2019 года исполнилось 60 лет полковнику в отставке, почетному энергетiku РФ, к.т.н., доценту кафедры двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ) ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулева Василию Степановичу Корчинскому.

В 1988 году Корчинский В. С. закончил Ленинградское высшее военное инженерное строительное краснознаменное училище (ЛВВИСКУ) им. генерала армии А.Н. Комаровского (в настоящее время ВИ(ИТ) ВА МТО) по специальности инженер-энергетик.

После окончания училища и службы в войсках получил назначение на дальнейшее прохождение службы на кафедре двигателей и энергетических установок (ДЭУ) родного вуза сначала в должности начальника лаборатории, а с 1992 года — преподавателя кафедры. Успешно совмещая преподавательскую деятельность и научную работу над созданием двигателя, работающего по замкнутому циклу, в 1999 году защитил кандидатскую диссертацию. С 2010 по 2015 год работал в должности заместителя начальника кафедры,

преподавая курсантам дисциплины «Экономика и управление энергетическими предприятиями», «Эксплуатация энергетических систем специальных объектов» и др.

За активную и плодотворную работу в образовательной и научной деятельности неоднократно поощрялся командованием института и академии. Имеет награды и поощрения от имени Президиума Верховного Совета СССР, Министра обороны РФ, Министра энергетики РФ.

По основной научной специализации, связанной с совершенствованием автономных источников энергии специальных объектов на базе ДВС, В.С. Корчинский опубликовал более 100 научных работ, в том числе 11 учебников (из них 8 электронных), 9 учебно-методических пособий, получил три патента на изобретения.

В настоящее время Василий Степанович Корчинский продолжает успешно совмещать преподавательскую и научную работу на кафедре с общественной деятельностью в составе научно-методической секции института по специальности «Монтаж, эксплуатация и ремонт систем энергообеспечения объектов специального назначения и инфраструктуры флота».

Коллектив кафедры двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ) ВА МТО, коллеги и друзья, редакция научно-технического журнала «Двигателестроение» поздравляют Василия Степановича с юбилеем и желают ему крепкого здоровья и успехов в плодотворной деятельности, направленной на сохранение лучших традиций коллектива кафедры и института.

