

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



МАТЕРИАЛЫ

III МЕЖДУНАРОДНОГО
МОЛОДЁЖНОГО ФОРУМА

**«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ
ЭНЕРГОСИСТЕМЫ»**

ТОМ 1.

Томск – 2015

УДК 620.9(063)
ББК 31л0
И73

Интеллектуальные энергосистемы: труды III Международного молодёжного форума. В 3т. Томск 28 сентября -2 октября 2015г. Т.1.- Материалы III Международного форума «Интеллектуальные энергосистемы», 310 с.

Настоящий сборник содержит материалы III Международного молодёжного форума «Интеллектуальные энергосистемы», проведенного 28 сентября - 2 октября 2015г. на базе Энергетического института Томского политехнического университета, при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований.

Материал сборника представлен без редактирования авторских электронных версий.

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ СБОРНИКА ТРУДОВ ФОРУМА

1. Губин В.Е. к.т.н., доцент, заместитель директора по научной работе ЭНИН ТПУ, председатель
2. Кузнецов Г.В. д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой ТПТ ЭНИН ТПУ
3. Кладиев С.Н., к.т.н., доцент кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ
4. Обухов С.Г., д.т.н., доцент кафедры ЭПП ЭНИН ТПУ
5. Заворин А.С., д.т.н., профессор, зав. кафедрой ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ
6. Гарганеев А.Г., д.т.н., профессор кафедры ЭКМ ЭНИН ТПУ
7. Стрижак П.А., д.ф.-м.н., зав. кафедрой АТП ЭНИН ТПУ
8. Кобенко Ю.В., д.фил.н., доцент кафедры ИЯ ЭНИН ТПУ
9. Литвак В.В., д.т.н., профессор кафедры АТЭС ЭНИН ТПУ
10. Вайнштейн Р.А., д.т.н., профессор кафедры ЭЭС ЭНИН ТПУ
11. Хрущев Ю.В., д.т.н., профессор кафедры ЭСиЭ ЭНИН ТПУ
12. Ардашкин И.Б., д.ф.н., профессор ФИЛ ИСГТ ТПУ
13. Лукутин А.В., к.т.н., доцент, начальник учебно-методического отдела ЭНИН ТПУ

Верстка и дизайн оригинал макета: Зимина Н.А.

© Томский политехнический университет, 2015

СЕКЦИЯ 1. ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

ОТЛИЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЖИГАНИЯ ЧАСТИЦ УГЛЯ И КАПЕЛЬ УГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ В ПОТОКЕ ОКИСЛИТЕЛЯ

К.Ю. Вершинина, С.А. Синдинова
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП

Использование искусственных топливных суспензий в качестве энергоресурсов для нужд промышленной энергетики представляет интерес в связи с возможностью замены дорогостоящих и дефицитных видов топлив [1], а также решения ряда проблем, возникающих при эксплуатации пылеугольных ТЭС (пожаро- и взрывоопасность угольной пыли [2], выбросы вредных веществ [3], высокая степень шлакования поверхностей теплообменного оборудования [4]). Компонентная база для приготовления суспензионных топлив включает угольные отсеивы и шламы, отходы обогащения углей, отработанные нефтепродукты, спирты, масла, смолы и другие вещества [5]. Таким образом, применение двухкомпонентных (вода, угольная пыль) водоугольных (ВУС) и трехкомпонентных (вода, угольная пыль, горючая жидкость) органоводоугольных (ОВУС) суспензий позволяет расширять сырьевую базу энергетических установок и решать задачи снижения негативного воздействия на экологию при утилизации отходов различных отраслей промышленности.

Целью работы является экспериментальное определение условий и характеристик инициирования устойчивого горения частиц каменного угля, а также одиночных капель ВУС и ОВУС в потоке нагретого до умеренных (не более 700 °С) температур окислителя.

Принцип работы стенда (рис. 1) заключается в следующем: нагнетатель 1 подавал воздух с температурой окружающей среды на вход воздухонагревателя 2. Посредством воздуховода 4 разогретый воздух с температурой T_a подавался в полый стеклянный цилиндр 5. После стабилизации температуры воздуха внутри цилиндра 5 образец топлива 13 вводится в газовый поток через технологическое отверстие на его боковой стенке посредством координатного механизма 6 и устройства 7. Видеофиксация быстропротекающих процессов внутри цилиндра 5 в течение индукционного периода осуществлялась высокоскоростной видеокамерой Phantom V411 10 (максимальная скорость

видеозаписи 4200 к/с при полном разрешении 1280x800). Сохранение и обработка видеозаписи при помощи программного обеспечения Phantom Camera Control выполнялась на персональном компьютере 11. Время задержки зажигания определялось по видеозаписи и отсчитывалось до момента появления пламени. Измерение температуры воздуха внутри цилиндра 5 осуществлялось хромель-алюмелевыми термоэлектрическими термопреобразователями 8. Тренды температур записывались на регистратор PMT 59М 9.

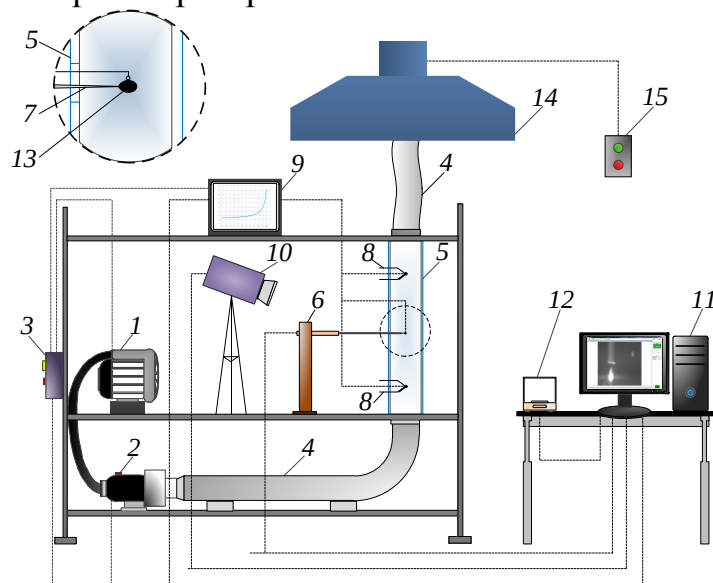


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1 – нагнетатель; 2 – воздухонагреватель; 3 – пульт управления нагревательной установкой; 4 – воздуховод; 5 – полый стеклянный цилиндр; 6 – координатный механизм; 7 – устройство для фиксации образца топлива; 8 – термоэлектрические преобразователи; 9 – регистратор многоканальный; 10 – высокоскоростная видеокамера; 11 – компьютер; 12 – аналитические весы; 13 – образец топлива; 14 – вытяжная вентиляция; 15 – пульт управления вытяжной вентиляцией; — — — линии электрической связи

В качестве объекта исследования выбраны образцы каменного угля марки Д (Листвянское месторождение Новосибирской области), а также капли водоугольной (50 % твердая фаза, 50 % вода) и органоугольной (45 % твердая фаза, 45 % вода, 10 % отработанное автомобильное моторное масло) суспензий. Твердая фаза топливных суспензий представляла каменноугольную пыль дисперсностью около 100–150 мкм. Температуры T_a окислителя варьировались в диапазоне от 400 до 600 °С, скорости воздушного потока варьировались в диапазоне от 0.5 до 5 м/с.

Рис. 2 иллюстрирует зависимости времени задержки зажигания и времени горения топлив от температуры воздуха для частиц каменного угля, капель ВУС и ОВУС различного размера (1; 2; 3 мм).

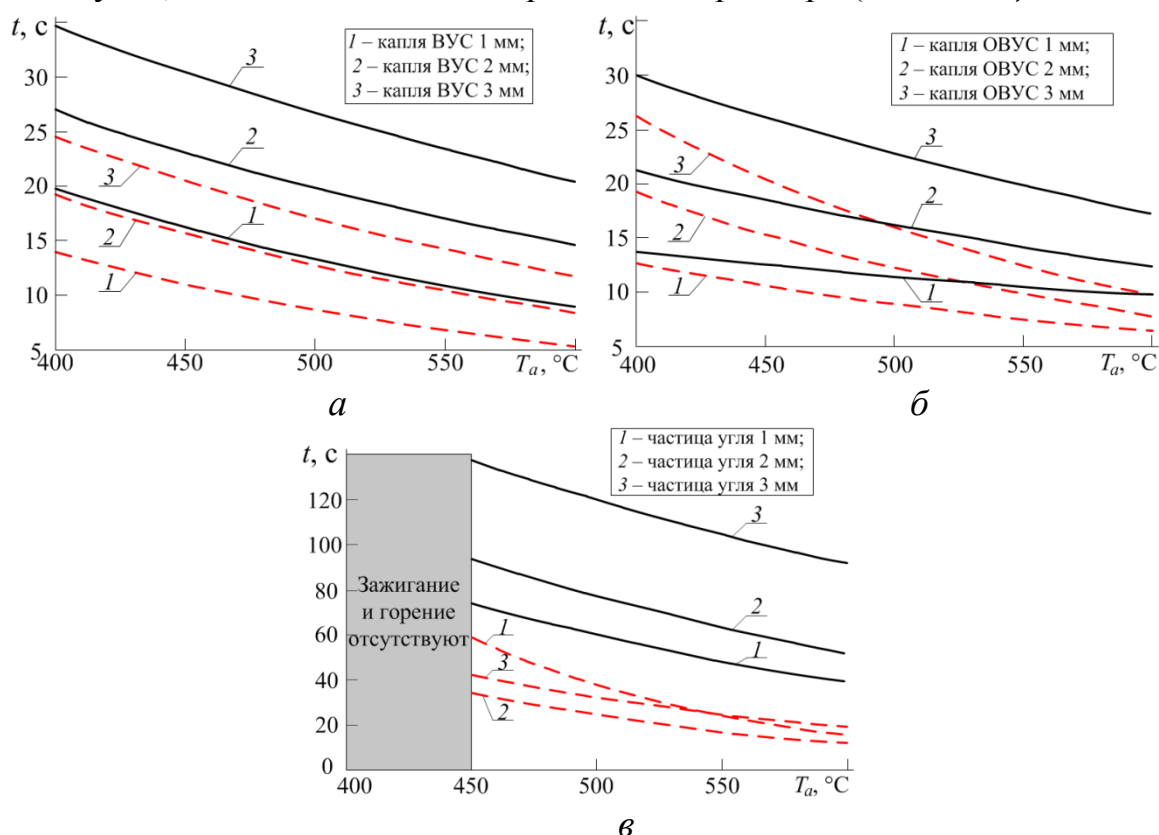


Рис. 2. Зависимости экспериментальных значений времен задержки зажигания (---) и длительностей процесса горения (—) капель ВУС (а); капель ОВУС (б); частиц угля (в) от температуры потока окислителя (при $V_a \approx 5$ м/с)

Установлено, что времена задержки воспламенения и времена выгорания исследуемых суспензионных топлив возрастают с увеличением диаметра капли (при идентичных условиях проведения эксперимента) (рис. 2 а, б). Такой же характер имеют зависимости времени выгорания частиц каменного угля различных размеров (рис. 2 в). Однако в диапазоне температур окислителя от 450 °C до 530 °C, более длительные времена инертного прогрева характерны для частиц угля размером 1 мм, что обусловлено, скорее всего, небольшим общим содержанием летучих веществ в частице малого размера, их уносом конвективным потоком, и, как следствие, отсутствием газофазного зажигания в окрестности частицы. Кроме того, длительность процесса горения частиц угля (рис. 2 в) значительно превысила аналогичную характеристику для капель суспензионных топлив (рис. 2 а, б).

Выполненные эксперименты позволили выявить ослабевающее влияние скорости потока окислителя на времена задержки зажигания

и длительности процесса горения образцов топлив с ростом температуры T_a . В частности, при минимальных температурах окислителя изменение V_a в диапазоне 0.5–5 м/с приводило к уменьшению интегральных характеристик зажигания на 30–40 %. При максимальных для проведенных экспериментов значениях T_a варьирование V_a в диапазоне 0.5–5 м/с приводило к изменению времен задержки зажигания и длительностей горения топлив не более чем на 15 %. Этот результат обусловлен доминированием радиационного теплопереноса (по сравнению с кондуктивным и конвективным) на границе «образец топлива – окислитель» при росте T_a . Установленные особенности расширяют современные представления об отличии характеристик зажигания и горения капель ВУС, ОВУС и частиц традиционных твердых топлив.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-03-31304 мол_а).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Савицкий Д.П., Егурнов А.И., Макаров А.С., Завгородний В.А. Жидкое топливо на основе угольных шламов и бурого угля (Обзор) // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2009. – № 1. – С. 13–17.
2. Портола В.А. Опасность самовозгорания угольной пыли // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 6. – С. 36–39.
3. Куликов М.А., Гаврилов Е.И., Демин В.Ф., Захарченко И.Е. Риски воздействия атмосферных выбросов электростанций на здоровье населения // Теплоэнергетика. – 2009. – № 1. – С. 71–76.
4. Бойко Е.А., Жадовец Е.М., Янов С.Р. Анализ тепловой эффективности полурadiационных и конвективных поверхностей нагрева пылеугольных паровых котлов // Электрические станции. – 2010. – № 10. – С. 41–46.
5. Лиштван И.И., Фалюшин П.Л., Смолячкова Е.А., Коврик С.И. Топливные суспензии на основе мазута, торфа, древесных отходов и древесного угля // Химия твердого топлива. – 2009. – № 1. – С. 3–7.

Научный руководитель: Д.О. Глушков, к.ф.-м.н., инженер-исследователь каф. АТП ЭНИН ТПУ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИСПАРЕНИЯ КАПЕЛЬ СУСПЕНЗИЙ НА ОСНОВЕ ВОДЫ С ГРУНТОВЫМИ ПРИМЕСЯМИ В ЗОНЕ ПЛАМЕНИ

Ю.Е. Балахнина, М.В. Шихман, О.В. Высокоморная
Томский политехнический университет

В производственных циклах большинства отраслей вода является одной из самых распространённых технологических жидкостей [1, 2]. Зачастую технологический процесс с использованием воды, а также растворов, эмульсий и суспензий на её основе предполагает осуществление в производственном цикле нагрева и испарения капельных потоков в среде высокотемпературных газов: при создании двухфазных газопаровых теплоносителей, в технологии полидисперсного пожаротушения, для осуществления термической очистки загрязнённых технологических и бытовых вод и т.д.

Результаты экспериментальных исследований [3] показали, что интенсивность фазового перехода в указанных технологических циклах во многом определяется характерными размерами капель распылённой воды и жидкостных составов на её основе. Однако в результате проведения экспериментов [4] выявлено, что при измельчении капель до характерных размеров $R_d < 200$ мкм возможны явления торможения, разворота и уноса последних встречным потоком греющей газовой среды.

В работе [5] показано, что наличие в каплях воды твёрдых примесей, характеризующихся большими (относительно воды) значениями теплопроводности и температуропроводности, интенсифицирует прогрев и фазовые превращения неоднородных капель. В указанных условиях в качестве альтернативного способа повышения полноты испарения можно рассмотреть изменение теплофизических характеристик капель за счёт наличия в них твёрдых частиц типичных грунтовых примесей – глины, песка, ила, почвы.

Цель настоящей работы – определение интегральных характеристик процесса испарения капель суспензий на основе воды с типичными грунтовыми примесями в среде высокотемпературных продуктов сгорания.

При проведении экспериментов использовался стенд, представленный на рис. 1.

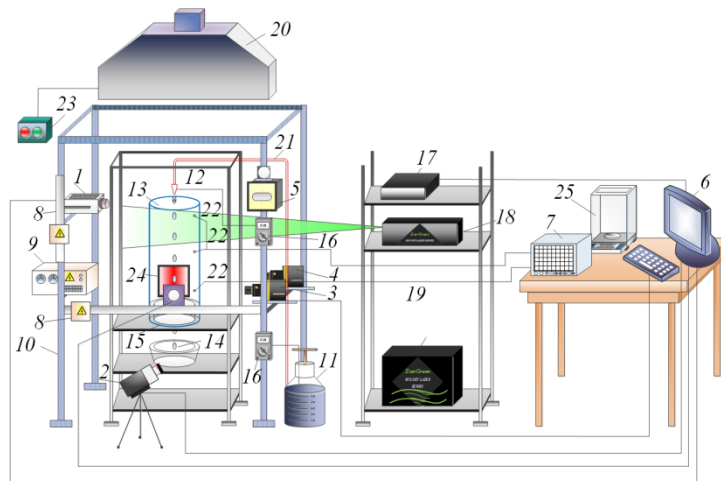


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1, 2 – высокоскоростные видеокамеры; 3, 4 – кросскорреляционные камеры; 5 – осветительный прожектор; 6 – персональный компьютер (ПК); 7 – регистратор многоканальный технологический (РМТ); 8 – моторизированное координатное устройство (МКУ); 9 – блок питания МКУ; 10 – алюминиевая стойка; 11 – емкость с водой; 12 – дозатор капель (распылитель); 13 – цилиндр из кварцевого стекла; 14 – уловитель капель; 15 – полый цилиндр с горючей жидкостью; 16 – цифровой мультиметр; 17 – синхронизатор ПК, кросскорреляционной камеры и лазера; 18 – двойной импульсный Nd:YAG лазер; 19 – генератор лазерного излучения; 20 – нагнетательная система; 21 – канал подачи воды; 22 – термопары; 23 – пульт включения/отключения нагнетательной системы; 24 – диффузионный экран в комплекте со световодом; 25 – аналитические весы

Внутренняя полость цилиндра 13 заполнялась жидким горючим веществом – ацетоном, который затем зажигался. По истечении времени, необходимого для возникновения устойчивого горения ацетона и прогрева канала 13 (около 200 с), капли суспензии заданного размера подавались дозирующим устройством 12 в область высокотемпературных (около 1100 К) продуктов сгорания. Траектория движения капель совпадала с осью симметрии канала 13. Процесс свободного падения капель в высокотемпературных газах регистрировался высокоскоростными видеокамерами 1 и 2, а также кросскорреляционными камерами 3 и 4. Для определения формы и размеров капель применялось программное обеспечение «Тема Automotive» с функцией непрерывного слежения за динамическими объектами. Определялись положение, форма и характерный размер капель R_d , а также скорости движения последних U_d в потоке высокотемпературных продуктов сгорания. Размеры капель в расчётных областях видеок кадров (до и после зоны пламени) определялись по видеозаписям, представляющим по-

следовательный набор видеogramм через фиксированный временной интервал.

Скорость движения газов U_g в цилиндрическом канале 13 измерялась (в первом приближении) лопастным анемометром UnionTest AN110 (максимальная погрешность – 0.1 м/с) и составляла около 1.5 м/с.

В качестве основной характеристики исследуемого процесса использовался параметр, характеризующий уменьшение размера капель при движении через высокотемпературные газы: $\Delta R = (R_d - R_d^*)/R_d$, где R_d , R_d^* – значение условного среднего радиуса капли на входе и выходе из зоны высокотемпературных газов, мм.

Табл. 1. Зависимость параметра ΔR от концентрации глины (γ_{clay}) для одиночных капель суспензии с разными начальными средними радиусами R_d мм при движении через высокотемпературные продукты сгорания ($T_g \approx 1100$ K)

$\gamma_{\text{clay}}, \%$	$\Delta R, \%$					
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$R_d=2.8$ мм	1.25	1.17	1.98	2.65	3.53	4.68
$R_d=2.3$ мм	1.83	2.46	3.34	4.61	6.39	9.17
$R_d=2.1$ мм	3.92	5.14	6.49	8.46	11.20	17.42

Табл. 2. Зависимость параметра ΔR от концентрации песка (γ_{sand}) для одиночных капель суспензии с разными начальными средними радиусами R_d мм при движении через высокотемпературные продукты сгорания ($T_g \approx 1100$ K)

$\gamma_{\text{sand}}, \%$	$\Delta R, \%$					
	0	2	4	6	8	10
$R_d=2.8$ мм	1.02	1.38	1.96	2.73	3.92	5.82
$R_d=2.3$ мм	1.63	2.12	2.78	3.58	4.63	6.02
$R_d=2.1$ мм	3.24	3.72	4.21	4.78	5.55	6.42

Представленные в табл. 1 и 2 зависимости позволяют сделать вывод о том, что наличие в суспензии грунтовых частиц значительно интенсифицирует процесс испарения капель. Особенно масштабно этот эффект проявлялся в экспериментах с использованием глины для приготовления суспензии. Он обусловлен тем, что теплофизические (теплопроводность λ , температуропроводность a) и оптические характеристики суспензии выше по сравнению с «однородной» или «чистой» водой (без примесей). Частицы глины интенсивно поглощают и аккумулируют энергию излучения пламени (продуктов сгорания), что способствует ускоренному (относительно воды без примесей) нагреву и испарению капель, так как меньше энергии требуется для прогрева приповерхностного слоя капли суспензии до

условий интенсивного испарения. Если в капле присутствует несколько (группа) частиц, то процессы теплообмена между отдельными слоями жидкости ещё более интенсифицируются.

Примеси песка в каплях воды влияют на интенсивность испарения менее значительно, так как степень черноты песка меньше по сравнению с глиной. Однако частицы песка также заметно (по сравнению с водой без примесей) интенсифицируют фазовый переход при изменении массовой концентрации песка в диапазоне 0–10 %

Выделенные эффекты интенсификации испарения суспензий по сравнению с водой без примесей твёрдых частиц подтверждают целесообразность применения существенно неоднородных капель в различных практических приложениях.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского фонда фундаментальных исследований (14–08–00057). Изменение характерного размера капель суспензий выполнено при финансовой поддержке Стипендии Президента РФ для молодых учёных (СП-1350.2015.1).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шиляев М.И., Хромова Е.М. Моделирование процесса тепло-массообмена в оросительных камерах // Теорет. основы хим. технологии. 2008. Т. 42. № 4. С. 419.
2. Сосновский С.К. Оптимальные параметры работы градирен // Технол. аудит и резервы произв. 2012. Т. 5. № 1. С. 5.
3. Волков Р.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Экспериментальная оценка характерных времен “существования” капель жидкостей в форме сферы и эллипсоида при их движении в газовой среде в условиях умеренных чисел вебера // Теорет. основы хим. технологии. 2015. Т. 49. № 4. С. 477.
4. Vysokomornaya O.V., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Experimental investigation of atomized water droplet initial parameters influence on evaporation intensity in flaming combustion zone // Fire Saf. Journ. 2014. V. 70. P. 61.
5. Anufriev I.S., Kuznetsov G.V., Piskunov M.V., Strizhak P.A., Chernetskii M.Yu. Conditions of Explosive Evaporation at the Phase Interface in an Inhomogeneous Droplet // Tech. Phys. Lett. 2015. V. 41. № 8. P. 810.

Научный руководитель: П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., зав. каф. АТП ЭНИН ТПУ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕСТАЦИОНАРНЫМ МЕТОДОМ

Д.И. Глухий

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС, группа 5021

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Национальный исследовательский Томский политехнический университет, кафедра Атомных и тепловых электростанция, группа 5021

В данной работе рассматривалась установка, работа которой основана на методе сочетания квазистационарного и стационарного теплового режимов. Данный метод используется при экспериментальном определении коэффициентов температуропроводности и теплопроводности (КТ).

Рассмотрим теорию метода на примере нагрева неограниченной пластины толщиной δ . Теплофизические свойства материала пластины будем считать постоянными. Тогда математическая постановка задачи будет иметь вид:

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad (1)$$

$$T(x, 0) = T_{нач} = const, \quad (2)$$

$$x = 0, \quad T(0, \tau) = T_0 = const, \quad (3)$$

$$x = \delta, \quad \lambda \frac{\partial T(\delta, \tau)}{\partial x} = q_F = const, \quad (4)$$

где x, τ, a, λ – координата, время, коэффициенты температуропроводности и теплопроводности, соответственно. Решение данной задачи подробно изложено в [2], поэтому приведем формулы, которые используются при экспериментальном определении коэффициентов температуропроводности и КТ:

$$T(\delta, Fo) = T_0 + \frac{q_F \delta}{\lambda} \left[1 + \frac{8}{\pi^2} \exp(-m^2 \tau) \right], \quad (5)$$

$$T(\delta, \infty) = T_0 + \frac{q_F \delta}{\lambda}. \quad (6)$$

Ниже представлена принципиальная схема установки.

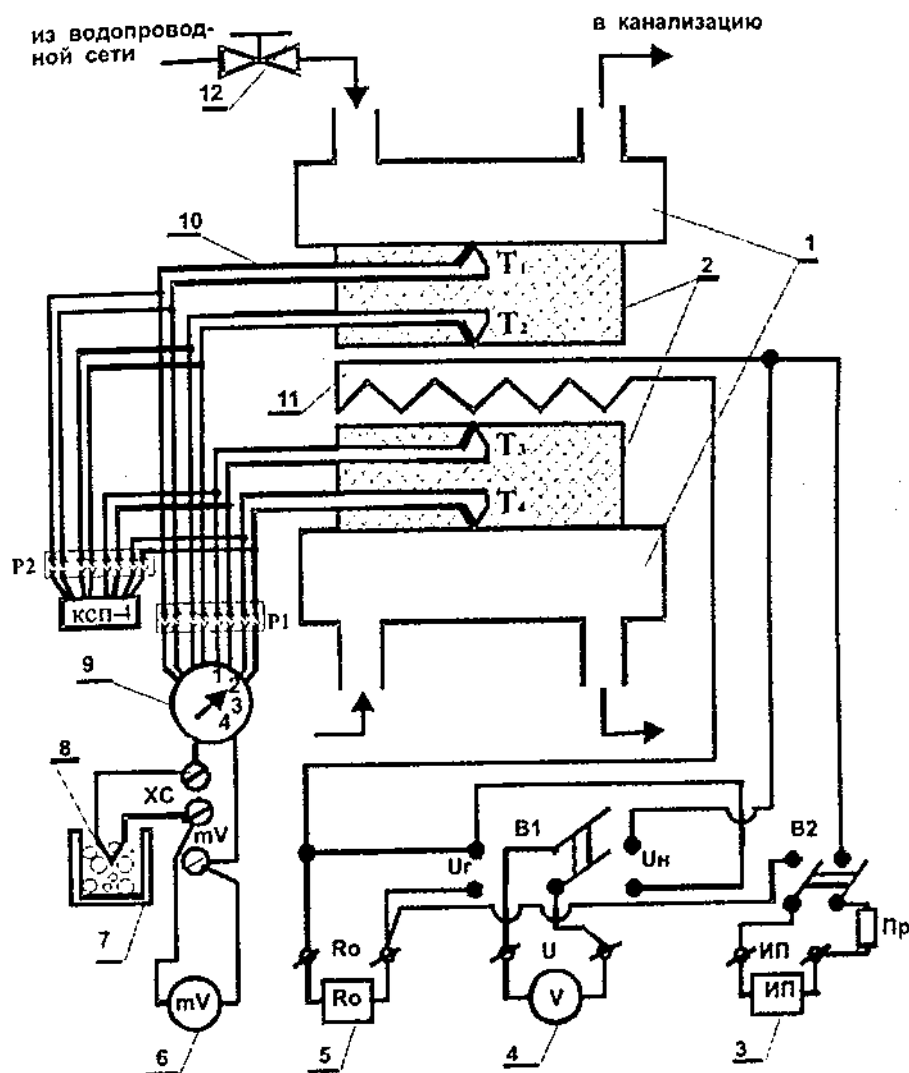


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – холодильник; 2 – образец; 3 – источник питания; 4 – вольтметр; 5 – образцовое сопротивление; 6 – милливольтметр; 7 – сосуд Дьюара; 8 – холодный спай; 9 – переключатель термопар; 10 – термопары; 11 – нагреватель; 12 – вентиль

Два одинаковых по размеру образца 2 с расположенным между ними плоским электрическим нагревателем 11 помещены между двумя холодильниками 1. Через холодильники протекает холодная проточная вода. На противоположных поверхностях, каждого из образцов, заложены термопары 10. Общий холодный спай помещен в сосуд Дьюара 7 с тающим льдом. Подача напряжения на нагреватель осуществляется тумблером В2 от источника постоянного тока 3. Для измерения электрических параметров нагревателя используется цифровой вольтметр постоянного тока 4. Определение силы тока, протекающего через нагреватель, осуществляется с помощью

измерения падения напряжения на известном по величине образцовом сопротивлении 5 при установке тумблера В1 в положение " U_R ".

В эксперименте регистрировалось термо – ЭДС четырех хромель – алюмелевых термопар и по данным НСХ получены значения температур образца в характерных точках.

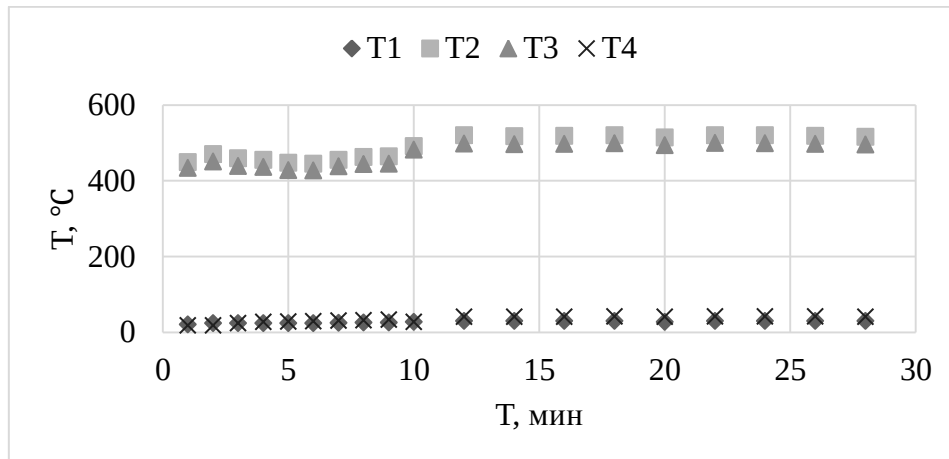


Рис. 2. Данные эксперимента

Параметры образцов следующие: материал – ТЗМК – 10; $\delta = 5,5/5,3$ мм – толщина; $\delta_{np} = 0,5$ мм – поправка на глубину залегания термопар с обеих сторон; $L = 35,8/36,2$ мм – длина; $S = 11,4/10,7$ мм – ширина. Напряжение на нагревателе составило $U_n = 0,53$ В; падение напряжения на эталонном сопротивлении $U_R = 0,15$ В; при сопротивлении $R = 0,01$ Ом.

На стационарной стадии (с 12 мин.) определяется КТ по формуле полученной из (6):

$$\lambda = \frac{\left(U_n \frac{U_R}{R} \right) (\delta - \delta_{np})}{(T_z - T_x) SL} \quad (7)$$

Приведя формулу (5) к безразмерному виду и построив зависимость $Fo = f(\tau)$ можно определить коэффициент температуропроводности по соотношению [2]:

$$a = \delta^2 \operatorname{tg} \alpha \quad (8)$$

Коэффициент объемной теплоемкости определяют по формуле связи

$$C_p \rho = \lambda / a \quad (9)$$

В результате проведенных расчетов были получены следующие значения: КТ среднее для двух образцов $\lambda = 0,1038 \pm 0,0003_{0,95}$ Вт/мК; $a = 560 \cdot 10^{-9}$ м²/с; $C_p \rho = 185,357$ кДж/Км³. В данном методе принима-

лось, что КТ не зависит от температуры что для данного материала можно принять лишь при малых теплоперепадах. В диссертации [1] приводится таблица теплофизических свойств ТЗМК - 10 в зависимости от температуры. Подсчитав среднеинтегральное значение КТ в диапазоне температур $0 \div 600$ °С можно получить следующие табличные данные: $\lambda = 0,1031$ Вт/мК; $\alpha = 719 \cdot 10^{-9}$ м²/с; $C_p \rho = 143,368$ кДж/Км³.

Анализируя полученные результаты можно прийти к выводу, что данная установка позволяет достаточно точно определить КТ при стационарном режиме. В свою очередь определение температуропроводности дает большую погрешность так α вычисляется по формулам основанном на методе не учитывающем изменение КТ от температуры.

ЛИТЕРАТУРА:

1. А. В. Моржухина Высокоточные методы экспериментального и математического моделирования процессов теплообмена в слоях высокопористых теплозащитных покрытий летательных аппаратов. – МАИ, 2014. – 118 с.
2. Методы определения теплопроводности конденсированных сред: учебное пособие / А. С. Заворин, А. В. Кузьмин, Ю. Я. Раков; Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2009. — 184 с.

Научный руководитель: Ю.Я. Раков, к.т.н., доцент, каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

А.О. Горкунов², С.В. Шидловский^{1,2}

¹НИ ТПУ, ЭНИН, АТП

²НИ ТПУ, ЭНИН, АТП, гр. 5БМ4Д

В данном тексте рассмотрены математические модели традиционной системы и геотермальной системы с теплым полом и их сравнение. В качестве параметров сравнения принимаются распределения температурных полей.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, геотермальная энергетика, петротермальная энергия, системы отопления, теплый пол, умный дом.

В настоящее время интенсивно развивается малоэтажное строительство домов организованных по системе «Умный дом». Такое жилье предусматривает высокие уровни комфортности, автономности и экологичности. В связи с данными требованиями актуально исследовать несколько типов систем отопления «умного» дома.

Целью данной работы является рассмотрение математических моделей систем геотермального отопления, как часть системы «умный дом».

Задачи, решаемые в процессе выполнения работы:

- обзор систем геотермальных источников энергии;
- создание математических моделей рассматриваемых систем;
- сравнение рассматриваемых моделей;
- анализ эффективности внедрения систем геотермального отопления в системы умного дома.

В частном секторе, на базе умного дома, есть возможность организовать с низким энергопотреблением с помощью внедрения альтернативного энергоснабжения.

Техническая надежность таких систем достаточно высока, помимо этого срок эксплуатации может составлять порядка 25-30 лет.

Геотермальная энергетика – направление энергетики, основанное на производстве электрической энергии за счёт энергии, содержащейся в недрах земли, на геотермальных станциях. [1]

Принципиально, геотермальная энергетика подразделяется на два направления: петротермальная энергетика и гидротермальная энергетика.

Основой данного типа энергетики служит петротермальная энергия содержащаяся в горячих горных породах (рис. 1), нагреваемых за счет глубинного кондуктивного теплового потока.

В настоящее время широко используется петротермальная энергия неглубоких скважин (до 1 км.), в которых устанавливаются скважинные теплообменники, работающие на жидкостях с низкой температурой кипения (например, фреон) с целью обеспечения домов электричеством, ГВС и отоплением. Петротермальная энергия глубоких скважин (более 1 км), на данный момент, почти не используется. [2]

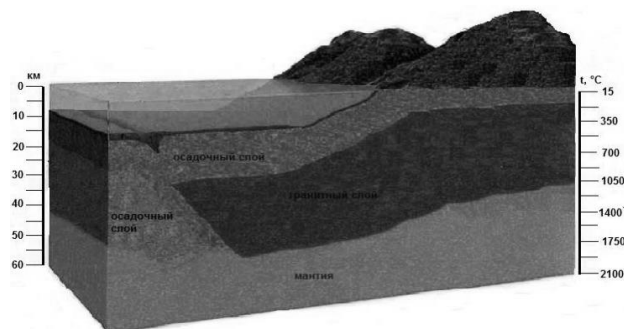


Рис. 1. Геотермальный градиент на определенном участке земной толщи

Конструктивно петротермальную энергетику можно разделить на два типа: с горизонтальным внешним контуром и с вертикальным внешним контуром.

Установка с горизонтальным внешним контуром – наиболее распространенный тип конструкции (рис. 2) для получения петротермальной энергии для систем отопления и ГВС зданий с относительно малыми площадями и большой площадью участка.

Установка с вертикальным внешним контуром. Основными преимуществами данного типа конструкции внешнего контура теплового насоса являются простота укладки контура, короткие сроки установки и высокая эффективность.

Главным недостатком системы, представленным на рисунке 2, является температура над поверхностью земли, т.к. от нее зависит глубина промерзания почвы.



Рис. 2. Горизонтальный внешний контур теплового насоса жилого дома



Рис. 3. Внешний контур теплового насоса вертикального типа

В разрабатываемом проекте выбирается конструкция с внешним горизонтальным контуром на глубине 2,5 метра. Средняя температура отопительного сезона по г. Томск – минус 6,7°С, глубина промерзания грунта 2,2-2,4 метра.

Преимущество выбранной теплонасосной установки с горизонтальным внешним контуром заключается в высокой эффективности преобразования низкопотенциальной энергии (на 1кВт затрачиваемый на выходе 4-7кВт) земли (+4 °С) при наружной температуре воздуха не ниже -20 °С. Для выработки необходимой мощности установки при более низких температурах наружного воздуха подключается электротен.

Для анализа ряда характеристик в помещении создаются две 2D-модели [3,4]. Первая модель (рис. 4) представляет из себя поперечное сечение комнаты с начальными условиями wall – теплый пол, velocity_inlet – окно, outflow – вентиляционный канал.

Вторая модель (рис. 5) является так же поперечным сечением комнаты с начальными условиями wall – радиатор (батарея), velocity_inlet – окно, outflow – вентиляционный канал.

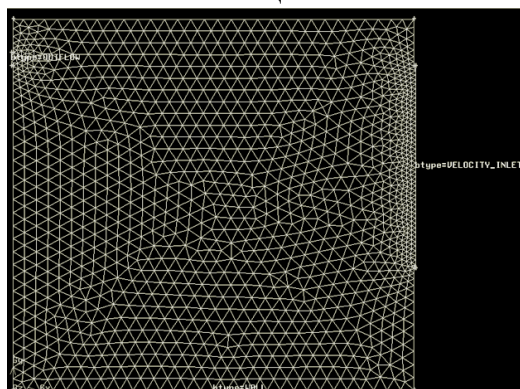


Рис. 4. Модель комнаты с теплыми полами

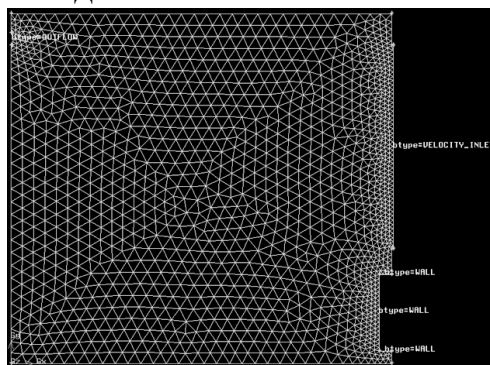
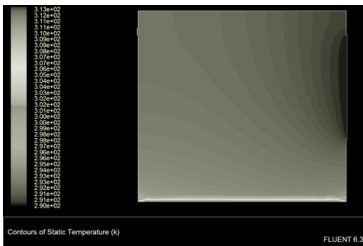
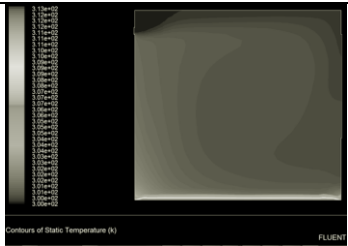
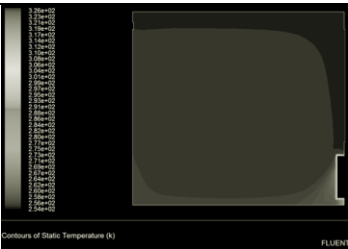


Рис. 5. Модель комнаты с радиаторами

Для исследования температурных и скоростных распределений воздушных масс в помещении задаются входные условия, такие как температура поверхностей нагрева, тип течения потока, характеристики рабочего тела, скорость течения потока на входе.

Результаты моделирования процессов приведены в таблице 1.

Табл. 1. – Сравнение систем отопления

Система	С закрытым окном	С открытым окном
Теплый пол		
Радиатор		

В результате исследований можно сделать вывод, что система отопления с теплыми полами является наиболее комфортной для нахождения человека в помещении (наиболее равномерное распределение температур в помещении), помимо этого она является более экономичной в энергопотреблении и высокоэкологичной. По полученным результатам, можно сказать, что система теплонасосных установок с теплыми полами удовлетворяет требованиям системы «умный дом» и рекомендуема к внедрению.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дворов И. М. Глубинное тепло Земли / Отв. ред. доктор геолого-минералогических наук А. В. Щербаков. — М.: Наука, 1972. — 208 с.
2. Шетов В. Х., Бутузов В. А. Геотермальная энергетика // Энергосбережение. — 2006 — № 4. — С.70–71.
3. Построение расчетных моделей в препроцессоре Gambit универсального программного комплекса Fluent: учеб. пособие/ О.В. Батурин, Н.В. Батурин, В.Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. - 172с.: ил.
4. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса Fluent. Учеб. пособие/ О.В. Батурин, Н.В. Батурин, В.Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. - 151с.: ил.

Научный руководитель: С.В. Шидловский, д.т.н., профессор кафедры АТП, ЭНИН ТПУ.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАРОГЕНЕРАТОРА АЭС С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

В.О. Дмитриев

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС, группа 5012

Необходимость высокого удельного теплосъёма в активной зоне реактора на быстрых нейтронах требует применения жидкометаллических теплоносителей. Жидкие металлы обладают теплопроводностью, много большей, чем у воды, следовательно, интенсивность теплообмена для всех жидких металлов намного выше. Однако теплоёмкость жидких металлов невысока, что приводит к увеличению расхода теплоносителя. В тоже время высокая интенсивность теплообмена позволяет получать значительную разность температур теплоносителя в реакторе. Ещё одним важным преимуществом применения жидких металлов является то, что существенно возрастает начальная температура пара – возрастает термодинамический КПД цикла.

Один из жидкометаллических теплоносителей, который может применяться в современной атомной энергетике, является жидкий калий, обладающий высокой теплопроводностью, вязкостью и плотностью, сравнимой с водой, однако не самой высокой теплоемкостью по сравнению с другими металлами.

Свойства калия во многом схожи со свойствами натрия. Калий обладает высокой химической активностью по отношению к воде и воздуху. Этот факт вынуждает применять трёхконтурную схему: для передачи тепла от реактора рабочему телу имеется два теплообменных аппарата. Промежуточный теплообменник отделяет контур теплоносителя с высокой радиоактивностью от теплоносителя без радиоактивности – поверхность теплообмена омывается однофазными средами (жидкий К).

Парогенератор РУ БОР-60 предназначен для выработки перегретого пара низкого давления в составе исследовательской реакторной установки БОР-60

Парогенератор РУ БОР-60 – прямоточный парогенератор в состав которого входят два модуля: испаритель, первичный пароперегреватель, представляющие собой кожухотрубные теплообменники с трубным пучком в виде ширмы.

Движение теплоносителя и рабочего тела происходит по противоточной схеме. Калий движется в межтрубном пространстве, пре-

имущественно поперечно омывая пучок труб, расположенных по квадратной компоновке.

Результаты

В результате выполнения курсового проектирования был спроектирован парогенератор для ядерной установки БОР-60 на заданные параметры, проведен тепловой расчет двух модулей парогенератора, конструкторский расчет основных элементов парогенератора, определено конструктивное выполнение элементов конструкции парогенератора.

Выбрана конструкция парогенератора. Определена паропроизводительность.

Отдельно определен межпромывочный период поверхности теплообмена, рассчитана стоимость изделия, рассчитаны гидравлические сопротивления по тракту теплоносителя и рабочего тела, рассчитана толщина теплоизоляционного материала.

В курсовом проекте выполнение конструктивных элементов базируется на имеющихся технических решениях подобных изделий, а некоторые конструктивные элементы приняты из ориентирования на прототип - парогенератор ЯУ БОР-60.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кириллов П.Л. и др. Справочник по теплогидравлическим расчётам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Энергоатомиздат, 1990. – 360 с.: ил.
2. Рассохин Н.Г. Парогенераторные установки атомных электростанций: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 384 с.: ил.
3. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара. – М.: Энергия, 1980. – 424с.

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, ассистент каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРЕВА И ЗАЖИГАНИЯ КАПЕЛЬ КОМПОЗИЦИОННОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

А.Г. Косинцев
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5БЗВ

В последнее время все большую популярность среди топлив для объектов энергетики приобретают водоугольные суспензии (ВУС) [1]. По сравнению с традиционным пылеугольным топливом ВУС имеют ряд преимуществ, среди которых: пониженный выброс вредных веществ (в частности, оксидов азота) в атмосферу, технологическое удобство использования угля в жидкой форме и возможность утилизации отходов углепереработки при их добавлении в состав ВУС. Однако подобное топливо обладает низкой реакционной способностью [2–3], что влечет за собой дополнительные затраты ресурсов для зажигания капель ВУС.

Одним из способов повышения реакционной способности является использование легковоспламеняющихся веществ в состав ВУС [4–5]. Топлива с такими добавками называются композиционными жидкими суспензиями (КЖС). В качестве добавок могут выступать отходы продукции нефтяного происхождения, например отработанные масла энергоустановок (турбин, насосов, двигателей внутреннего сгорания).

Цель исследований – установить изменение характеристик нагрева и зажигания композиционных жидких суспензий при варьировании содержания органических отходов – отработанных масел.

На рис. 1 представлен внешний вид экспериментального стенда для исследования процессов, протекающих при нагревании одиночной капли жидкого топлива потоком разогретого воздуха.

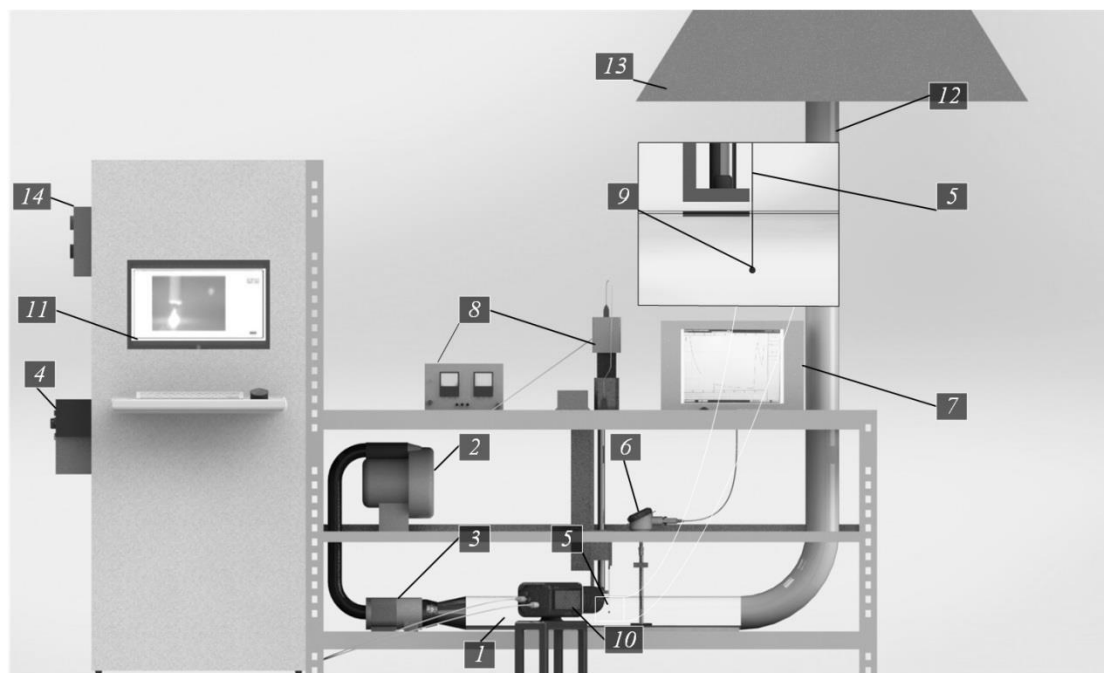


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1 – полый стеклянный цилиндр; 2 – вентилятор высокого давления; 3 – воздухонагреватель; 4 – пульт управления нагревательной установкой; 5 – керамический стержень с наконечником; 6 – термоэлектрический термопреобразователь; 7 – самописец; 8 – координатный механизм подачи капли; 9 – капля композиционного топлива; 10 – высокоскоростная видеокамера; 11 – компьютер; 12 – воздухоотвод; 13 – вытяжка; 14 – пульт управления вытяжкой

Поток разогретого воздуха формировался в цилиндре из кварцевого стекла 1. С использованием вентилятора высокого давления 2 и воздухонагревателя 3 при помощи пульта управления 4 варьировались параметры источника нагрева (температура воздуха $T_g=380\text{--}580\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость потока $V_g=2\text{--}6\text{ м/с}$). Контроль температуры воздуха осуществлялся хромель-алюмелевой термопарой 6, установленной в одном из трех технологических отверстий, выполненных в цилиндре 1. Скорость потока контролировалась анемометром UnionTest AN110.

Для ввода капли в цилиндр с потоком разогретого воздуха применялся координатный механизм 8, который обеспечивал транспортировку капли 9, подвешенной на наконечнике керамического стержня 5, через технологическое отверстие от периферии к центру канала 1.

Температура (T_g), скорость движения (V_g) воздуха, радиус капли (R_d), время задержки зажигания (τ_d) регистрировались и вычислялись при помощи самописца 7, высокоскоростной камеры 10 и компьютера 11. Начальные размеры капель изменялись в диапазоне 0.5–1.5 мм. Смесь потока воздуха с продуктами сгорания КЖС удалялась

из цилиндра 1 при помощи воздухоотвода 12 и вытяжки 13, управляемой пультом 14.

Исследования проведены для двух групп составов. Первая группа представляла 4 состава на основе КЕК (отходы обогащения каменного угля марки К), отличающиеся относительной массовой концентрацией добавляемого отработанного турбинного масла (0, 5, 10, 15 %). Вторая группа включала также 4 состава на основе КЕК и отработанного синтетического автомобильного моторного масла (концентрация 0, 5, 10, 15 %).

На рис. 2 приведены типичные кадры при инициировании горения капли КЖС (КЕК 90 % + отработанное масло автомобильное 10 %).

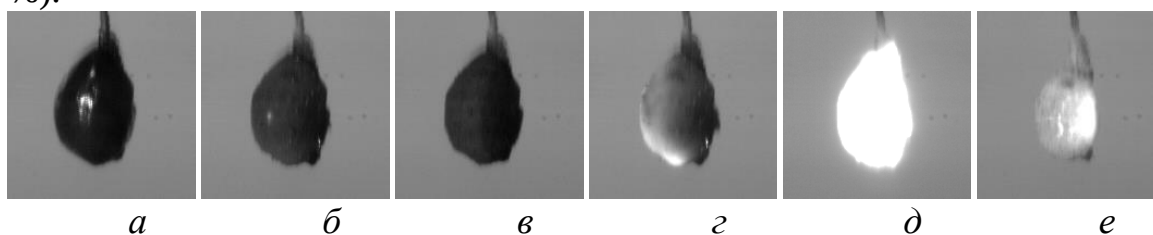


Рис. 2. Типичные кадры со стадиями зажигания капли КЖС при $R_d \approx 1$ мм, $T_g \approx 577$ °С, $V_g \approx 5$ м/с: а – инертный прогрев; б – испарение влаги; в – термическое разложение и выход летучих; з – зажигание углерода; д – горение углерода; е – выгорание углерода

С увеличением концентрации жидкого горючего компонента в составе КЖС изменяется длительность стадий, о чем говорит уменьшение времени задержки зажигания (таблица).

Табл. 1 Времена задержки зажигания (τ_d , с) капель КЖС

Горючая жидкость	Отработанное масло турбинное				Отработанное масло автомобильное			
	0 %	5 %	10 %	15 %	0 %	5 %	10 %	15 %
Капля 0.5 мм	5.49	4.84	4.62	4.45	5.49	5.61	5.50	5.24
Капля 1 мм	14.76	10.52	9.25	8.94	14.76	10.58	10.43	9.69
Капля 1.5 мм	22.03	15.25	15.15	13.27	22.03	16.04	15.94	14.35

Можно отметить довольно близкие значения стадий инертного прогрева для КЖС с разным содержанием органической составляющей. На основе таблицы построен график зависимостей времен задержки зажигания капель КЖС от процентного содержания органических отходов (рис. 3).

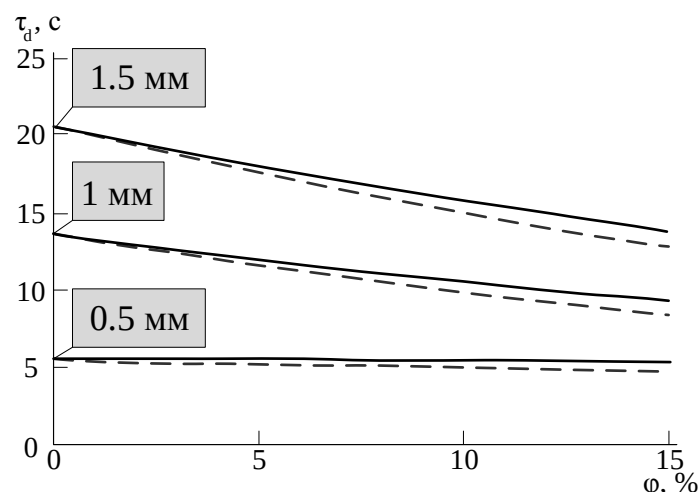


Рис. 3. Времена задержки зажигания капель КЖС в зависимости от массовой доли горючей жидкости: — — — отработанное масло турбинное; — отработанное масло автомобильное

Выполненные исследования показали, что времена задержки зажигания КЖС могут быть снижены на 20–40 % за счет добавления органических отходов, а установленные особенности сжигания КЖС иллюстрируют перспективы замены угольной пыли на композиционные смеси в энергетических установках.

Исследование выполнено за счет средств Российского научного фонда (проект № 15–19–10003).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Gajewski W., Kijo-Kleczkowska A., Leszczynski J. Analysis of cyclic combustion of solid fuels // *Fuel*. – 2009. – V. 88. – P. 221–234.
2. Lior N. Energy resources and use: The present situation and possible paths to the future // *Energy*. – 2008. – V. 33. P. 842–857.
3. Takeshita T., Yamaji K. Potential contribution of coal to the future global energy system // *Environmental Economics and Policy Studies*. – 2014. – V. 8. P. 55–87.
4. Д. Ю. Бухонов, В. В. Морозов. Эффективность многоцелевого использования твердого топлива на ТЭС // *Теплоэнергетика*. – 2003. – № 12. – С. 65–67.
5. Г. С. Ходаков, Е. Г. Горлов, Г. С. Головин. Производство и трубопроводное транспортирование суспензионного водоугольного топлива // *Химия твердого топлива*. – 2006. – № 4. – С. 22–39.

Научный руководитель: П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., доцент, зав. каф. АТП, ЭНИН, ТПУ.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМОСИФОНОВ

А.С. Красношлыков, Г.В. Кузнецов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ТПТ

Термосифоны и тепловые трубы являются перспективными средствами охлаждения и обеспечения тепловых режимов различных энергонасыщенных технических систем [1,2].

Но внедрение термосифонов (ТС) и тепловых труб (ТТ) до последнего времени не является крупномасштабным. В основном это обусловлено тем, что несмотря на относительно простой механизм работы ТС и ТТ, не разработана общая теория процессов теплопереноса в таких устройствах, учитывающая большой комплекс физических процессов, протекающих в зонах испарения и конденсации, в паровом канале, движущейся пленке конденсата.

Известны математические модели физических процессов, протекающих в ТТ и ТС [3, 4]. Но эти модели описывают только отдельные частные случаи работы таких теплопередающих систем и не учитывают весь комплекс процессов теплопереноса в паровой и жидкой фазах рабочей жидкости.

Цель работы – математическое моделирование теплопереноса в двухфазном термосифоне прямоугольного поперечного сечения с использованием пакета ANSYS FLUENT [5] и сравнения результатов численного исследования с экспериментальными данными.

Рассматривается термосифон, принципиальная схема которого приведена на рисунке 1.

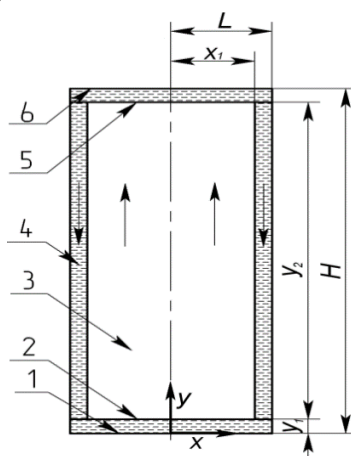


Рис. 1. Принципиальная схема термосифона. 1 – нижняя крышка; 2 – поверхность испарения; 3 – паровой канал; 4 – пленка жидкости; 5 – поверхность конденсации; 6 – верхняя крышка.

Уравнения неразрывности, движения и энергии решаемые в ANSYS FLUENT для пара и пленки жидкости в исследуемой области имеют вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho_1 u_1}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_1 u_1 u_1)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_1 v_1 u_1)}{\partial y} = \rho_1 g_x - \frac{\partial P_1}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_1 \frac{\partial u_1}{\partial y} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho_1 v_1}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_1 u_1 v_1)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_1 v_1 v_1)}{\partial y} = \frac{\partial P_1}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_1 \frac{\partial v_1}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_1 \frac{\partial v_1}{\partial y} \right) \quad (3)$$

$$\rho_1 C_{p1} \left(\frac{\partial T_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} + v_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} \right) = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

где, u_1, v_1 – составляющие вектора скорости в проекции на оси x, y , соответственно; P – давление; T – температура; ρ – плотность; x, y – декартовы координаты; C_p – теплоемкость; g – ускорение свободного падения; λ – коэффициент теплопроводности; μ – вязкость.

Начальные условия для системы уравнений (1–4):

$$u(x, y) = 0; T(x, y) = T_0; P(x, y) = P_0; t = 0.$$

Граничные условия для уравнений (1–4) имеют вид:

$$x = x_1, y_1 \leq y \leq y_1 + y_2, \begin{cases} T_1 = T_2 \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \end{cases}, \begin{cases} u_1 = u_2 = 0 \\ v_1 = v_2 \end{cases};$$

$$y = y_1, 0 \leq x \leq x_1, \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} - Q_e w_e - C_p \rho (T_1 - T_0), v_1 = \frac{w_e}{\rho}, v_2 = 0$$

$$y = y_1 + y_2, 0 \leq x \leq x_1, \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} + Q_c w_c + C_p \rho (T_2 - T_0), v_1 = \frac{w_c}{\rho}, v_2 = 0$$

$$y = 0, 0 \leq x \leq L, \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} = T_h, u_2 = v_2 = 0;$$

$$y = H, 0 \leq x \leq L, \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} = T_c, u_2 = v_2 = 0;$$

Анализ полученных результатов

Численные исследования для термосифона с геометрическими параметрами: $y=100$ см, поперечный размер $x=1,75$ см проводились при тепловых нагрузках на нижней крышке: $114,3 \text{ Вт/см}^2$, $163,39 \text{ Вт/см}^2$, $228,75 \text{ Вт/см}^2$.

При $Q=114,3 \text{ Вт/см}^2$ в верхней части термосифона образуется вихрь (рис.2а), вызванный разнонаправленным движением нагретого пара и охлажденной пленки жидкости. На рис.2б видно, что при увеличении тепловой нагрузки $Q=163,39 \text{ Вт/см}^2$ первоначально образованный вихрь незначительно изменяется в направлении y . Это является следствием увеличения разности скоростей пара и пленки жидко-

сти. При пиковой тепловой нагрузке $Q=228,75 \text{ Вт/см}^2$, что соответствует 86°C на нижней границе термосифона, происходят структурные изменения глобального вихря в виде разделения основного на два (рис.2в).

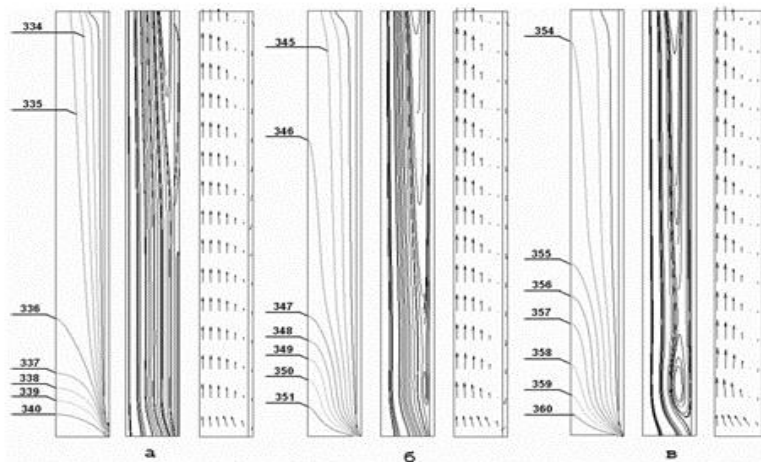


Рис. 2. Линии постоянных температур, линии тока и векторы скорости в исследуемой области. (а) – $114,3 \text{ Вт/см}^2$, (б) – $163,39 \text{ Вт/см}^2$, (в) – $228,75 \text{ Вт/см}^2$.

Проведено сравнение (рис.3) результатов численного моделирования и экспериментального исследования [6]. В условиях эксперимента [6] отвод тепла от верхней части термосифона осуществлялся за счет теплообмена на внешней поверхности ($y=H$) конденсата с охлаждающей жидкостью. Видно, что результаты математического моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными.

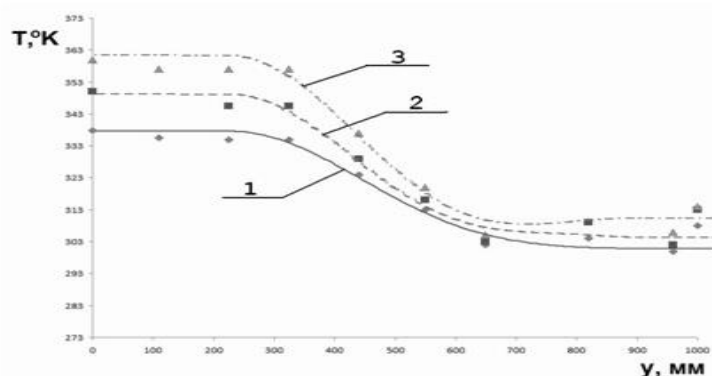


Рис. 3. Распределения температур по y , полученные в результате численного моделирования и экспериментальные данные [6].

1 – $Q_h=114,3 \text{ Вт/см}^2$, 2 – $Q_h=163,39 \text{ Вт/см}^2$, 3 – $Q_h=228,75 \text{ Вт/см}^2$.

Заключение

Математическое моделирование теплопереноса в двухфазном термосифоне прямоугольного поперечного сечения с использованием пакета ANSYS FLUENT показало возможность использования данно-

го пакета при анализе процессов переноса энергии при работе термосифонов при достаточно высоких тепловых нагрузках. Установлено влияние подводимого к нижней крышке теплового потока на гидродинамические характеристики в исследуемой области. Сравнение результатов численного исследования с экспериментальными данными показало, что их отклонение составило от 0,5 до 1,8 %.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Безродный М.К., Пиоро И.Л., Костюк Т.О. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах // Киев. – 2005
2. Безродный, М. К. Двухфазные термосифоны в промышленной теплотехнике // – Киев. – 1991. – 75 с.
3. Kuznetsov G.V., Sitnikov A.E. Numerical analysis of basic regularities of heat and mass transfer in a high-temperature heat pipe // High Temperature. 2002.
4. Kuznetsov G.V., Al-Ani, M.A., Sheremet M.A. Numerical analysis of convective heat transfer in a closed two-phase thermosyphon // Journal of Engineering Thermophysics. 2011.
5. Ansys Help. FLUENT Theory Guide.
6. Alizadehdakhl A., Rahimi M. CFD modeling of flow and heat transfer in a thermosyphon // International Communications in Heat and Mass Transfer 37 (2010) 312–318.

Научный руководитель: Г.В. Кузнецов, д.ф.-м.н., зав. кафедрой ТПТ ЭНИН ТПУ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИПЕРЗВУКОВОГО ОБТЕКАНИЕ МОДЕЛЬНОГО РПД

Е.А. Маслов^{1,2}, С.Ю. Чижов²

¹Томский политехнический университет, ЭНИН, АТЭС

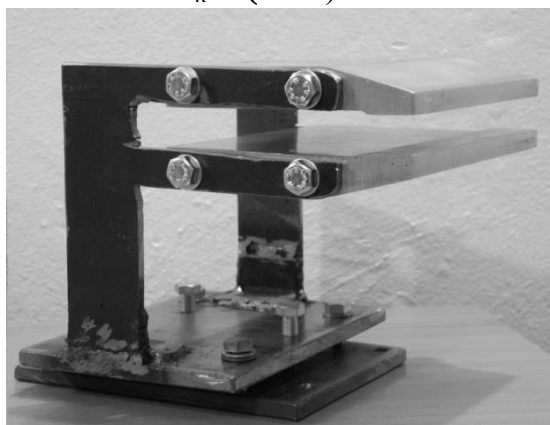
²Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики Томского государственного университета

Ракетно-прямоточные двигатели (РПД) сочетают достоинства твердотопливных и воздушно-реактивных двигателей [1]. В процессе работы РПД изменяются геометрические характеристики проточного тракта вследствие выгорания твердотопливного заряда. Одним из основных факторов, влияющих на внутрибаллистические характеристики РПД, является закон скорости горения твердого топлива в потоке

воздуха. В связи с этим важным этапом при разработке РПД является определение полей температуры, давления и скорости обдувающего потока в проточном тракте двигателя. Математическое моделирование динамики и теплообмена в тракте РПД позволяет получить информацию о структуре потока, о распределении газодинамических параметров по длине канала с учетом изменения его геометрических характеристик вследствие выгорания твердого топлива. Оценка адекватности используемых математических моделей базируется на результатах сравнительного анализа численных и экспериментальных данных, полученных на моделях РПД.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования параметров воздушного потока при обтекании плоской и осесимметричной моделей РПД (рис. 1).

Для обеих моделей на модельной аэродинамической установке (МАУ) [2] проведены эксперименты по измерению температуры, давления и визуализации потока воздуха в диапазонах чисел Маха $M = (5 \div 6)$ и температур торможения набегающего потока в диапазоне $T_0 = (20 \div 500)^\circ\text{C}$. Для создания сверхзвукового потока в аэродинамической установке использовались осесимметричные профилированные сопла с диаметром выходного сечения 100 мм. Время обдува составляло $t_k = (2 \div 3)$ с.



а)



б)

Рис. 1. Фотографии плоской (а) и осесимметричной (б) моделей РПД

Параметры натекающего потока воздуха – скорость, статическое давление, статическая температура, плотность и число Маха определяются значениями параметрами воздуха в форкамере (параметры торможения) p_0 , T_0 , ρ_0 и степенью расширения сопла МАУ. Эти параметры рассчитываются с использованием газодинамических функций [1]. Давление в форкамере в процессе испытаний измерялось датчиком ДМ 5007А – ДИ У2.

Для определения числа Маха в проточном тракте РПД устанавливали комбинированный приемник давления, позволяющий измерять одновременно динамическое и статическое давление. С использованием газодинамических функций значение числа Маха можно определить по формуле:

$$\pi(M) = \frac{p}{p_0} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)^{\frac{k}{1-k}},$$

где p , p_0 – статическое и динамическое давление в потоке соответственно; k – показатель адиабаты газа.

Температура торможения T_0 в проточном тракте моделей при обтекании нагретым воздухом измерялась с помощью хромель-копелевой термопары с диаметром рабочего спая 0.2 мм. Термопара размещалась на оси симметрии проточного тракта вблизи начального сечения.

На рис. 2 приведены типичные результаты измерений давления в форкамере (а), динамического (б) и статического давления (в) и температуры торможения (г) в проточном тракте осесимметричной модели РПД для $M = 5$.

В рассматриваемом эксперименте на МАУ вычисленное значение числа Маха в проточном тракте осесимметричной модели РПД составило $M = 1.87$.

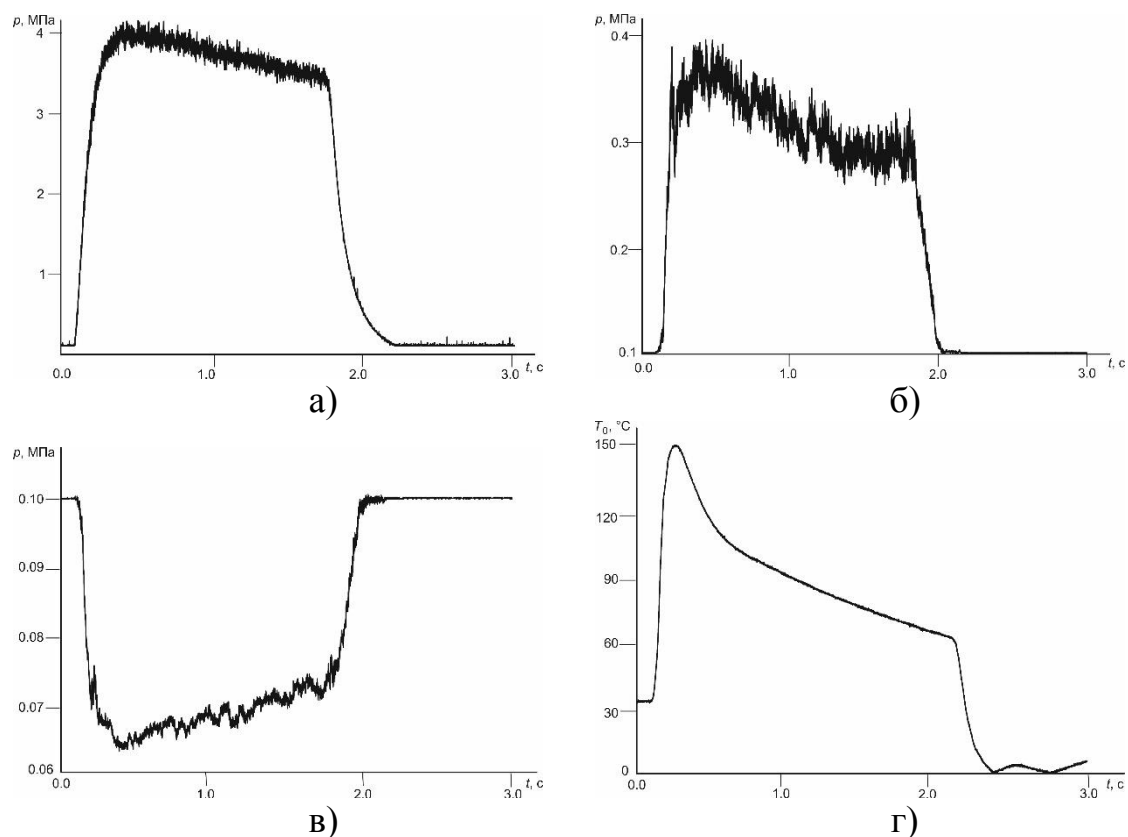


Рис. 2. Результаты измерений: давление в форкамере (а), динамическое давление (б), статическое давление (в), температура торможения (г) в проточном тракте осесимметричной модели РПД, сопло 5М

В сериях опытов на МАУ при обтекании моделей РПД наряду с измерениями основных параметров была проведена визуализация структуры воздушного потока с помощью высокоскоростной видеокамеры. Типичные видеокadres структуры потока в плоской модели для $M = 5$ приведены на рис. 3.

Анализ визуализированной структуры потока показал, что для исследуемых режимов обтекания в проточном тракте моделей РПД развивается течение с набором косых скачков уплотнения.

Полученные на моделях РПД экспериментальные данные о структуре и основных параметрах воздушного потока в проточном тракте являются объективной информацией для математического моделирования внутрикамерных процессов.

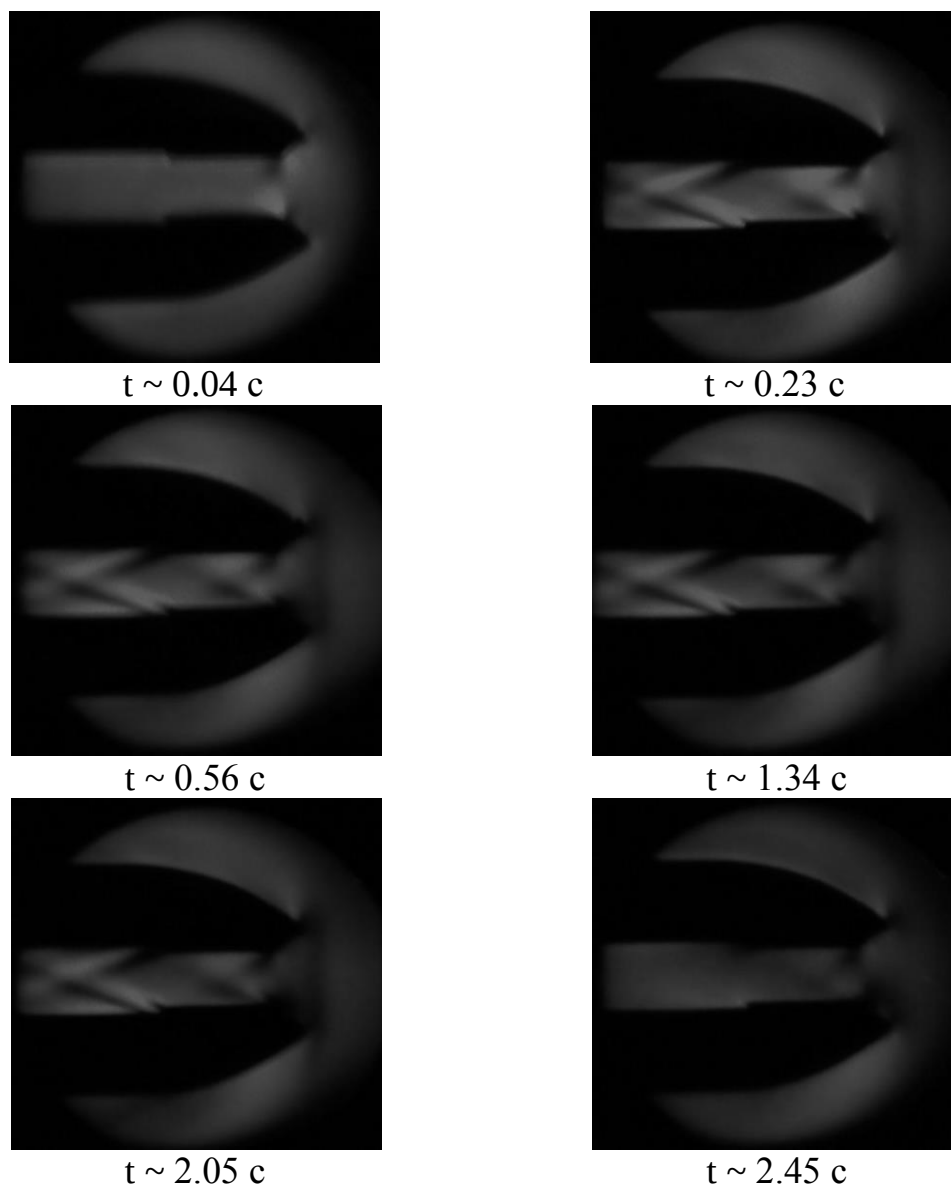


Рис. 3. Кадры видеосъемки обтекания плоской модели РПД, $M_{ex} = 5$

ЛИТЕРАТУРА:

1. Maslov E.A., Klochikhin V.V., Zharova I.K. MATEC Web of Conferences. Volume 23, 2015. Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment. doi: <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/20152301026>
2. Звегинцев В.И. Газодинамические установки кратковременного действия. Часть 1 Установки для научных исследований. – Новосибирск: Параллель, 2014. – 551 с.

Научный руководитель: Е.А. Маслов, к.ф.-м.н., доцент, каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ИНЖЕКЦИИ НА ДВИЖЕНИЕ КАПЛИ В ПОТОКЕ НАСЫЩЕННОГО ПАРА

Е.А. Маслов^{1,2}, А.Б. Бадмаев²

Томский политехнический университет, ЭНИН, АТЭС

²Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики Национального исследовательского Томского государственного университета

Повышение эффективности энергетического оборудования, включающего течение рабочего тела в виде гетерогенного многофазного потока, (в частности, потока пара) связано с новыми конструктивными решениями, обеспечивающими минимальные гидравлические потери, быстрое охлаждение рабочего тела до необходимой температуры. Один из способов увеличения эксплуатационного ресурса таких энергосистем – инжектирование в поток капель жидкости. При этом для предотвращения коррозии стенок канала условия инжекции должны удовлетворять требованию исключения возможности образования водяной пленки вследствие осаждения капель на стенке проточных трактов. В связи с этим возникает необходимость детального изучения основных динамических характеристик капель при движении в потоке пара в зависимости от условий их инжекции.

В настоящей работе приведены результаты численного исследования влияния условий инжекции на характеристики капли воды при инжектировании в поток перегретого пара в цилиндрическом канале. Предполагалось, что в поток пара инжектируется сферическая капля воды, причем в процессе движения в канале форма капли не изменяется. В численных экспериментах варьировались начальный размер, скорость, температура и пространственные координаты инжектируемой капли. Схема области решения представлена на рис. 1.

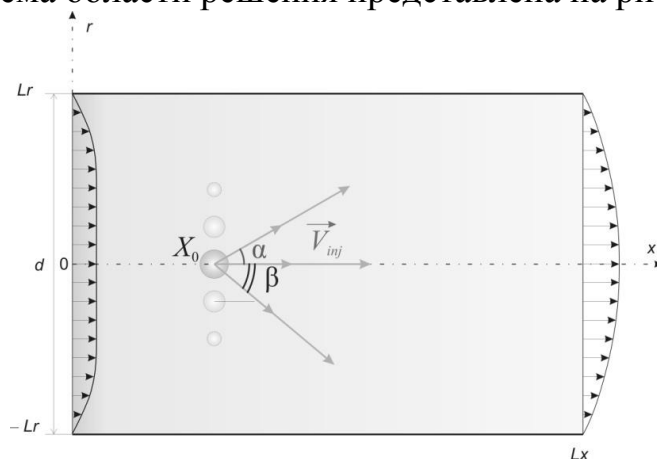


Рис. 1. Область решения задачи

Математически течение пара в канале описывалось системой стационарных уравнений Навье–Стокса. Во входном сечении канала течение считалось безвихревым с параболическим профилем скорости u_{in} и постоянной температурой T_{in} . На выходе из канала задавались «мягкие» граничные условия; на стенках канала – условия «прилипания» и адиабатичности.

При движении капли в потоке перегретого пара учитывалось, что ее размер изменяется вследствие испарения. Динамика капли переменного размера моделировалась уравнением движения в поле скоростей установившегося течения пара с учетом сил вязкого сопротивления и силы тяжести. Тепловое состояние капли описывалось нестационарным одномерным уравнением теплопроводности с соответствующими начальными и граничными условиями. Скорость испарения с поверхности капли определялась соотношением Кнудсена–Ленгмюра.

Численное решение задачи реализовано методом контрольных объемов [1]. При реализации граничного условия на поверхности канала использовались пристеночные функции с эмпирическими зависимостями для течений с малыми числами Рейнольдса [2]. Дифференциальные уравнения аппроксимировались неявной пятиточечной схемой. При аппроксимации конвективных членов использовалась противопоточная схема QUICK, для расчета поля течения – процедура PISO. Диффузионные члены аппроксимировались центральной схемой второго порядка.

Численный анализ проведен при следующих условиях: длина канала $L_x = 2$ м; радиус сечения канала $L_r = 0.25$ м; температура потока паровоздушной смеси $T_f = 100$ °С; начальная скорость потока $u_{in} = 10$ м/с; начальная температура инжектируемой капли воды $T_{inj} = 20$ °С. В параметрических исследованиях варьировались начальный диаметр капель в диапазоне $d_0 = (1 \div 7) \cdot 10^{-3}$ м, начальные координаты $X_0 = \{0; (-0.2 \div 0.2)\}$ м и компоненты вектора начальной скорости частиц $V_{inj} = \{1; (-0.5 \div 3)\}$ м/с. На рис. 2 представлены траектории движения испаряющихся капель с различным начальным диаметром при постоянных значениях начальных координат $X_0 = \{0; 0\}$ м и скорости $V_{inj} = \{1; 1\}$ м/с. На рис. 3 приведены траектории движения капли начального диаметра 5 мм в зависимости от скорости инжекции.

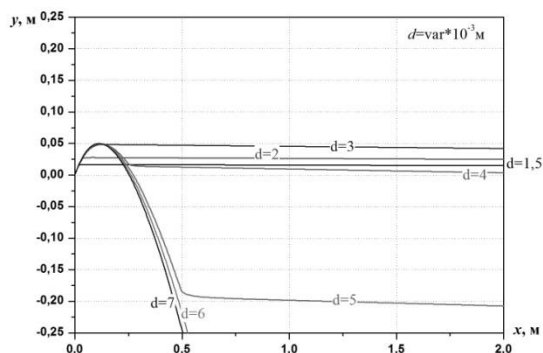


Рис. 2. Траектории движения капли в зависимости от начального диаметра

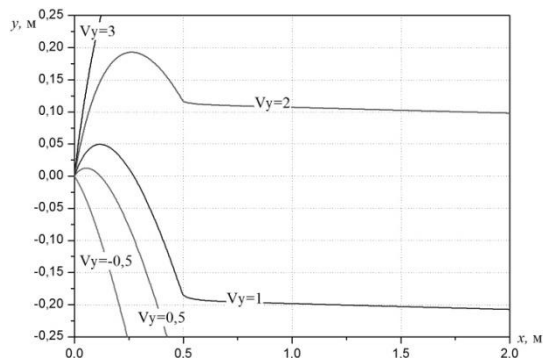
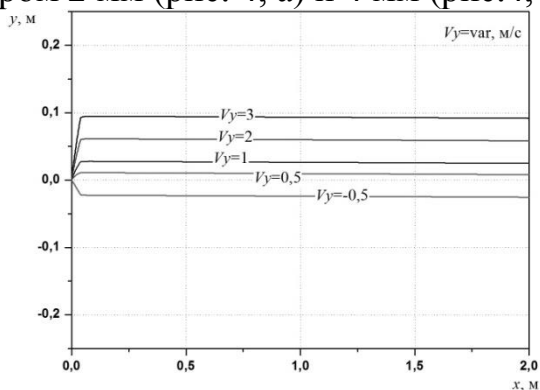
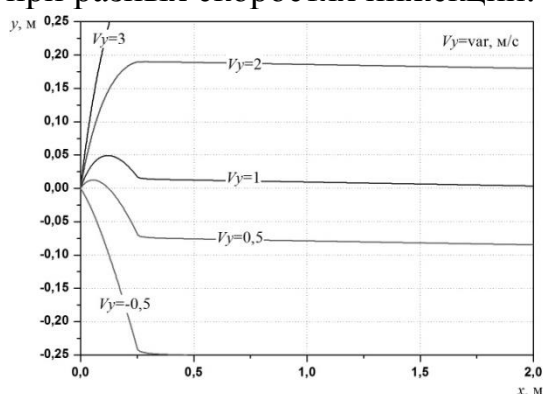


Рис. 3. Траектории движения капли в зависимости от скорости инъекции

При движении капли в потоке перегретого пара основным фактором, влияющим на условия ее осаждения на стенке канала, является испарение. На рис. 4 приведены траектории движения капель диаметром 2 мм (рис. 4, а) и 4 мм (рис. 4, б) при разных скоростях инъекции.



а)



б)

Рис. 4. Траектории движения капель диаметром 2 мм (а) и 4 мм (б) в зависимости от скорости инъекции;

Анализ результатов численного исследования показал, что при заданных параметрах исследования капли воды с начальными диаметрами менее 2 мм полностью испаряются при инъекции в поток перегретого пара на оси симметрии канала. Капли диаметром 5 мм испаряются при начальной инъекции в диапазоне координат $X_0 = \{0; (0 \div 0.2)\}$ м. Протяженность участка испарения одинакова, составляет ~ 0.5 м и в меньшей степени зависит от начального распределения скорости потока. Для исключения осаждения капель большего диаметра на стенке канала с дальнейшим образованием жидкой пленки необходимо увеличить скорость их инъекции в осевом направлении.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Versteeg H.K., Malalasekera W. An introduction to computational fluid dynamics. The finite volume method. – Longman Scientific & Technical, 1995. – P. 258.
2. Maslov Ye.A., Zharova I.K., Fedotova N.S. Fluid dynamics and heat and mass transfer when interacting of heterogeneous jets with surfaces of different shapes // POWER ENGINEERING EFFICIENCY, RELIABILITY, SAFETY. Selected reports of all-Russian scientific and technical Conference. – London: Red Square Scientific. Published: 5 December 2014. – Pp. 40-44.

Научный руководитель: Е.А. Маслов, к.ф.-м.н., доцент каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ГРЕТЦА-НУССЕЛЬТА

В.Г. Милютин, В.С. Логинов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ТПТ

Задача Гретца-Нуссельта

Задача Гретца-Нуссельта формулируется для ламинарного стабилизированного течения жидкости в круглой трубе при постоянной температуре стенки по длине трубы при заданных расходе жидкости, температурах стенки и на входе в трубу решена с учетом следующих условий:

1. процесс теплообмена принимается стационарным;
2. жидкость считается несжимаемой и ее физические свойства постоянны (не зависящие от температуры);
3. в потоке отсутствуют внутренние источники теплоты, а теплота трения пренебрежимо мала;
4. тепловым потоком вдоль трубы за счет теплопроводности можем пренебречь по сравнению с конвективным тепловым. После преобразований, приведенных в [1] уравнение энергии в безразмерном виде запишется так:

$$\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial \Theta(X, R)}{\partial R} \right) = (1 - R^2) \frac{\partial \Theta(X, R)}{\partial X}, \quad (1)$$

$$\text{где } \Theta = \frac{g}{g_0} = \frac{t - t_{cm}}{t_0 - t_{cm}}, \quad R = \frac{r}{r_0}, \quad X = \frac{a}{2\pi r_0} \frac{x}{r_0} = \frac{2}{Pe} \frac{x}{d};$$

с граничными условиями:

$$\text{при } X = 0, 0 \leq R < 1 \quad \Theta = 1; \quad (2)$$

$$\text{при } X \geq 0, R = 0 \quad \partial\Theta/\partial R = 0,$$

$$\text{при } X \geq 0, R = 1 \quad \Theta = 0 \quad (3)$$

Решение системы (1), (2), (3) подробно приводится в [1,3]

$$\Theta(X, R) = \sum_{N=0}^{\infty} A_n \exp(-\varepsilon_n^2 X) \Psi_n(r), \quad (4)$$

В работе [4] была исследована область применимости решения Гретца-Нуссельта, исследованием при различных X и R ($0 \leq X < \infty, 0 \leq R \leq 1$) и заданных n для полученного $\delta\Theta(X, R)$ - отклонение решения Гретца-Нуссельта от нуля (истины):

$$\begin{aligned} \delta\Theta(X, R) = & \sum_{n=0}^{\infty} A_n \exp(-\varepsilon_n^2 X) \Psi_n''(R) + \frac{1}{R} \sum_{n=0}^{\infty} A_n \exp(-\varepsilon_n^2 X) \Psi_n'(R) - \\ & - (1 - R^2) \sum_{n=0}^{\infty} A_n (-\varepsilon_n^2) \exp(-\varepsilon_n^2 X) \Psi_n(R) \end{aligned} \quad (5)$$

а также сделан вывод о применимости данного решения: $0 \leq R < 0.1, 0 \leq X < \infty$; и $1 \leq X < \infty, 0 \leq R \leq 1$. Откуда – возможна необходимость определение коэффициентов теплообмена

Другие приближенные решения задачи Гретца-Нуссельта

Были найдены два дополнительных решения системы уравнений (1), (2), (3).

Первое:

$$\Theta_1(X, R) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \sin \mu_n}{\mu_n} \cos(\mu_n R) \exp(-2\mu_n^2 X), \quad (6)$$

с отклонением от нуля для $n = 4$:

$$\begin{aligned} \delta\Theta_1(X, R)|_{n=4} = & \frac{\partial^2 \Theta}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \Theta}{\partial R} - (1 - R^2) \frac{\partial \Theta}{\partial X} = \\ = & (2/R) \left[\begin{aligned} & \sin(\pi R/2) \exp(-\pi^2 X/2) - \\ & - \sin(3\pi R/2) \exp(-9\pi^2 X/2) + \\ & + \sin(5\pi R/2) \exp(-25\pi^2 X/2) - \\ & - \sin(7\pi R/2) \exp(-49\pi^2 X/2) \end{aligned} \right] + \\ + & \pi(1 - 2R^2) \left[\begin{aligned} & \cos(\pi R/2) \exp(-\pi^2 X/2) - 3\cos(3\pi R/2) \exp(-9\pi^2 X/2) + \\ & + 5\cos(5\pi R/2) \exp(-25\pi^2 X/2) - 7\cos(7\pi R/2) \exp(-49\pi^2 X/2) \end{aligned} \right] \end{aligned} \quad (7)$$

которое позволяет выделить область применения приближенно-го решения (6): $0 \leq R < 1, 0.01 < X < \infty$.

И второе:

$$\Theta_2(X, R) = \Psi(R) \Phi(X) = \frac{1}{2} (1 - R^2) \exp(-\varepsilon^2 X), \quad (8)$$

с соответствующим отклонением от истинного уравнения энергии $\delta\Theta_2(X, R)$ от нуля:

$$\delta\Theta_2(X, R) = \frac{(R^4 - 2R^2 - 8R^2 X + 1)}{\exp(4X / (R^2 - 1)^2)(R^2 - 1)^5}, \quad (9)$$

с областью применения решения (8), приближенно, как: $0 \leq R < 1$, $0 < X < 0.01$.

Вывод:

1. Полученные приближенные решения задачи Гретца-Нуссельта имеют более простой символьный вид решения уравнения энергии. Это дает преимущество при использовании в программировании, по сравнению с известным «классическим» решением, в котором используются сложные рекурсивные зависимости, малоприспособные для практического применения.
2. Вычисленные отклонения уравнения энергии для всех приведенных в докладе дополнительных решений позволяет сделать вывод о возможном их комплексном использовании.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Петухов Б.С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах. М.: Энергия, 1967. 411с.
2. Исаев С.И., Кожин И.А. и др.; под ред. Леонтьева А.И. Теория тепломассообмена: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1997. 683с.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача, М., 1975
4. Логинов В.С., Милютин В.Г. О приближенном решении задачи Гретца-Нуссельта //Наука промышленность оборона. 2015. С. 555-558.

Научный руководитель: В.С. Логинов д.ф.-м.н., профессор кафедры ТПТ ЭНИН ТПУ.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ДВУХФАЗНОМ ТЕРМОСИФОНЕ

А.Е. Нурпейис

Томский политехнический университет
ЭНИН, ТПТ

Тепловые трубы [1,2] и термосифоны [3,4] являются перспективными системами охлаждения различного оборудования. Но пока термосифоны используются мало. Это связано с отсутствием общей теории процессов теплопереноса в таких системах, обеспечивающей возможность их практической разработки. Математические модели [5,6], используемые для описания [4] процессов конвекции в паровом канале и пленке хладагента в термосифонах, достаточно сложны. Целесообразным является разработка менее сложных (по сравнению с [5,6]) моделей, учитывающих тепловые эффекты испарения и конденсации хладагента, а также теплопроводность.

Цель настоящей работы – математическое моделирование температурных полей замкнутых двухфазных термосифонов.

Рассматривался термосифон, принципиальная схема которого приведена на рис.1. Энергия источника тепловыделения, расположенного вблизи нижней крышки термосифона, поступает через границу $z=z_1$ в зону испарения хладагента. В результате интенсивного парообразования возникает перепад давления. Пары быстро перемещаются к верхней границе парового канала, температура которой ниже температуры конденсации используемого в качестве хладагента вещества. Происходит конденсация. Образовавшаяся жидкость под действием силы тяжести стекает по вертикальным стенкам парового канала и растекается по поверхности нижней крышки термосифона. Процессы испарения и конденсации продолжаются в течение периода подвода теплоты на нижней границе и отвода с верхней границы крышки термосифона. Фазовые переходы на границах раздела фаз обеспечивают отвод теплоты от тепловыделяющего оборудования. В большинстве практически значимых приложений термосифоны работают в течение длительных периодов времени в стационарных режимах. Поэтому при постановке задачи теплопереноса возможен ряд допущений. Основными являются следующие.

1. Характерные времена движения паров по каналу термосифона много меньше характерных времен теплопроводности в жидкой пленке на нижней и верхней крышках термосифона, поэтому не

рассматриваются процессы движения пара в канале термосифона.

- В стационарных режимах работы характеристики процесса движения пленки конденсата по боковой поверхности парового канала не зависят от времени, поэтому толщина пленки хладагента может быть принята при постановке задачи постоянной.

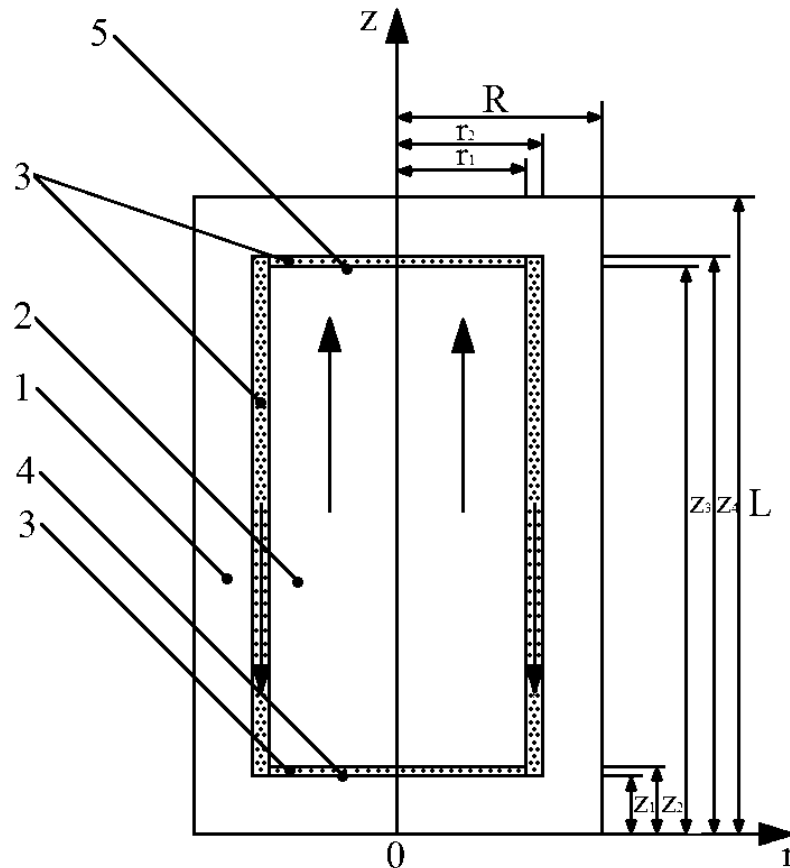


Рис. 1. Схема замкнутого термосифона: 1 – металлический корпус; 2 – паровой канал; 3 – пленка жидкости; 4 – поверхность испарения; 5 – поверхность конденсации. Вертикальными стрелками показаны направления движения пара и жидкости

Сформулированные допущения не накладывают существенных ограничений на общность постановки задачи. Основными в комплексе процессов тепломассопереноса в термосифоне при его работе являются фазовые переходы на нижней и верхней границах парового канала. При постоянной интенсивности испарения жидкости (и соответственно конденсации паров на верхней крышке) конденсат будет возвращаться в зону подвода теплоты под действием силы тяжести со скоростью, не зависящей от скорости его испарения на нижней границе парового канала. С ростом интенсивности парообразования увеличивается перепад давления в канале (2) (рис.1) и, соответственно скорость

поступления паров к поверхности конденсации. Всегда можно оценить предельные значения параметров движения пленки конденсата, при достижении которых может возникнуть кризис «полного выкипания хладагента» на нижней крышке термосифона. Соответственно моделирование в рамках моделей Навье - Стокса [5,6] или Прандтля [2] движения паров в канале (2) и пленки конденсата (3) может в ряде практически значимых случаев не приводить к существенным изменениям интегральных характеристик теплопереноса при работе термосифонов.

В тоже время решение полной системы уравнений вязкой жидкости [5,6] при описании движения пара в канале (2) может приводить к многократному увеличению времени вычислений. Даже переход к модели пограничного слоя [2] сопряжен с достаточно длительными вычислениями при решении задачи теплопереноса в термосифонах. Поэтому принятые при постановке задачи допущения создают объективные предпосылки для существенного снижения затрат времени при ее решении в условии учета основных значимых факторов и процессов.

Численный анализ проводился для термосифона цилиндрической формы со стальными стенками. Рабочей жидкостью рассматривался водяной пар с соответствующими теплофизическими характеристиками. Были выбраны типичные геометрические размеры термосифона: высота – 50 см, радиус парового канала – 25 мм, толщина пленки жидкости – 1 мм, толщина стенок – 2,5 см.

Разработанная математическая модель отличается от известных балансных моделей [7,8], описывающих теплопередающую способность термосифонов с использованием экспериментальных данных, возможностью расчета температур поверхности нижней крышки в любом поперечном сечении. Последнее является важным при анализе и оценке предельных тепловых нагрузок на термосифоны. Возможны аварийные режимы работы последних в условиях перегрева и последующего полного осушения поверхности нижней крышки. Разработанный подход к анализу тепловых режимов термосифонов позволяет вычислять параметры предельных условий их работы.

Следует также отметить, что сформулированная математическая модель теплопереноса в термосифонах может быть развита на режимы интенсивного кипения жидкого хладагента на поверхности кипения крышки термосифона при толщине пленки до нескольких миллиметров. В этом случае несколько усложняется алгоритм численного решения в связи с ростом интенсивности поглощения энергии в зоне ки-

пения. Но, с другой стороны, расширяется диапазон температур и тепловых потоков, достигаемых при работе термосифона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ohashi K., Hayakawa H., Yamada M. Preliminary study on the application of the heat pipe to the passive decay heat removal system of the modular HTR // Prog. Nucl. Energy. – 1998. – V. 32. – № 3/4. – P. 587–594.
2. Kuznetsov G.V., Sitnikov A.E. Numerical analysis of basic regularities of heat and mass transfer in a high-temperature heat pipe // High Temperature. – 2002. – V.40. – № 6. – P. 898-904.
3. Безродный М.К., Пиоро И.Л., Костюк Т.О. Процессы переноса в двухфазном термосифонных системах. – Киев: Факт, 2005. – 704 с.
4. Kuznetsov G.V., Al-Ani M.A., Sheremet M.A. Numerical analysis of convective heat transfer in a closed two-phase thermosyphon // Journal of Engineering Thermosyphon. – 2011. – V.20. – № 2. – P. 201–210.
5. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. Mathematical modeling of complex heat transfer in a rectangular enclosure // Thermophysics and Aeromechanics. – 2009. – V. 16. – № 1. – P. 119–128.
6. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. New approach to the mathematical modeling of thermal regimes for electronic equipment // Russian Microelectronics. – 2008. – V.37. – № 2. – P.131–138.
7. Фролов В.П., Шелгинский А.Я. Тепловые трубы в системах теплоснабжения // Энергосбережение. – 2004. – № 6. – С. 58–62.
8. Tsai T.E., Wu H.H., Chang C.C., Chen S.L. Two-phase closed thermosyphon vapor-chamber system for electronic cooling // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2010. – V. 37. – № 5. – P. 484-489.

Научный руководитель: Г.В. Кузнецов, д.ф.-м.н, профессор, зав. кафедрой ТПТ ЭНИН ТПУ.

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ ЗАТОПЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНВЕКТИВНО-КОНДУКТИВНОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА

Н.В. Разумов¹, В.Ю. Половников²
Томский политехнический университет
ЭНИН, ТПТ^{1,2}, группа 5БМ52¹

Высокий уровень теплопотерь в тепловых сетях [1] и усиление роли децентрализованного теплоснабжения [2] создали предпосылки для разработки новых подходов [3, 4] к исследованию тепловых режимов и анализу фактических тепловых потерь в сетях теплоснабжения. При этом главным фактором, приводящим к повышению уровня теплопотерь, является работа теплопроводов тепловых сетей в условиях затопления и увлажнения изоляции [3]. До настоящего времени при проведении анализа тепловых потерь в тепловых сетях, работающих в условиях затопления, область решения ограничивалась внешней поверхностью тепловой изоляции и использовались только кондуктивные модели теплопереноса [3], не учитывающие конвективное движение среды [4] в полости канала при канальной прокладке теплопроводов, являющейся наиболее типичной для России [5].

В качестве примера рассматривается широко распространенная в РФ конфигурация теплопровода подземной прокладки [5] – непроходной железобетонный канал и трубопровод изолированный минеральной ватой и защитным покровным слоем (рисунок). Предполагается, что полость канала (рисунок) заполнена водой, а покровный слой и тепловая изоляция увлажнены.

Для рассматриваемой области (рисунок) решалась двумерная сопряженная стационарная задача конвективно-кондуктивного теплопереноса в системе «слой тепловой изоляции – покровный слой – полость канала – стенка канала теплопровода – грунт – окружающая среда». Математическая модель для рассматриваемой задачи полностью аналогична модели, приведенной в [4]. Решение этой задачи получено методом конечных элементов [6].

Исследования проводились для теплопровода, конфигурация которого аналогична конфигурации описанной в [4]: диаметр условного прохода 600 мм, изоляция – минеральная ватой (толщина 70 мм) [5], покровный слой – песчанно-цементная штукатурка по каркасу из металлической сетки толщиной 20 мм [5]. Рассматривался типичный для тепловых сетей РФ сборный одноячейковый железобетонный ка-

нал марки КЛс210-120 [4] с толщиной стенок 135 мм. Расстояние от поверхности грунта до верхней части канала составляло $H = 1$ метр. Температура внутренней поверхности слоя изоляции принималась равной 373 К, а температура внешней среды – 273 К. Коэффициент теплоотдачи от грунта к внешней среде – $15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

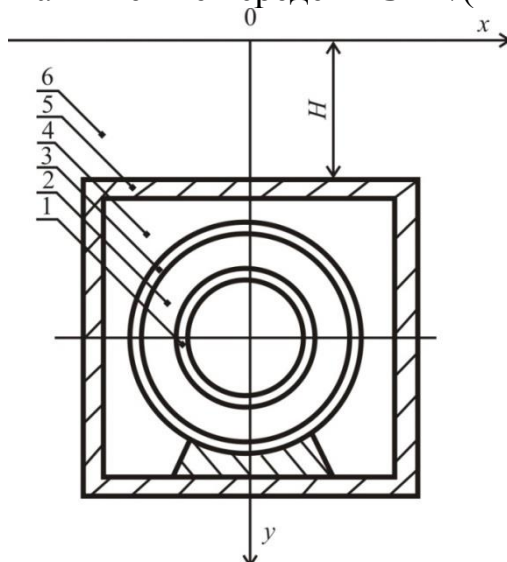


Рис.1. Теплопровод: 1 –стенка трубы; 2 – слой изоляции; 3 – покровный слой; 4 – полость канала; 5 – стенка канала; 6 – грунт.

Теплофизические свойства покровного слоя и тепловой изоляции (рисунок) в условиях их увлажнения определялись как эффективные [7]. Например, эффективный коэффициент теплопроводности тепловой изоляции $\lambda_{\text{и}}^{\text{эф}}$ вычисляется из соотношения:

$$\lambda_{\text{и}}^{\text{эф}} = \lambda_{\text{и}} \varphi_{\text{и}} + \lambda_{\text{в}} \varphi_{\text{в}},$$

где λ – теплопроводность, φ – объемная доля, и – изоляция, в – вода.

Здесь следует отметить, что максимально возможное объемное содержание воды в покровном слое и тепловой изоляции ограничено значениями открытой пористости материалов и не превышает 73 %. В таблице 1 приведены значения [8] теплофизических характеристик.

Табл. 1. Теплофизические характеристики материалов [8].

Характеристика	Тепловая изоляция	Покровный слой	Стенка канала	Грунт
Теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	0.059	0.87	1.54	1.5
Теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	670	837	887	1150
Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	206	1750	2200	1960

Сопоставление результатов моделирования с известными данными по исследованию теплопереноса в зонах размещения теплотрасс

[9] и экспериментальному определению тепловых потерь теплопроводов в условиях затопления [3] позволяет говорить о хорошем качественном и количественном согласовании результатов. Относительные отклонения между результатами экспериментальных [3] и теоретических (таблица 2) исследований составляют не более 17 %.

В таблице 2 приведены результаты расчета тепловых потерь Q затопленного теплопровода в зависимости от значений объемной доли воды φ_v в структуре тепловой изоляции и покровного слоя, тепловые потери $Q_{сп}$, вычисленные в соответствии с [10], для теплопровода конфигурация которого аналогична рассматриваемой в данной статье и тепловые потери Q_0 [4], рассчитанные для варианта когда полость канала занимает воздух с относительной влажностью 100 %.

Таб. 2. Результаты численного моделирования.

Вариант расчета	Q_0 [4]	$Q_{сп}$	Q				
Объемная доля воды в теплозащитных слоях	$\varphi_v=0.0$			$\varphi_v=0.1$	$\varphi_v=0.25$	$\varphi_v=0.5$	$\varphi_v=0.73$
Тепловые потери, Вт/м	132.29	127.43	134.38	207.16	274.53	337.29	370.66
Средняя температура среды в полости канала, К	298.8	298.4	298.9	312.5	325.3	337.2	343.5
$\delta_0 = \frac{Q-Q_0}{Q}100\%$	-	-	1.5	30.1	51.8	60.8	64.3

Результаты моделирования позволяют сделать вывод о увеличении тепловых потерь рассматриваемого теплопровода с ростом объемной доли воды в структуре изоляционных слоев. Для рассматриваемого случая увеличение тепловых потерь δ_0 составляет от 1.5 % до 64.3 %. Это обусловлено изменением характеристик покровного слоя и тепловой изоляции при их увлажнении. Сопоставление между собой значений Q_0 и $Q_{сп}$ позволяет сделать вывод о том, что расхождение между ними не превышает 4 %, что подтверждает адекватность методики [4].

Отдельный интерес представляет анализ тепловых потерь рассматриваемой системы без увлажнения теплозащитных слоев (при $\varphi_v=0.0$). В этом случае рост тепловых потерь δ_0 в условиях затопления по сравнению с потерями, когда полость канала занимает влажный воз-

дух, составляет около 1.5 %. Это объясняется тем, что средние температуры среды в полости канала (влажный воздух или вода) отличаются друг от друга не значительно. Разница в значениях средних температур среды в этих условиях составляет не более 0.1 К (таблица 2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Фахразиев И. З. Зацаринная Ю. Н. Малая энергетика России. Анализ текущего состояния и перспективы развития // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 20. – С. 350–352.
2. Стенников В. А., Якимец Е. Е., Жарков С. В. Оптимальное планирование теплоснабжения городов // Промышленная энергетика. – 2013. – № 4. – С. 9–15.
3. Кузнецов Г. В., Половников В. Ю. Экспериментальное определение тепловых потерь теплопроводов в условиях затопления // Промышленная энергетика. – 2010. – № 7. – С. 43–45.
4. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Новый подход к анализу тепловых режимов систем транспортировки тепла // Энергосбережение и водоподготовка. – 2011. – №2. – С. 64-67.
5. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. / Под ред. А. А. Николаева. – Курган.: Интеграл, 2010. – 357 с.
6. Самарский А. А., Гулин А. Н. Численные методы математической физики. – М.: Научный мир, 2000. – 316 с.
7. Чудновский А. Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. – М.-Л.: Физматгиз, 1962. – 456 с.
8. Гува А.Я. Краткий теплофизический справочник. – Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 300 с.
9. Иванов В. В., Вершинин Л. Б. Распределение температур и тепловых потоков в зоне подземных теплотрасс // Вторая Российская национальная конференция по теплообмену: Теплопроводность, теплоизоляция. – М.: Издательство МЭИ, 1998. – Т. 7. – С. 103–105.
10. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. – М.: Госстрой России, 2001. – 42 с.

Научный руководитель: В.Ю. Половников, к.т.н., доцент кафедры ТПТ ЭНИН ТПУ.

ОТЛИЧИЕ УСЛОВИЙ ЗАЖИГАНИЯ КАПЕЛЬ ВОДОУГОЛЬНОГО И ОРГАНОВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ПРИ КОНВЕКТИВНОМ НАГРЕВЕ

Д.П. Шабардин¹, Д.О. Глушков²

^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, ¹группа 5БМ53

В настоящее время на большинстве промышленных предприятий скапливаются низкокалорийные твердые отходы угольного производства, жидкие отходы нефтехимии и нефтепереработки, а также другие горючие отходы, которые, как правило, не используются в качестве энергоресурсов [1]. Эти отходы складываются в хранилищах или на открытых полигонах, что приводит к механическому и химическому загрязнению окружающей среды [2]. Помимо экологического ущерба, такой подход является неэффективным по причине неполной степени переработки и использования энергоресурсов. Поэтому в последние годы достаточно активно обсуждается необходимость разработки и применения новых составов водоугольного топлива (ВУТ) [3] и органоводоугольного топлива (ОВУТ) [4] на основе этих отходов.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование отличий условий зажигания капель водо-угольного и органоводоугольного топлива при конвективном нагреве.

На рис. 1 представлена схема экспериментального стенда для изучения физико-химических процессов, протекающих при нагревании капли жидкого топлива. Поток окислителя с контролируемыми параметрами (скорость движения, температура) формировался внутри полого цилиндра 1 из кварцевого стекла нагнетателем 2 и воздушонагревателем 3. Изменение режимов функционирования этих устройств осуществлялось при помощи пульта управления нагревательной установкой 4. Значения температуры T_a и скорости V_a воздуха на выходе воздушонагревателя 3 варьировались в диапазоне 650–900 К и 0,5–5 м/с, соответственно. Измерение температуры осуществлялось термоэлектрическим термопреобразователем 6. При изменении режимов функционирования устройств 2 и 3 чувствительный элемент термоэлектрического термопреобразователя 5 монтировался за плоскостью подачи капли топлива в стеклянный цилиндр 1 вдоль направления движения потока воздуха. По показаниям температуры, отображаемым на дисплее регистратора 7, отслеживался момент установления стационарного температурного режима внутри цилиндра 1.

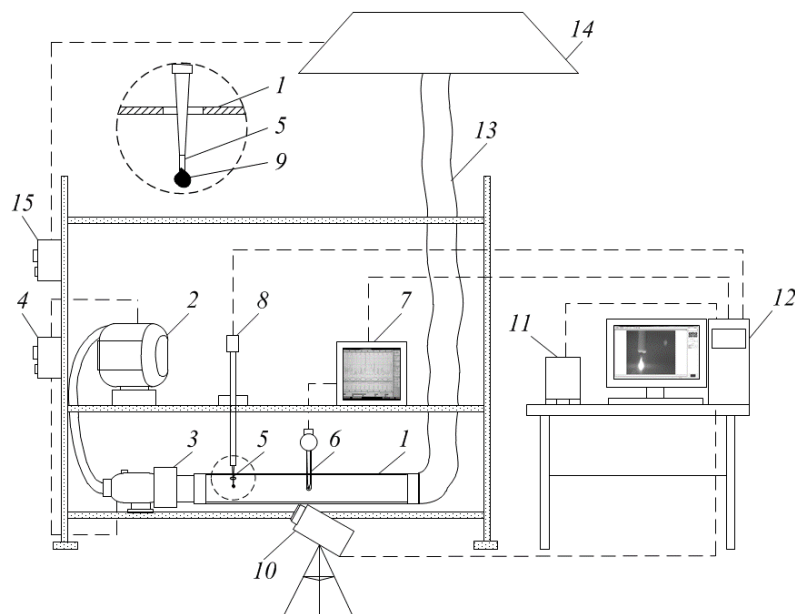


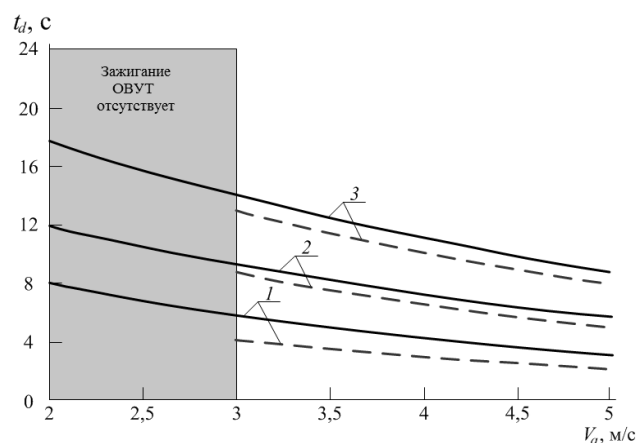
Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1 – полный стеклянный цилиндр; 2 – нагнетатель высокого давления; 3 – воздушнонагреватель; 4 – пульт управления нагревательной установкой; 5 – устройство подачи капли; 6 – термоэлектрический термопреобразователь; 7 – регистратор многоканальный; 8 – координатный механизм; 9 – капля топлива; 10 – высокоскоростная видеокамера; 11 – аналитические весы; 12 – компьютер; 13 – отвод газов; 14 – вытяжная вентиляция

Ввод одиночных капель ВУТ или ОВУТ в цилиндр 1 осуществлялся через одно из трех технологических отверстий, расположенных вдоль оси симметрии при помощи устройства подачи 5, закрепленного на передвижной платформе автоматизированного координатного механизма 8. Устройство подачи капли 5 выполнено из стальной проволоки с наконечником в форме сферы диаметром около 0,2 мм.

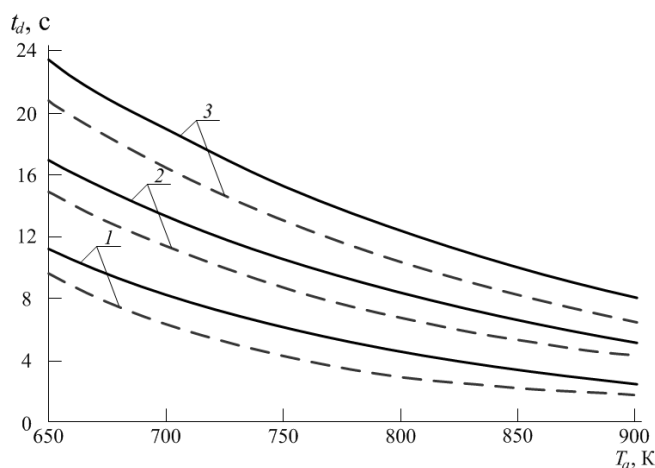
Контрольные измерения характерных диаметров капель выполнены с использованием высокоскоростной камеры 10. По изображению капли измерялось шесть диаметров в различных сечениях. Путем усреднения полученных данных вычислялся характерный размер D_d . Начальные размеры (диаметры) капель при проведении нескольких серий экспериментов изменялись в диапазоне 1–4 мм.

Основные параметры: температура (T_a) и скорость движения (V_a) воздуха, начальный размер (D_d) капли, время задержки зажигания (t_d) регистрировались при помощи компьютера 12. Значение t_d вычислялось с момента ввода капли ВУТ или ОВУТ в канал 1 до появления свечения, характеризующего зажигание топлива. Удаление газовой смеси воздуха с продуктами термического разложения и сгорания проводилось посредством канала 13 и вытяжной вентиляции 14.

Экспериментальные исследования проведены для двух составов: № 1 – ВУТ (бурый уголь 60 % масс, вода 40 % масс), № 2 – ОВУТ (бурый уголь 60 % масс, вода 30 % масс, тяжелая нефть 10 % масс). Зависимости основной интегральной характеристики – времени задержки зажигания ВУТ и ОВУТ топлива от скорости и температуры потока воздуха для капель нескольких характерных размеров представлены на рис. 2.



a



б

Рис. 2. Зависимости времени задержки зажигания ВУТ (сплошная линия) и ОВУТ (штриховая линия) от скорости (*a*) при $T_a \approx 870$ К и температуры (*б*) при $V_a \approx 5$ м/с потока воздуха для капель размерами: 1 – $D_d \approx 1,5$ мм, 2 – $D_d \approx 2,5$ мм, 3 – $D_d \approx 3,5$ мм

Установлено, что индукционный прогрев капель ОВУТ реализуется быстрее по сравнению с каплями ВУТ при фиксированных параметрах источника нагрева и образцов топливных композиций. При идентичных условиях ($V_a = \text{const}$, $T_a = \text{const}$, $D_d = \text{const}$) отклонения времен задержки зажигания для ВУТ (состав № 3) и ИКЖТ (состав № 4) достигают 10 % при $3 < V_a < 5$ м/с (рис. 2*a*) и 15 % при $650 < T_a < 900$ К (рис. 2*б*). Видно (рис. 2), что варьирование параметров источника

нагрева оказывает меньшее влияние на относительное изменение длительности индукционного периода для рассматриваемых образцов. Полученный результат позволяет сделать вывод, что компонентный состав топлива, а именно наличие небольшой (до 10 %) концентрации жидкого горючего вещества, оказывает достаточно существенное влияние на интегральные характеристики исследуемого процесса, в частности, уменьшение времени задержки зажигания за счет воспламенения продуктов испарения при их фильтрации к поверхности частицы.

Исследование выполнено за счет средств Российского научного фонда (проект № 15–19–10003).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Саломатов В.В., Кравченко И.В. Теоретическое исследование горения капли водоугольного топлива. Часть II. Стадия воспламенения // Горение и плазмохимия. – 2007. – Т. 5. – № 3. – С. 189–198.
2. Цепенюк А.И., Овчинников Ю.В., Стрижко Ю.В., Луценко С.В. Исследование процессов горения искусственного композитного жидкого топлива в циклонном предтопке // Энергетик. – 2011. – № 7. – С. 45–47.
3. Овчинников Ю.В., Цепенюк А.И., Шихотинов А.В., Татарникова Е.В. Исследование воспламенения твердых топлив и ИКЖТ // Доклады Академии наук высшей школы РФ. – 2011. – С. 117–126.
4. Морозов А.Г., Коренюгина Н.В. Гидроударные технологии в производстве водоугольного топлива // Уголь. – 2009. – № 11. – С. 54–56.

Научный руководитель: П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., доцент, зав. каф. АТП ЭНИН ТПУ.

БАЗОВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ФРОНТА ИСПАРЕНИЯ ВЛАГИ В СЛОЕ ЛЕСНОГО ГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА

М.Е. Сорокодун
Томский политехнический университет
ЭНИН, ТПТ, группа 5БМ4В

Лесные пожары наносят как экономический, социальный, так и экологический ущерб [1]. В последние годы отмечается увеличение частоты пожарных происшествий в лесных массивах как Российской Федерации (Центральная Россия – 2010, Западная Сибирь – 2012, Хакасия, Восточная Сибирь – 2015), так и в других государствах с лесопокрытыми территориями (Южная Европа, США и Австралия).

Анализ пожарных происшествий показывает, что тушение лесных пожаров малоэффективно. Лесные пожары продолжаются до полного выгорания лесного массива или до начала сезона со значительным количеством выпадающих осадков. Это позволяет сделать вывод о том, что необходимо развивать технологии прогнозирования лесных пожаров [2], чтобы иметь возможность предупреждения катастрофических пожарных инцидентов. Все методы и системы прогноза лесных пожаров [1], которые широко применяются в настоящее время, не являются физически обоснованными. Большинство методов основано на анализе статистики по лесопожарной ретроспективы. Например, канадский метод и американская система прогноза лесной пожарной опасности.

Прогнозирование лесной пожарной опасности не возможно без учета и анализа процессов испарения влаги в слое лесного горючего материала (ЛГМ) под воздействием внешних условий [3], например, метеорологических условий. В данной предметной области широкое применение нашел подход математического моделирования сушки слоя ЛГМ, предложенный профессором Томского государственного университета А.М. Гришиным. Однако он не отражает физику процессов испарения влаги в слое ЛГМ и базируется на экспериментах с навесками малого размера.

Цель настоящей работы – разработка базовой математической модели для исследования сушки слоя ЛГМ с учетом продвижения фронта испарения влаги вглубь слоя под воздействием внешних условий.

В настоящей работе предлагается базовая математическая модель для исследования сушки слоя ЛГМ с учетом продвижения фрон-

та испарения вглубь слоя под воздействием внешних условий. Основные допущения, принятые при построении настоящей модели, могут быть сформулированы следующим образом. Слой лесного горючего материала рассматривается в составе двух зон: сухой ЛГМ (по которому уже прошел фронт испарения влаги) и влажный (расположен ниже фронта испарения влаги). Во фронте испарение происходит по закону Кнудсена-Ленгмюра [4]. В качестве типового фактора внешнего воздействия рассматривается лучистый тепловой поток. Соответственно, могут быть выделены два режима сушки слоя ЛГМ: низкотемпературный (при воздействии естественного солнечного излучения) и высокотемпературный (воздействие лучистого теплового потока от фронта лесного пожара или солнечная радиация, прошедшая через концентратор). Теплофизические свойства ЛГМ считаются независимыми от температуры. В структуре ЛГМ выделяют костяк, состоящий из сухого органического вещества и влагу, и воздух в порах между морфологическими элементами слоя ЛГМ.

Математически процесс испарения влаги из слоя ЛГМ описывается системой дифференциальных уравнений в частных производных (уравнений теплопроводности) с соответствующими начальными и граничными условиями. На границе раздела сухого и влажного слоя лесного горючего материала выставляются модифицированные граничные условия четвертого рода. Ниже представлена геометрия расчетной области решения (рис. 1) и математическая постановка.

Окружающая среда

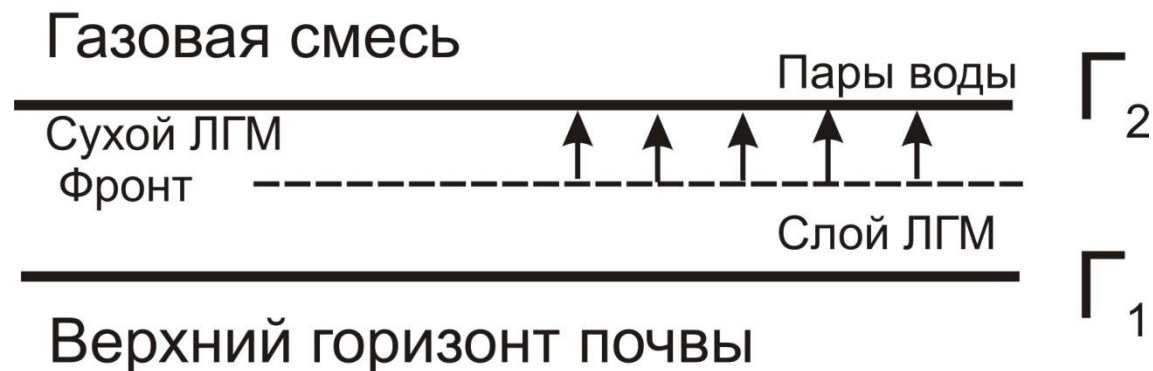


Рис. 1. Геометрия области решения

Уравнение энергии для слоя ЛГМ (сухой)

$$\sum_{i=1}^3 \rho_i c_i \varphi_i \frac{\partial T_d}{\partial t} = \lambda_{\text{эф}} \frac{\partial^2 T_d}{\partial z^2} + \frac{\partial q_{Rz}}{\partial z}, \quad 0 < z < \xi(t) \quad (1)$$

Уравнение энергии для слоя ЛГМ (влажный)

$$\sum_{i=1}^3 \rho_i c_i \varphi_i \frac{\partial T_w}{\partial t} = \lambda_{\varphi} \frac{\partial^2 T_w}{\partial z^2}, \lambda_{\varphi} = \lambda_1 \varphi_1 + \lambda_2 \varphi_2 + \lambda_3 \varphi_3, \xi(t) < z < h \quad (2)$$

Параметры газовой фазы соответствуют параметрам водяного пара

$$\rho_3 = \rho_e, \lambda_3 = \lambda_e, c_3 = c_e, \quad (3)$$

Граничные условия

$$z = \Gamma_2 \quad -\lambda_{\varphi 1} \frac{\partial T_d}{\partial z} = \alpha_e (T_{ea} - T_d), \quad (4)$$

$$T_d = T_w$$

$$z = \xi(t) \quad \lambda_{\varphi 1} \frac{\partial T_d}{\partial z} = \lambda_{\varphi 2} \frac{\partial T_w}{\partial z} - q_2 \frac{A(P'' - P)}{\sqrt{\frac{2\pi RT}{M}}} \varphi_2, \quad (5)$$

$$z = \Gamma_1 \quad T_w = T_{es}, \quad (6)$$

Начальные условия

$$T_{es} = 290K, \quad (7)$$

$$T_{ea} = 300K, \quad (8)$$

$$T_d = T_{dn}, \quad (9)$$

$$T_w = T_{wn}, \quad (10)$$

Условные обозначения:

$\rho_i, c_i, \lambda_i, \varphi_i$ – плотность, теплоемкость, теплопроводность и объемная доля ($i=1$ – сухого органического вещества, $i=2$ – воды, $i=3$ – газовой смеси); T_d – температура сухого слоя ЛГМ; T_w – температура влажного слоя ЛГМ; T_{ea} – температура окружающей среды; T_{es} – температура почвы (верхний горизонт); α_e – коэффициент теплоотдачи; Γ_1 – граница верхний горизонт почвы–слой ЛГМ, Γ_2 – граница слой ЛГМ–газовая смесь; t – время; z – пространственная координата, отсчитываемая от поверхности слоя ЛГМ; q_2 – тепловой эффект реакции испарения влаги; $\xi(t)$ – подвижный фронт испарения. Индекс “н” соответствует параметрам в начальный момент времени.

Рассматриваемая система дифференциальных уравнений с соответствующими начальными и граничными условиями решена методом конечных разностей [5]. Для решения разностных аналогов дифференциальных уравнений использован метод прогонки в сочетании с

методом простой итерации [5]. На рисунке 2 представлено типичное распределение температуры в слое лесного горючего материала.

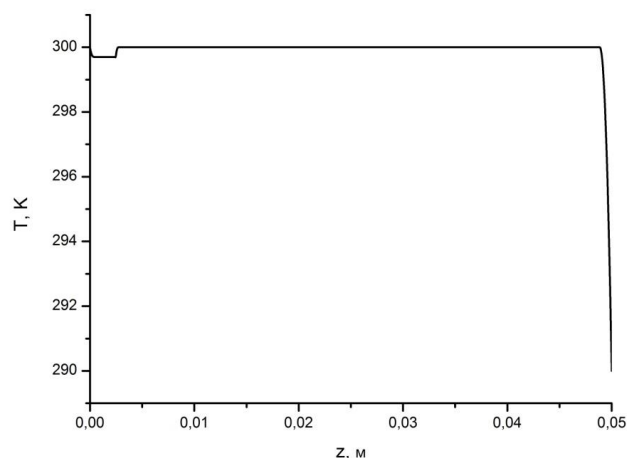


Рис. 2. Типичное распределение температуры в слое лесного горючего материала

Таким образом, в настоящей работе предложена новая базовая математическая модель сушки слоя лесного горючего материала с учетом продвижения фронта испарения влаги вглубь слоя.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 301 С.
2. Барановский Н.В. Математическое моделирование наиболее вероятных сценариев и условий возникновения лесных пожаров. Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Томск: Томский государственный университет. 2007. 153 С.
3. Grishin A.M., Baranovskii N.V. Comparative Analysis of Simple Models of Drying of the Forest Combustibles, Including the Data of Experiments and Natural Observations // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2003. V. 76 N 5. P. 166 – 169.
4. Панкратов Б.М., Полежаев Ю.В., Рудько А.К. Взаимодействие материалов с газовыми потоками / Под ред. В.С. Зуева. М.: Машиностроение, 1975. 224 С.
5. Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. М.: Наука, 1978. 590 С.

Научный руководитель: Н.В. Барановский, к.ф.-м.н., доцент каф. ТПТ ЭНИН ТПУ.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ АБОНЕНТОВ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДУЛЬНО ЛАБОРАТОРНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА

С.А. Янковский¹, Я.В. Марышева¹, И.М. Призенцов²

¹Томский политехнический университет ЭНИН, АТЭС

²Акционерное общество «Сибирская энергетическая компания»
г.Новосибирск.

Современные водяные системы теплоснабжения представляют собой сложные гидравлические системы, в которых работа отдельных звеньев находится во взаимной зависимости [1]. Гидравлический режим систем теплоснабжения находится под влиянием множества различных факторов: профиль местности, высота присоединяемых систем, количество работающих сетевых, подпиточных, смесительных и других насосов, конфигурации сети [1]. Разработка гидравлического режима является важнейшим этапом проектирования и эксплуатации систем теплоснабжения [2]. Правильный гидравлический режим системы является основной надежного и качественного снабжения потребителей тепловой энергией.

С развитием технологий производства из различных материалов трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры, изучение гидравлических режимов в системах абонентских потребителей с пропиленовыми трубопроводами весьма актуально.

Для моделирования двухтрубной водяной системы теплоснабжения было принято решение использовать: два центробежных насоса, расширительный бак, алюминиевые радиаторы, для имитаций абонентских установок, измерительные приборы, для контроля расхода воды, запорная арматура и фитинги, краны Маевского, ручные регуляторы давления, пьезометрические трубки. Материал трубной системы - металлопластик и ПВХ.

Установка представляет собой открытый циркуляционный контур, состоящий из четырех секций алюминиевого регистра, выступающих в роле потребителей, подающей и обратной магистрали, двух насосов. На каждом потребителе установлены расходомер и ручной регулятор давления. Система имеет индивидуальные дренажи и ряд штуцеров, через которые происходит соединение с градуированным щитом, для измерения давления в различных точках системы. Монтажная схема стенда исследовательского комплекса представлена на рисунке 1.

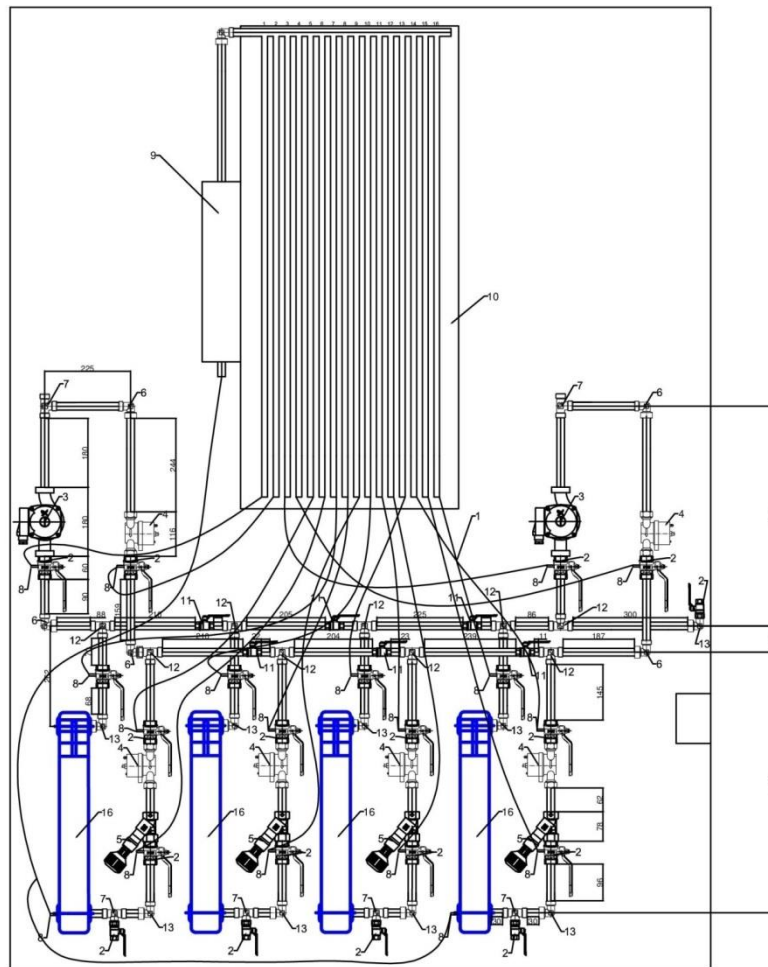


Рис. 1. Монтажная схема установки

Представленный лабораторно исследовательский комплекс практически полностью моделирует гидравлическую систему теплотребителей, результаты исследований по оптимизации режимов можно полноценно масштабировать и применять в реальную систему теплоснабжения здания.

Модульная система позволяет легко заменять элементы схемы, вариативность предоставляет возможность моделирование любых теплотребителей, отрабатывать наладку гидравлических режимов с применением различной запорно-регулирующей арматурой, использовать и отрабатывать применение приборов разных производителей. Сопоставление расчетов с реальной работой гидравлической системы, в разы повышает конкурентоспособность предлагаемых к реализации схем теплоснабжения внутри потребителей с применением современных новых материалов и приборов учета.

Созданный лабораторно-исследовательский стенд позволяет решать задачи энергоснабжения децентрализованных теплотребителей, отрабатывать режимы на месте, далее масштабировать на реаль-

ный объект. Данный комплекс вызывает оживленный интерес среди студентов старших курсов [5]. Так как теоретические знания отрабатываются на реально работающей модели с реальными режимами и показателями, которую можно за счет модульности модернизировать, улучшать или внедрять инновационные предложения с последующей апробацией. Применение данного комплекса показало хорошую сходимость расчетных показателей с проведенными исследованиями в реальном режиме работы системы. Внедрение подобных комплексов в высших учебных заведениях, позволит осуществлять не только научную деятельность, но и качественную подготовку будущих инженеров, с применением инновационных подходов к общепринятым устоявшимся теоретическим и практическим знаниям, умениям и навыкам.

Работа выполнена за счет средств субсидии в рамках реализации Программы повышения конкурентоспособности ТПУ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В. Е. Козин, Т. А. Левина, А. П. Марков, И. Б. Пронина, В. А. Слемзин - Теплоснабжение. Учебное пособие для студентов вузов. М.: Высш. школа, 1980.—408 с., ил.
2. Проектирование систем отопления и вентиляции зданий: учебное пособие / Сост.: А.А. Балашов, Н.Ю. Полунина, В.А. Ивановский, Д.С. Кацуба. – Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 132 с.
3. Лавриненко С.В., Янковский С.А., Ларионов К.Б. Подготовка студентов к профессиональной деятельности на предприятиях атомной энергетики на основе лабораторного комплекса и интерактивной доски // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4;

Научный руководитель: В.И. Беспалов, к.т.н., доцент каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЖИГАНИЯ ОДИНОЧНЫХ КАПЕЛЬ КОМПОЗИЦИОННОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ МАССОВОЙ ДОЛИ ТОВАРНОГО УГЛЯ

Н.Е. Шлегель

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б3В

Известно, что сжигание угля в пылевидном состоянии в энергетических установках (в первую очередь, котельном оборудовании) приводит к увеличению эффективности работы последних на 5–7 % по сравнению с водоугольными топливными композициями (ВУТ) [1–3]. Однако у ВУТ есть несколько преимуществ по сравнению с угольной пылью [1, 2]: низкая стоимость; экологические показатели, близкие к аналогичным характеристикам природного газа; малая зольность; меньшие тепловые нагрузки в топках энергетического оборудования. Кроме этого, для приготовления ВУТ можно использовать отходы переработки угля (топлив низкого качества) [1, 2].

Представляет интерес добавление жидких горючих нефтепродуктов в состав водоугольного топлива и сжигание получаемого композиционного жидкого топлива (КЖТ) в режимах, поддерживаемых энергетическими установками без конструктивных изменений [4–6]. Так как такие составы КЖТ включают в основном отходы переработки угля и нефти, то по сравнению с исходным обогащенным углем они характеризуются меньшими показателями горючести на стадии зажигания (требуются большие материальные и временные ресурсы). Как один из возможных способов интенсификации прогрева и зажигания капель КЖТ на основе отходов является добавление в состав мелкодисперсных частиц обогащенного угля.

Цель исследований – установить влияния концентрации угольной пыли на характеристики зажигания капли КЖТ.

Исследования проведены для двух групп составов с помощью экспериментального стенда (рис.1). Первая группа представляла 3 состава на основе КЕК (отходы переработки каменного угля марки К) и отработанного синтетического моторного масла Total (10 %), отличающиеся относительной массовой концентрацией (0, 5, 10 %) добавляемой угольной пыли (обогащенный уголь марки К) с размером частиц около 100 мкм. Вторая группа включала также 3 состава на основе КЕК (отходы после переработки и фильтрации каменного угля марки Т), машинного масла и угольной пыли (уголь марки Т).

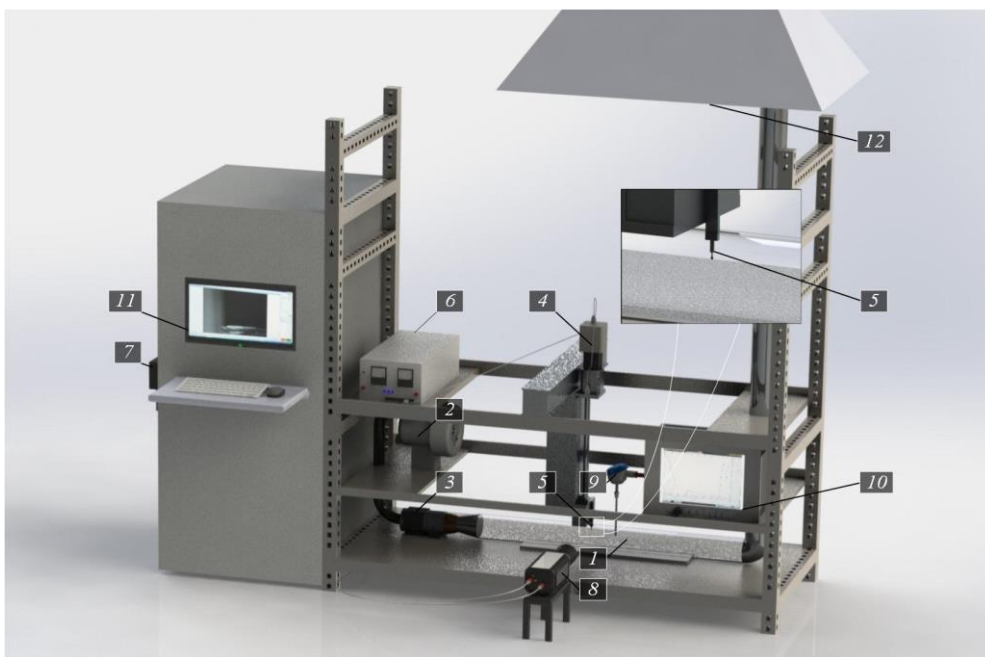


Рис. 1. Внешний вид стенда: 1 – полый стеклянный цилиндр; 2 – нагнетатель; 3 – воздухонагреватель; 4 – координатный механизм подачи капли; 5 – капля топлива; 6 – источник питания координатного механизма; 7 – пульт управления нагревателем; 8 – высокоскоростная видеокамера; 9 – термопара; 10 – регистратор многоканальный технологический; 11 – компьютер; 12 – вытяжка

Для формирования потока разогретого до требуемых температур окислителя (воздуха) использовались нагнетатель 2, воздухонагреватель 3 и цилиндр 1 из кварцевого стекла. Температура воздуха T_g изменялась в диапазоне 600–900 К. Значения T_g измерялись тремя хромель-алюмелевыми термопарами 9 (марки L). Скорость движения потока разогретого воздуха изменялась в диапазоне $V_g=1\text{--}5$ м/с и контролировалась анемометром UnionTest AN110.

Для ввода капли в цилиндр с потоком разогретого воздуха применялся координатный механизм 4. С использованием высокоскоростной видеорегистрации и программного обеспечения Phantom Camera Control определялся характерный радиус капель.

В качестве основных регистрируемых параметров исследуемого процесса принимались времена задержки зажигания (τ_d) и полного сгорания (τ_c) капли КЖТ. Параметр τ_d – интервал времени с момента ввода капли КЖТ в канал 1 до идентификации первых характерных кадров горения кокса. Время τ_c представляло интервал от момента ввода капли КЖТ в канал 1 до полного сгорания коксового остатка угля.

На рис. 2 приведены типичные кадры с изображением капель КЖТ в процессе нагрева, зажигания и полного сгорания в потоке разогретого воздуха.

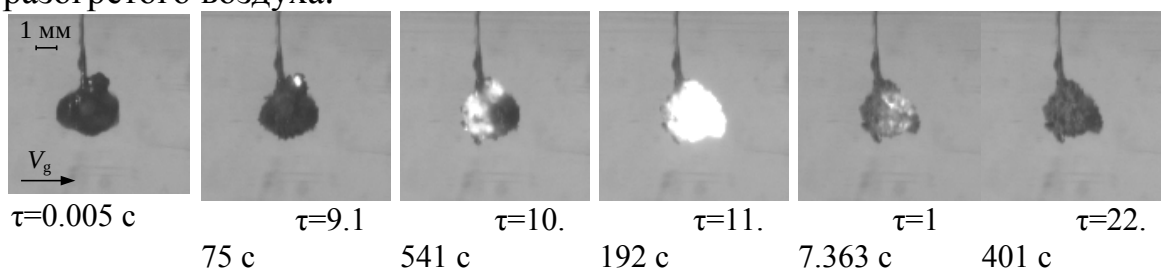


Рис. 2. Типичные кадры с зажиганием и полным сгоранием КЖТ (состав № 2: КЕК 85% + масло 10 % + уголь 5 %) при $R_d \approx 1$ мм, $T_g \approx 870$ К, $V_g \approx 5$ м/с

Введение частиц угля в состав КЖТ увеличивает теплопроводность, температуропроводность, плотность и вязкость топливной композиции. Этим объясняются причины уменьшения времени задержки зажигания (τ_d) и времени полного сгорания (τ_c) капли КЖТ с повышением концентрации добавляемого угля (табл. 1).

Табл. 1. Времена зажигания и полного сгорания капель КЖТ при $R_d \approx 1$ мм, $T_g \approx 870$ К, $V_g \approx 5$ м/с

Номер состава	1			2		
Содержание угля, % масс	0	5	10	0	5	10
τ_d , с	8.884	6.760	6.171	10.940	9.242	8.345
τ_c , с	22.733	16.881	14.934	19.718	15.76	13.863

Данные табл. 1 иллюстрируют значительное снижение длительности процесса горения капли КЖТ (τ_c). Данный эффект показывает, что даже небольшое добавление угля (до 5 % по массовой концентрации) в КЖТ на основе отходов углепереработки увеличивает минеральную часть. За счет этого зольность снижается, а полнота сгорания увеличивается. Установленные эффекты зарегистрированы в проведенных экспериментах для капель КЖТ с разными размерами (рис. 3). Приведенные на рис. 3 результаты характеризуют существенную зависимость времени задержки зажигания от размера капли КЖТ. Выявлено, что для зажигания рассматриваемых КЖТ достаточна температура T_g от 750 К до 800 К. Повышение концентрации высококачественного угля до 15 % в составе КЖТ приводит к уменьшению необходимых значений T_g для устойчивого зажигания на 30–40 К.

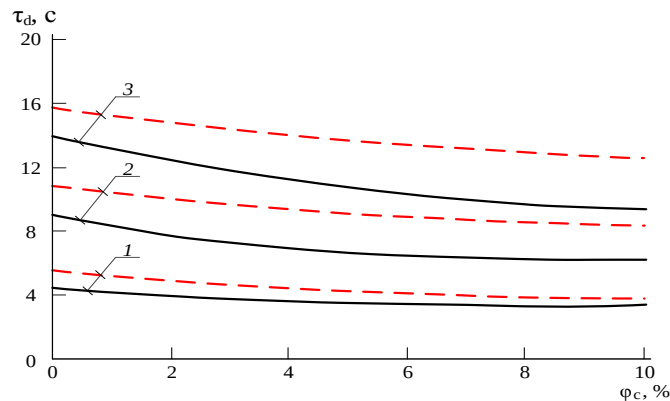


Рис. 3. Времена задержки зажигания каплей (радиусы 1 – 0.5 мм, 2 – 1 мм, 3 – 1.5 мм) КЖТ № 1 (сплошные линии) и № 2 (пунктирные линии) при разных содержаниях высококачественного угля.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что добавление в состав КЖТ угля в достаточно малых концентрациях может существенно уменьшить время задержки зажигания на 15–25 %, а также длительности процесса горения КЖТ (около 20 %).

Исследование выполнено за счет средств Российского научного фонда (проект № 15–19–10003)).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Gajewski W., Kijo-Kleczkowska A., Leszczynski J. Analysis of cyclic combustion of solid fuels // *Fuel*. – 2009. – V. 88. – P. 221–234.
2. Kijo-Kleczkowska A. Combustion of coal-water suspensions // *Fuel*. – V. 90. – P. 865–877.
3. Zhu J., Zhang G., Liu G., Qu Q., Li Y. Investigation on the rheological and stability characteristics of coal-water slurry with long side-chain polycarboxylate dispersant // *Fuel Processing Technology*. – 2014. – V. 118. – P. 187–191.
4. Bartoňová L. Unburned carbon from coal combustion ash: An overview / *Fuel Processing Technology*. – 2015. – V. 134. – P. 136–158.
5. Burdukov A. P., Popov V. I., Chernetskiy M. Yu., Dekterev A. A., Hanjalic K. Mechanical activation of micronized coal: Prospects for new combustion application // *Applied Thermal Engineering*. – 2014. – V. 74 – P. 174–181.
6. Kim R.-G., Jeon C.-H., Intrinsic reaction kinetics of coal char combustion by direct measurement of ignition temperature // *Applied Thermal Engineering*. – 2014. – V. 63. – P. 565–576.

Научный руководитель: Д.О. Глушков, к.ф.-м.н., инженер-исследователь каф. АТП ЭНИН ТПУ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО СКЛАДИРОВАНИЯ

¹Д.Н. Прусов, ¹Н.В. Носков, ²Р.Н. Кулеш
^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, ПГС и ПГУ, ¹группа 5В31

Каменный уголь добывается уже несколько столетий и является одним из наиболее важных полезных ископаемых, используемым в качестве твёрдого топлива, а также во многих сферах промышленности. Каменный уголь состоит из смеси высокомолекулярных ароматических соединений (преимущественно углерода), а также воды и летучих веществ с небольшим количеством примесей. В зависимости от состава угля меняется и количество теплоты, выделяющееся при его сгорании, а также количество образующейся золы. От этого соотношения зависит ценность угля и его месторождений [1].

В России сосредоточено 17,61 % мировых запасов угля, что составляет более 157010 млн тонн. Преимущественным направлением использования угля в России является энергетическое, т.е. его сжигание с целью получения электро- и тепловой энергии.

Перед сжиганием на крупных тепловых электростанциях и мелких отопительных котельных уголь хранится на открытом воздухе нередко вблизи производственных помещений, являющихся источниками потенциально пожароопасных тепловых объектов (искры, окурки и пр.).

В большинстве случаев механизм возникновения пожара определяется тем, что вначале отдельные горячие очаги (электрическая, механическая или тепловая искра, горящая спичка, тлеющий окурочок и т. д.) попадают на поверхность угля. В случае если тепловой источник имеет достаточную энергию, может произойти возгорание угля и заглубление очага горения, после чего тушение пожара становится более проблематичным, а в отдельных условиях и невозможным.

Таким образом, представляет интерес минимальная энергия такого источника, под воздействием которого происходит повышение температуры угля, хранящегося в штабелях, до критического значения (возгорания) при определенных параметрах угля (влажность, плотность, теплофизические свойства и т.д.), либо значения этих свойств, при которых возгорание не происходит независимо от значения энергии источника.

Анализ литературных источников [2-4] показал, что рассматриваемая тематика является актуальной в настоящее время, в связи с

чем, были проведены экспериментальные исследования по возгоранию и горению угля с различной влажностью.

При проведении эксперимента уголь помещается в цилиндрическую емкость диаметром 20 см. и высотой 10 см с перфорированной боковой поверхностью для обеспечения циркуляции воздуха в слое угля. При проведении эксперимента на слой угля помещается цилиндрический источник тепла диаметром 5 см. и высотой 5 см., изготовленный из стали с известными теплофизическими свойствами. Характеристики распространения тепловой энергии по слою угля измерялись с помощью термопар, расположенных под источником тепла и пространственно-разнесенных относительно последнего. В ходе эксперимента измерялась температура источника тепла и показания термопар в слое угля, при этом фиксировался момент выравнивания температур источника и определенной области массива угля и последующее повышение температуры в очаге горения т.к. в данном случае источник охлаждает очаг горения и может быть причиной прекращения процесса горения.

В процессе исследований было установлено, при какой температуре источника зажигания происходит возгорание массива угля естественной (комнатной) влажности, в дальнейшем изменялась влажность с целью нахождения такого значения, при котором возгорания не происходит.

Параметрами зажигания угля являются: время задержки до зажигания, минимальная температура источника тепла для возгорания угля.

Результаты проведенных экспериментов приведены на рис. 1-4.

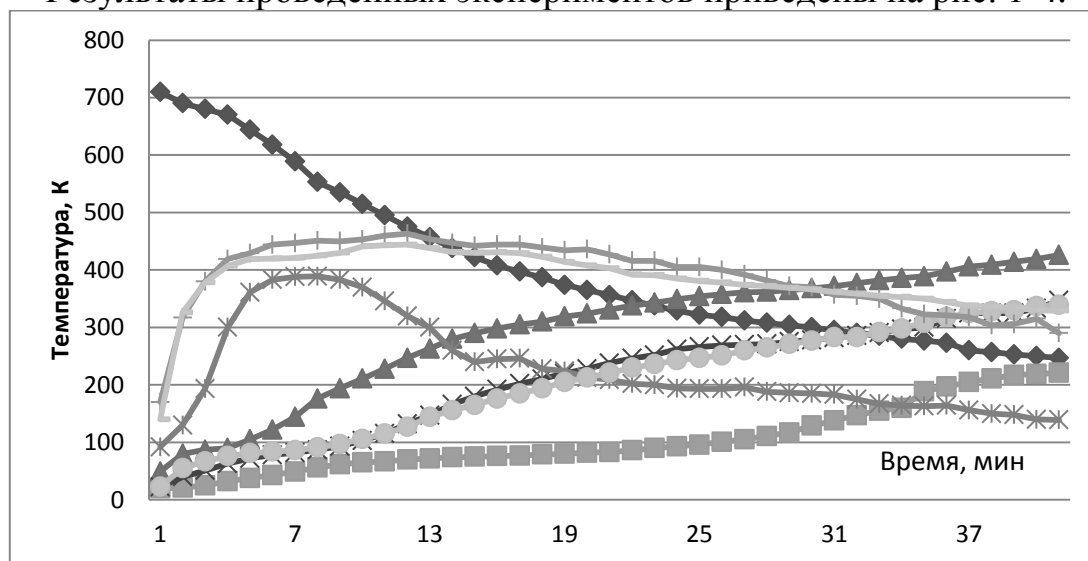


Рис. 1. Изменение температуры в слоях угля

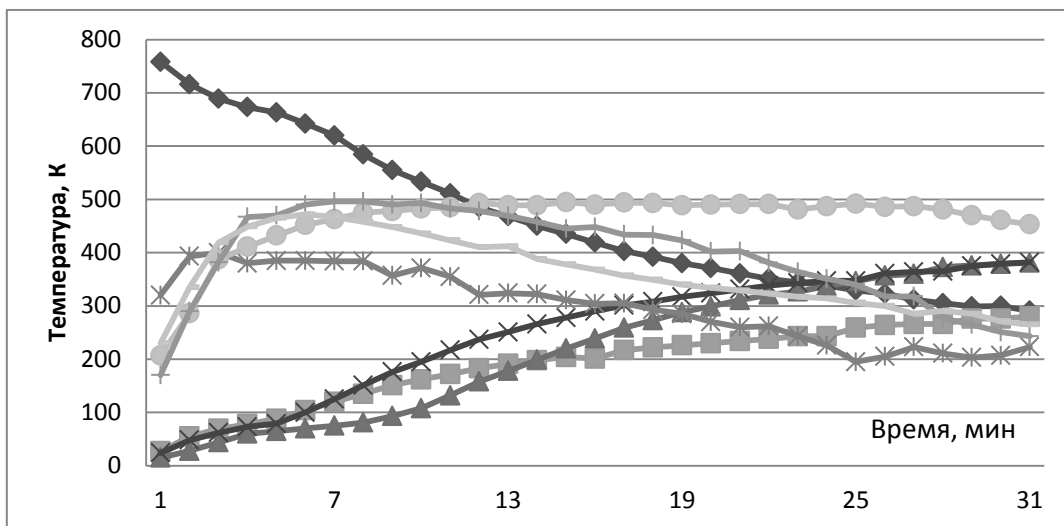


Рис. 2. Изменение температуры в слоях угля

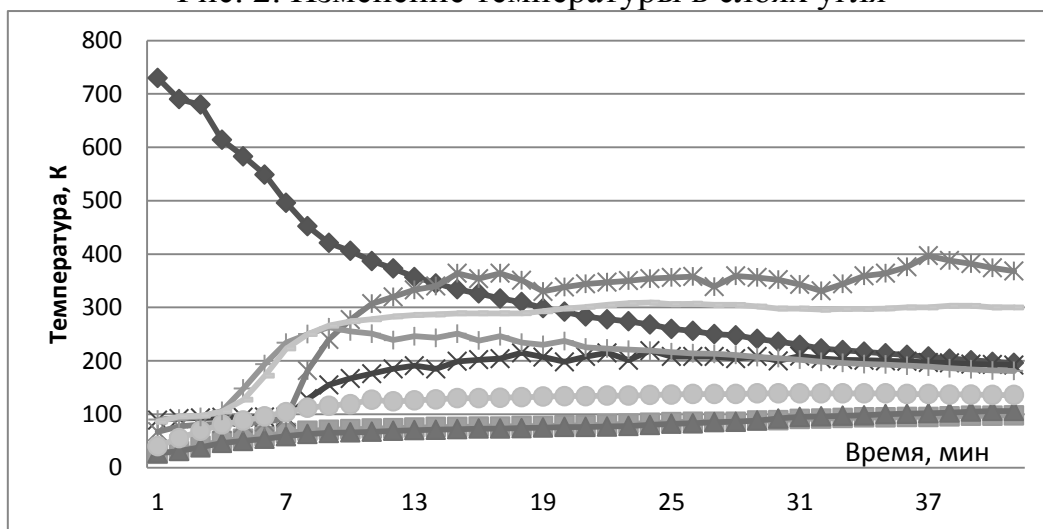


Рис. 3. Изменение температуры в слоях угля, влажность которого составляет 30%

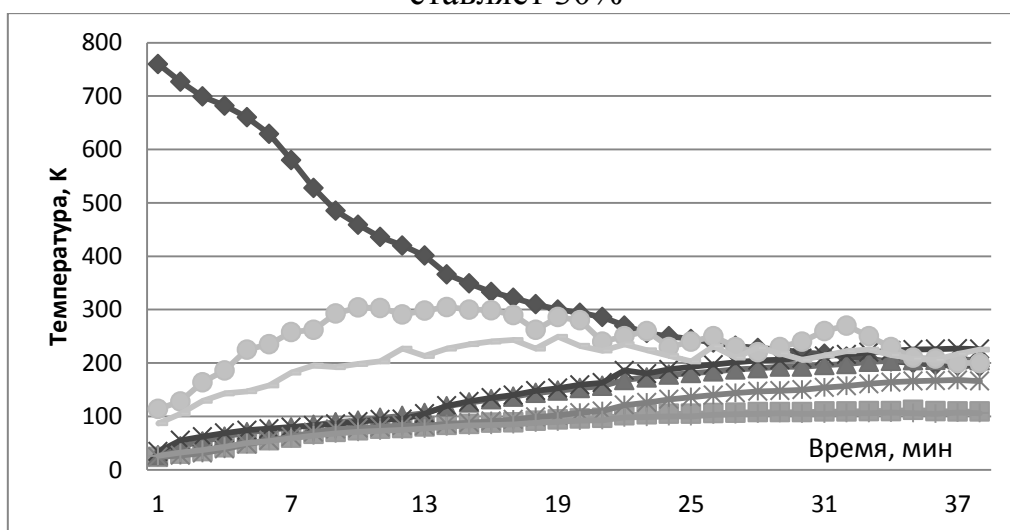


Рис. 4. Изменение температуры угля в слоях угля, влажность которого составляет 10%

Из рисунков 1 и 2 видно, что возгорание происходит при температуре 450-500 К (в комнатных условиях). График возгорания угля влажностью 20 % не предоставлен т.к. практически не отличается от графика возгорания угля влажностью 10%.

В области зажигания угля происходит локальное увеличение температуры. Это доказывает, что в слое угля произошло возгорание.

Из полученных данных следует, что с повышением влажности угля от 10 до 30% увеличивается продолжительность зажигания угля на 7-12 минут.

Выводы:

1. По полученным данным можно сказать, что с повышением влажности угля увеличивается время испарения влаги.
2. Из данной работы следует, что уголь промышленного складирования лучше хранить в условиях повышенной влажности. Так, в большинстве случаев, можно избежать возгорание угля.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Использование угля в энергетике, перспективы развития. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://idealugol.ru/articles/ispolzovanie-uglya-v-energetike-perspektivy-razvitiya>, Загл. с экрана.
2. Теплотехнический справочник: В 2-х т. / Под ред. В.Н. Юренина, Н.Д. Лебедева. – М.: Энергия, 1976. – Т. 2. – 896 с.
3. Субботин А.Н. Закономерности развития подземного пожара при разных условиях тепло- и массообмена с внешней средой // Тепломассообмен ММФ. – Минск: Изд-во НАНБ, 2000. – Т.4. – С. 224–231.
4. Субботин А.Н. О некоторых особенностях распространения подземного пожара // ИФЖ. – 2003. – Т.76, №5. – С.159–165.

Научный руководитель: Р.Н. Кулеш, к.т.н., ассистент каф. ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.

РАСЧЕТ ПОТОЧНОГО КИСЛОРОДНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА С ПОМОЩЬЮ КИНЕТИКО-ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

И.Г. Донской^{1,2}, А.Н. Козлов², Д.А. Свищев²

¹Институт теплофизики СО РАН, г. Новосибирск

²Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН

Аннотация

Предложена математическая модель для расчета процесса газификации угля в одноступенчатом поточном газогенераторе типа Shell-Prenflo. Модель учитывает основные теплофизические процессы при конверсии топлива и позволяет предсказать распределение температуры и состава газа по длине аппарата. Приведено сравнение результатов моделирования с литературными данными.

Введение

Газификация твердых топлив позволяет перейти к парогазовому циклу при использовании угля в качестве энергетического топлива. Строительство мощных станций (100-500 МВт) требует использования интенсивных высокотемпературных способов газификации, среди которых наиболее широко применяется способ газификации угольной пыли в несущем потоке дутья. Для достижения высоких температур часто применяется обогащенное кислородом дутье – от небольшого обогащения, которое требуется для обеспечения условий жидкого шлакоудаления, до подачи технического кислорода с концентрацией 95%.

При проектировании газогенераторов необходимо предсказывать такие характеристики реактора, как длина реакционной зоны, степень превращения реагентов в целевые продукты, температурный уровень процесса. Поэтому актуальна разработка модельного инструментария для различных целей расчета (от упрощенных моделей реактора в сложных схемах энерготехнологических установок до трехмерных моделей с учетом термогидродинамики многофазных потоков для объяснения наблюдаемых на практике явлений). В настоящей работе рассматривается упрощенная, одномерная модель процесса газификации угольной пыли. Такая модель может быть рассмотрена как «переходный» вариант между точечными и детальными кинетическими моделями. В этой модели процесс конверсии топлива представляется в виде последовательности состояний системы «газ-топливо» в разных точках реактора. В каждой точке состав газа считается равновесным при меняющейся степени конверсии топлива. При таком подходе пара-

метры газа на выходе из реактора стремятся к конечному равновесию. В данной работе модель используется для расчета состава газа в процессе Shell-Prenflo.

В работе используется математическая модель, подробно изложенная в [1]. Основные особенности модели: скорость взаимодействия топлива с газообразными реагентами описывается с помощью уравнений диффузионной кинетики; химическая кинетика реакций в газовой фазе не рассматривается: полагается, что выходящие в газовую фазу вещества переходят в состояние равновесия. Таким образом, химические превращения описываются с помощью термодинамической модели с макрокинетическими ограничениями на скорость гетерогенных превращений. Такой подход применим для высокотемпературных процессов, в которых скорость газофазных процессов достаточно высока по сравнению со скоростью гетерофазных.

Исходные данные и результаты расчетов

Для расчета был выбран один из режимов работы газогенератора Shell-Prenflo [2]. Реакционная зона газогенератора представляет собой цилиндр. Реагенты подаются в узкой части реакционной зоны, продукты газификации поднимаются и выводятся сверху, затем быстро охлаждаются орошающей водой. Геометрические размеры реактора: поперечный диаметр реактора 3 м; длина реакционной зоны составляет 7 м.

Расход топлива составляет 35 кг/с (126 т/ч). Коэффициент избытка окислителя (обогащенный до 95% кислород) составляет 0.39; удельный расход пара 0.085 моль пара/моль ОМУ. Топливом служит уголь Douglas premium, технические характеристики топлива: $W^r = 2\%$; $A^d = 15,4\%$; $C^{daf} = 85,45\%$; $H^{daf} = 4,86\%$; $O^{daf} = 7,01$; $N^{daf} = 2,01\%$; $S^{daf} = 0,67\%$; $V^{daf} = 29,4\%$. Кинетические константы для угля были приняты по данным [1] для аналогичного угля. Температура стенки реактора составляет 1700 К (оценочная температура пленки шлака для данного процесса). Топливо подается в реактор с техническим азотом, который несколько разбавляет кислород. Оценки показывают, что эффективная концентрация кислорода в дутье с учетом поданного азота (не считая пара) составляет около 80%.

Результаты расчетов представлены ниже на рис. в виде профилей температур и концентраций. Химический КПД процесса газификации составляет 79.98% при степени конверсии углерода 98%.

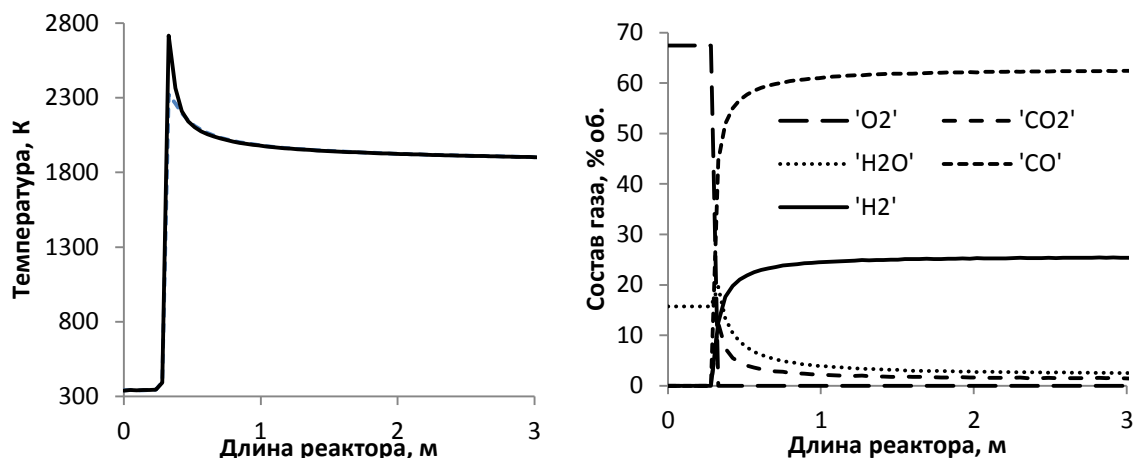


Рис. 1. Профили температур и концентраций в реакционной зоне газогенератора.

Полученный состав газа на выходе из реактора сравнивается с литературными данными в табл. 2. Как видно, рассчитанные составы газа близки к равновесным, поэтому отличия между разными вариантами расчета обусловлены в основном соотношением химических элементов в начальном состоянии. Сравнение с экспериментальными данными для газогенератора Shell [2] приведено в табл. Поскольку охлаждение генераторного газа происходит в несколько ступеней (смешивание с охлажденным генераторным газом; конвективное охлаждение в трубчатом теплообменнике; орошение водой), то отличие между составами может быть объяснено приближенностью модели мокрого охлаждения газа. При этом, по данным [3], может протекать реакция водяного газа ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$), которая ответственна за снижение концентрации CO.

Табл. 1. Состав генераторного газа после водяного охлаждения

Состав газа, %	Расчет с помощью разработанной модели	Эксперимент [2]
CO	53.53	48.74
H ₂	21.89	22.37
CO ₂	1.26	2.34
H ₂ O	16.36	17.97
CH ₄	0.14	0.02
H ₂ S	0.16	0.13
N ₂	6.36	7.37

Заключение

С помощью упрощенной одномерной математической модели проведен расчет процесса газификации угольной пыли в несущем потоке. Модель применена для расчета одного из режимов работы газогенератора типа Shell-Prenflo. Результаты расчетов с помощью пред-

ложенной модели согласуются с литературными данными, что может быть следствием близости достигаемого состояния к конечному равновесию. Достигнутый химический КПД составляет около 80%.

Отклонения состава охлажденного газа от экспериментальных значений, возможно, объясняются неучтенными газофазными превращениями, которые могут протекать при избытке водяного пара. Оценка влияния этих превращений на состав выходящего газа требует разработки дополнительных математических моделей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 13-08-00281.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Математическое моделирование процесса ступенчатой пылеугольной газификации / И.Г. Донской, Д.А. Свищев, В.А. Шаманский, А.Н. Козлов // Научный вестник НГТУ. - 2015. - № 1 (58). - С. 231-245.
2. Carbon-free electricity by SEWGS: advanced materials, reactor, and process design. Project No. 213206. Collaborative large-scale integrating project FP7 - ENERGY.2007.5-1-04. D. 4.6. Common framework definition document / Ed. by F. Franco. - Politecnico di Milano, 2009. - 34 p.
3. Reduced order modeling of the Shell-Prenflo entrained flow gasifier / M. Gazzani, G. Manzolini, E. Macchi, A.F. Ghoniem // Fuel. - 2013. - V. 104. - P. 822-837.

Научный руководитель: В.А. Шаманский, канд. хим.наук,
ИСЭМ СО РАН

ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ С ПОМОЩЬЮ ANSYS FLUENT 12.0

Ф.В. Синев, Филимонова О.В.

Самарский государственный технический университет

В настоящее время для процесса плазменного напыления актуальным является изучение влияния режимов течения плазмообразующего газа на развитие дугового потока в каналах переменного сечения или со ступенчатым электродом. При наличии уступа в канале плазмотрона создаются особые условия для локализации области шунти-

рования дуги непосредственно за зоной рециркуляции газа. Это позволяет фиксировать длину дуги и реализовать режимы работы плазматрона на восходящей вольт-амперной характеристике.

Сущность плазменного напыления заключается в том, что в высокотемпературную плазменную струю подается распыляемый материал, который нагревается, плавится и в виде двухфазного потока направляется на подложку. При ударе и деформации происходит взаимодействие напыляемых частиц с поверхностью основы и формирование покрытия. При этом параметры низкотемпературной плазмы должны быть стабильными, управляемыми и обеспечивать оптимальные условия процесса, а генерация плазмы - обеспечиваться в течение длительного промежутка времени. Необходимо также учитывать, что особенностью работы электродуговых плазменных установок является невысокая стабильность горения электрической дуги и высокая эрозия электродов, что приводит к загрязненности плазменной струи, также важным элементом является форма канала плазматрона, где формируется поток плазмы, задаются скоростные и температурные характеристики напыляемых частиц.

Изучение закономерностей развития дуги в подобных устройствах представляет также интерес для понимания механизмов генерации турбулентности и установления роли неравновесных явлений в формировании дугового потока плазмы, что в конечном итоге, сказывается на свойствах напыляемого покрытия. Как известно, основой моделирования электрической дуги в потоке газа являются уравнения магнитной газовой динамики (МГД). Для описания неравновесной плазмы хорошим приближением является двухтемпературная модель, а турбулентного режима течения - двухпараметрическая $k-\epsilon$ модель турбулентности [1]. Неравновесность плазмы в значительной мере определяется силой тока и давлением, а существенное влияние на режим течения оказывают расход газа, способ его подачи в канал, геометрия разрядной камеры. В настоящее время для расчета параметров дуговых плазматронов различного технологического назначения применяются различные математические модели, которые учитывают особенности взаимодействия электрической дуги с потоком газа, стенками канала и электродами.

Целью нашей работы является анализ и компьютерное моделирование характеристик электрической дуги в канале плазматрона со ступенчатым выходным электродом с учетом турбулентности и неравновесности плазмы. Для этого необходимо провести численный анализ течения и нагрева закрученного потока газа в канале плазматрона с уступом в зависимости от силы тока и расхода газа.

Для моделирования рассматривается электрическая дуга, горящая в канале плазмотрона между плоской торцевой поверхностью вольфрамового катода и соосно расположенным с ним ступенчатым цилиндрическим медным анодом (рис.1). Холодный газ (аргон) расходом G подается в канал по цилиндрическим трубкам, направленным под углом β к плоскости торцевого сечения, и на входе в область катодного узла имеет радиальную и тангенциальную составляющие скорости. Предполагается, что течение осесимметричное, плазма квазинейтральная и описывается двухтемпературной ионизационно-неравновесной моделью, скорость генерации заряженных частиц определяется однократной ударной ионизацией и трехчастичной рекомбинацией, излучение объемное.

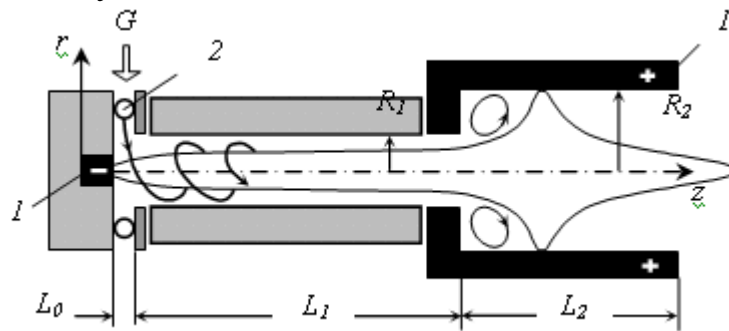


Рис. 1. Расчетная схема плазмотрона: 1 — электроды, 2 — кольцо закрутки.

Для описания стационарного течения и нагрева газа применяется система двухжидкостных МГД уравнений [2], в которых явления турбулентности учитываются эффективными коэффициентами переноса, а пульсациями плотности и электродинамических характеристик пренебрегается.

Для компьютерного моделирования данной задачи используется пакет ANSYS FLUENT 12.0, где необходимо было построить геометрию области решения, создать расчетную сетку и экспортировать её в решатель. В качестве препроцессора использовался программный комплекс Gambit. Кроме того, в нем строилась блочно-структурированная двумерная расчетная сетка, которая затем передавалась в CFD комплекс FLUENT 12.0 для выполнения расчета. Использование $k-\varepsilon$ модели турбулентности даже на довольно грубой расчетной сетке позволило получать удовлетворительные результаты, как по газодинамике, так и по теплообмену. Следует отметить, что данный способ моделирования и расчета дуги в приэлектродной области является своего рода компромиссом между кинетическим подходом и МГД приближением. В ее основе лежат два допущения. Во-первых, влияние приэлектродных процессов на характеристики дуги атмо-

сферного давления локализуется в узких областях и быстро убывает от поверхности электродов. Во-вторых, МГД уравнения интегрально учитывают законы сохранения переноса заряда, импульса и энергии. В соответствии с этим, при расчете сильноточной дуги атмосферного давления можно в первом приближении не вникать в сложную кинетику приэлектродных процессов, а компьютерное моделирование, осуществлять по упрощенной схеме: электрод-плазма. В результате компьютерного моделирования было получено, что на входном участке радиальный поток газа с ростом расхода контрагирует ствол дуги, увеличивает напряженность электрического поля, температуру ядра дуги и кондуктивные потоки тепла в катод. Закрутка газа ($\beta=45^\circ$) ослабляет это воздействие. Интенсивный нагрев и ускорение газового потока происходят на начальном участке, и вблизи уступа формируется высокоскоростной поток плазмы. На этом участке степень турбулентности газового потока не достигает высоких значений и условия горения дуги сопоставимы с условиями горения в ламинарном потоке. При истечении плазменной струи в канал большего диаметра происходит резкое снижение давления, уменьшаются температура и аксиальная скорость, заметно увеличивается роль турбулентного переноса энергии по сравнению с ламинарным. Определяющее влияние на фиксацию длины дуги уступом оказывает тепловое поле дуги, граница которого за счет интенсивной турбулизации потока быстро смещается к стенкам анода, и на расстояниях порядка нескольких длин высоты уступа происходит смыкание токопроводящего канала дуги с поверхностью электрода.

Таким образом, проведенный анализ и компьютерное моделирование показало эффективность применения ступенчатых электродов в установках, предназначенных для плазменного напыления порошковых покрытий, так как именно такая геометрия канала плазмотрона позволяет получить равномерное распределение напыляемых частиц в турбулентных потоках плазмы с заданными скоростными и температурными характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Жуков М.Ф., Коротеев А.С., Урюков Б.А. Прикладная динамика термической плазмы. - Новосибирск: Наука СО, 2005. - 298 с.

2. Лелевкин В.М., Ливенцов В.В. и др. Влияние газодинамических характеристик на свойства электродуговой плазмы. - Препринт ИАЭ-4697/6. - М.: ЦНИИатоминформ, 2008. - 16с.

Научный руководитель: В.Е. Высоцкий, д.т.н., профессор, Самарский государственный технический университет.

ПРИМЕНЕНИЕ НОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ СКРЫТЫХ КАНАЛОВ, ПОЛОСТЕЙ И ТРУБОПРОВОДОВ

С.О. Гапоненко, А.Е. Кондратьев

Казанский государственный энергетический университет

Актуальность. Структура современных трубопроводных коммуникаций крайне несовершенна. В них, по прежнему, преобладают недолговечные металлические трубы (в среднем по России 70 %). Уже через 5-10 лет они начинают терять герметичность и пропускную способность. Как следствие, уровень износа основных фондов отрасли водо - канализационного хозяйства в последнее время достиг более 40 %, 300 тыс. км трубопроводов (в целом по России) нуждаются в срочном капитальном ремонте, а более 50 тыс. км подлежат замене из-за аварийного состояния. По расчетам специалистов при сохранении нынешних темпов ремонта в XXI веке инженерные сети ЖКХ будут изношены до 70 % и более, потери воды возрастут до 60 %, и стоимость жилищно-коммунальных услуг, оказываемых населению, возрастет в 2-2,5 раза.

Для снижения потерь ресурсов при транспортировке важно надежно обнаруживать место утечки жидкости из трубопровода. При этом достоверность контроля зависит от многих факторов, в том числе, от объема вытекшей из трубопровода жидкости. Для решения этой важной задачи целесообразно использовать комплекс средств неразрушающего контроля, основанных на различных физических методах и адаптируемых под изменяющиеся условия контроля.

Повышение энергоэффективности и надежной эксплуатации различных коммуникаций обеспечивается разработкой и внедрением новых более современных способов и приборов определения их местоположения [1].

Описание и цель работы. Целью работы является разработка нового метода поиска скрытых каналов, полостей и трубопроводов выполненных как из металлических, так и неметаллических материалов.

Метод заключается в генерации резонансных звуковых колебаний в полости искомого объекта, при этом оконтуривание этого объекта осуществляется путем перемещения чувствительного элемента (микрофона или пьезоэлектрического датчика) над зоной поиска.

Описание экспериментальной установки. Внешний вид экспериментальной установки представлен на рисунке 1.

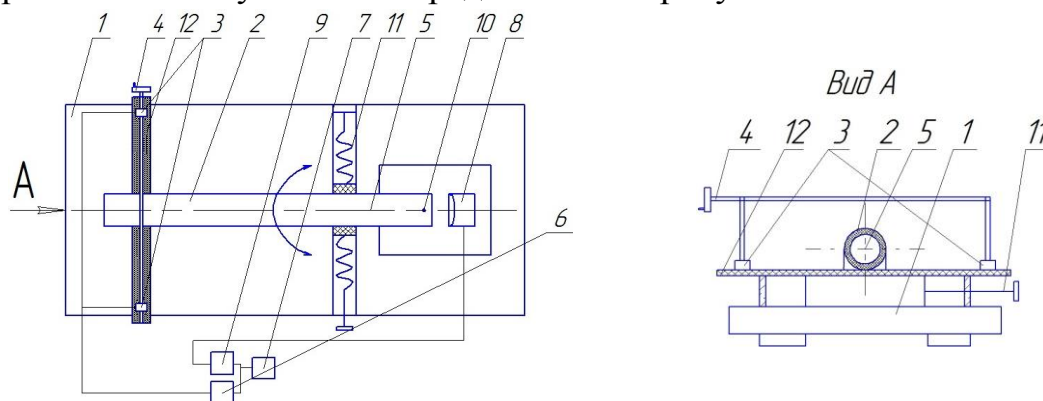


Рис. 1. Экспериментальная установка

Принцип работы устройства заключается в регистрации пьезоэлектрическими датчиками 3 резонансных колебаний, которые возбуждаются в исследуемом трубопроводе 2 акустическим излучателем 8 [2,3].

Установка имеет массивное виброустойчивое основание 1, на котором шарнирно закреплен конец исследуемого трубопровода 2. На этом же конце трубопровода 2 устанавливают акустический излучатель 8.

Пьезоэлектрические датчики 3, расположенные на упругой пластине 12, устанавливают на конце исследуемого трубопровода 2. С помощью персонального компьютера 7 производят поиск резонансной частоты колебания исследуемого трубопровода 2. Преобразование выходного сигнала персонального компьютера 7 в аналоговую форму производится ЦАП 9. После регистрации резонансной частоты исследуемого трубопровода 2. Поворот исследуемого трубопровода 2 в горизонтальной плоскости посредством дополнительно введенного механизма 11 поворота, установленного на основании 1, приводит к разности резонансных колебаний, принимаемых пьезоэлектрическими датчиками 3. Таким образом, можно варьировать расстояние от трубопровода 2 до пьезоэлектрических датчиков 3.

Алгоритм экспериментальных исследований. Перед началом эксперимента обязательным условием является калибровка измерительной системы экспериментальной установки.

Экспериментальные исследования выполняются в следующей последовательности:

1. Пьезоэлектрические датчики устанавливаются на пластину на равные расстояния от продольной оси исследуемого трубопровода. Исходное положение трубопровода изображено на рисунке 3, из которого видно, что соблюдается равенство углов φ_1 и φ_2 , а также расстояний l_1 и l_2 .
2. На акустический излучатель подается гармонический сигнал какающейся частоты в диапазоне от 500 до 4000 Гц. Производится поиск резонансной частоты трубопровода по наличию максимума амплитуд принимаемых микрофонами сигналов.
3. Акустическим излучателем в трубопроводе возбуждается сигнал резонансной частоты, который регистрируется пьезоэлектрическими датчиками. Сигнал с пьезоэлектрических датчиков поступает в персональный компьютер, где производится его оцифровка для последующего сравнения. Измерения проводятся при различных углах φ_1 и φ_2 отклонения трубопровода от продольной оси (ОХ) установки, при которых изменяются расстояния до микрофонов l_1 и l_2 .
4. Сравниваются амплитуды принятых двумя пьезодатчиками сигналов. В случае несовпадения положения исследуемого трубопровода с осью ОХ разница амплитуд сигналов, принимаемых пьезодатчиками должна быть пропорциональна расстояниям l_1 и l_2 .
5. Для повышения достоверности результатов при каждом положении исследуемого трубопровода следует проводить не менее трех измерений.

Программное обеспечение. С учетом указанных требований программное обеспечение для экспериментальной установки было реализовано в программном комплексе LabVIEW в следующих исполнениях:

1. Программное обеспечение «Программный комплекс для определения расположения полых объектов по их резонансной частоте» [4].
2. Программное обеспечение «Программный комплекс для обнаружения полых объектов по их резонансной частоте», предназначенная для обнаружения расположения полых объектов по их резонансной частоте [5].
3. Программное обеспечение «RESONANCE 2013» [6].

Вывод. Предварительные результаты, проведенные с помощью предлагаемой экспериментальной установки и программного обеспечения, показали возможность получения достоверной информации об изменении расстояния оси трубопровода до микрофонов. В перспек-

тиве дальнейших исследований планируется отработка способа на натурных объектах.

Реализация предложенного метода может существенно повысить надежность эксплуатации коммуникаций, а также снизить вероятность аварийной ситуации при проведении строительно-монтажных работ. Экономический эффект от внедрения характеризуется сокращением трудозатрат поиска скрытых каналов, полостей и трубопроводов, зачастую выполняемых с привлечением тяжелой экскаваторной техники. Ориентировочная себестоимость разрабатываемого универсального прибора составляет 20 тысяч рублей, в состав которого в простом варианте его исполнения входит персональный компьютер, микрофон и звуковой излучатель (динамик) с усилителем. Для сравнения, цена трассоискателей «Успех АГ-308.10М», «Альтернатива АГ-401», «SR-20» варьируется в диапазоне от 50 до 200 тысяч рублей, область применения которых ограничена только металлическими объектами.

Анализ рынка предлагаемых трассоискателей показал, что его основная часть составляет продукция зарубежных производителей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети // М.: Издательский дом МЭИ, 2006.—472 с.
2. Кондратьев А.Е., Гапоненко С.О. Способ определения расположения трубопроводов // Патент Рос. Федерации, заявитель и патентообладатель КГЭУ. - №2482515; заявл. 15.12.2011; опубл. 20.05.2013.
3. Кондратьев А.Е., Гапоненко С.О. Установка для исследования эффективности определения расположения трубопроводов // Патент Рос. Федерации, заявитель и патентообладатель КГЭУ. - №145136; заявл. 24.02.2014; опубл. 05.08.14.
4. Кондратьев А.Е., Гапоненко С.О. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012661393: Программный комплекс для определения расположения полых объектов по их резонансной частоте / Заявка №2012619257, 2012.
5. Кондратьев А.Е., Гапоненко С.О. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013610546: Программный комплекс для обнаружения полых объектов по их резонансной частоте / Заявка №2012660385, 2012.

6. Кондратьев А.Е., Гапоненко С.О. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013661788: RESONANCE 2013 / Заявка №2013619421, 2013.

Научный руководитель: А.Е. Кондратьев, к.т.н., доцент КГЭУ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОЖДЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ ТЕМПЕРАТУРЫ РАДИАТОРА В СРЕДЕ SOLIDWORKS FLOW SIMULATION С ИЗМЕРЕННЫМИ НА СТЕНДЕ

М.А. Исаев¹, А.М. Исаев², Т.Н. Круглова³

¹Донской государственный технический университет

²ЗАО «СтилСофт»

³«Донской государственный технический университет», кафедра «Робототехника и мехатроника», г. Ростов-на-Дону

С развитием технологий электронные компоненты все время уменьшаются в размерах, что приводит к увеличению плотности их компоновки. Несмотря на уменьшение потребляемой мощности отдельных микросхем, общее тепловыделение на единицу поверхности растет. Эта тенденция вынуждает искать более теплоэффективные формы радиаторов и компоновки электронных компонентов. Эмпирически перебирать все варианты долго и дорого, вести тепловые расчеты вручную «на бумаге» сложно и занимает много времени. Рациональным способом является проведение моделирования и вычисления тепловой системы с помощью ЭВМ. С развитием САПР систем такой подход становится более доступным и менее трудоемким, что позволяет относительно быстро перебирать различные компоновочные схемы и формы радиаторов.

Особенность модуля FlowSimulation в том, что он полностью интегрирован в среду SolidWorks, что позволяет без особых трудностей вносить изменения в 3D модель и исходные данные расчета. Для оценки погрешности имитационной модели необходимо определить разницу между расчетными данными модуля FlowSimulation и реальными данными, полученными со стенда при различном положении радиатора.

Для проведения экспериментальных исследований разработан стенд (рис.1), параметры которого приведены в табл. 1

Табл. 1. Технические характеристики экспериментального стенда и условия эксперимента

Материал радиатора	Дюралюминий Д16
Нагревательный элемент	Керамический резистор с сопротивлением 15 Ом
Мощность, рассеиваемая на резисторе, Вт	10,5
Термопаста	КТП-8
Температура окружающего воздуха, °С	26
Поток воздуха	Естественная конвекция в помещении



Рис. 1. Общий вид стенда для снятия тепловых характеристик.

Необходимо провести анализ стенда в FlowSimulation, а затем сравнить полученные данные с реальными. Для этого разработана 3D модель сборки радиатора и резистора с учетом, что зазоры между компонентами заполнены термопастой. Радиатор расположен на стеклотекстолитовой подложке, толщиной в 2 мм. (Рис. 2).

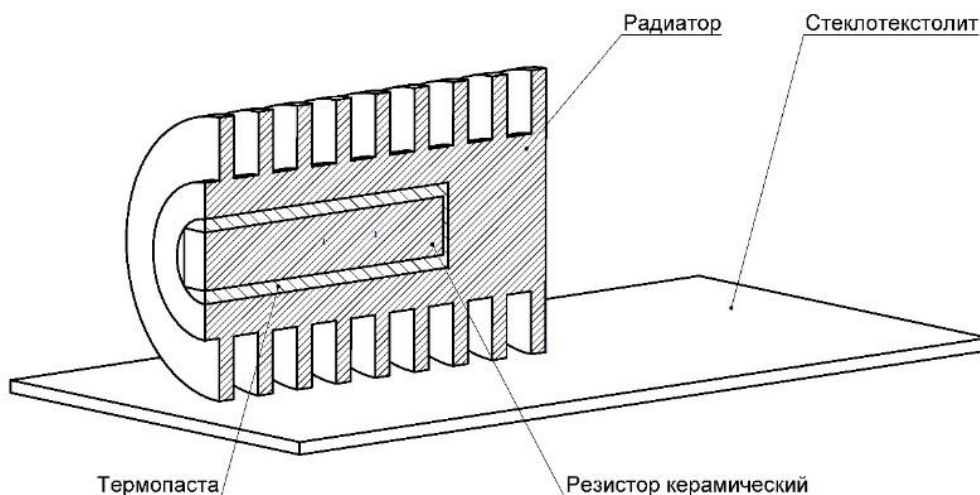


Рис. 2. Общий вид 3D модели стенда

Далее создается новое исследование в модуле FlowSimulation. Расчет производится в объеме воздуха, в который помещена сборка радиатора.

После ввода параметров исследования, задаются материалы компонентам и выбирается в качестве источника тепла керамический резистор мощностью 10,5 Вт [2].

Цели исследования в модуле FlowSimulation следующие:

- максимальная температура радиатора;
- максимальная температура внутренней цилиндрической поверхности радиатора (той поверхности, где на стенде измеряется температура с помощью термопары);
- максимальная температура резистора.

Для расчета выбраны следующие исходные параметры: время расчета 1800 с., шаг расчета 2 с. Расчеты производились при горизонтальном и вертикальном положении радиатора. Результаты измерений приведены в табл.2 и на рис. 4, 5.

Табл. 2. Результаты экспериментальных исследований

Измеряемый параметр	Горизонтальное положение радиатора	Вертикальное положение радиатора
Максимальная расчетная температура внутренней цилиндрической поверхности °С	82,12	92,7
Измеренная температура внутренней цилиндрической поверхности с помощью термопары, °С	80	93
Абсолютное отклонение, °С	2,12	-0,3
Относительное отклонение, %	2,65	0,33

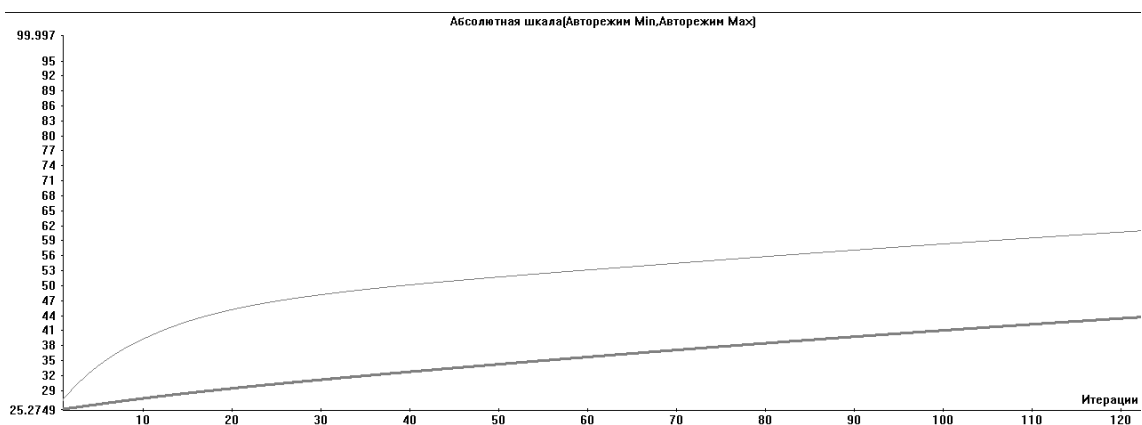


Рис. 3. Результаты исследования при горизонтальном положении радиатора.

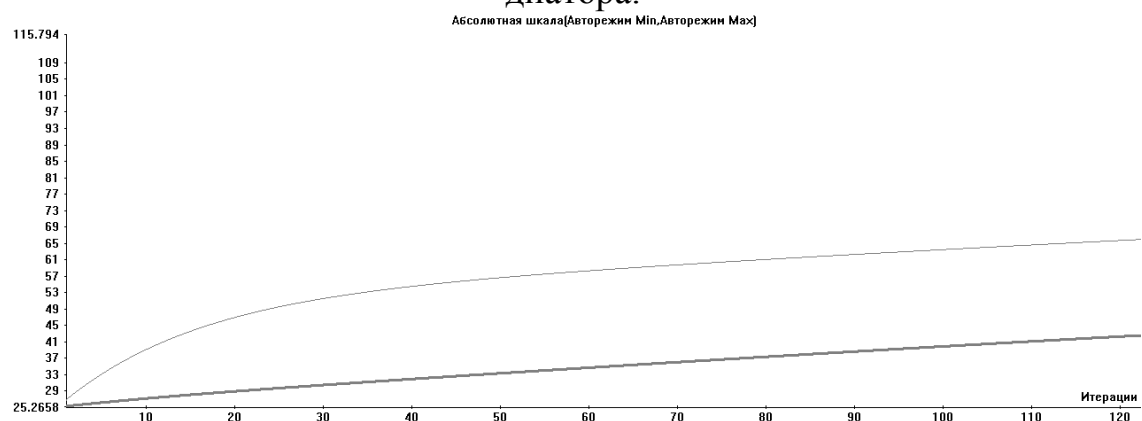


Рис. 4. Результаты исследования при вертикальном положении радиатора

После проведения исследования можно сделать вывод, что конечный результат сильно зависит от правильности ввода исходных параметров. В данном исследовании погрешность между расчетными и измеренными данными не превысила 5%, но при увеличении времени исследования до 1 ч. погрешность возрастает до 11%. В силу того, что начальные условия могут быть заданы не точно и программа не учитывает неоднородность материала и ряд других тепловых эффектов, то расхождение расчетных данных с фактическими может достигать 30%. Так же необходимо учитывать то, как направлен поток воздуха относительно ребер радиатора. Для большего эффекта охлаждения, поток воздуха должен быть направлен вдоль поверхности ребрения, что и было продемонстрировано в исследовании [1].

ЛИТЕРАТУРА:

1. SolidWorks Flow Simulations 2009 tutorial -2009. – С. 47-75

2. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел - Москва: Наука, 1964.

Научный руководитель: Т.Н. Круглова, к.т.н. доцент каф. РИМ ДГТУ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В МЕТАЛЛАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

И.Р. Шангараев, В.В. Звездин, Н.А. Галанина
Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета

Для управления ходом технологического процесса (ТП) прошивки отверстий в металлах необходимо исследовать возникающие в зоне воздействия лазерного излучения (ЛИ) различные виды энергий. На рис.1 показаны фотографии зоны воздействия ЛИ на металл. Из них видно, что на поверхности металла образовались кольца механического уплотнения, что указывает на возникновение механических колебаний в зоне воздействия. Это характеризует наличие ультразвуковых колебаний (УЗК) в металле. Для стабилизации ТП необходимо измерить параметры УЗК. Исследования различных вариантов решения этой задачи показывают, что наиболее перспективным направлением является управление путем измерения параметров УЗК, возникающих в зоне обработки [1].

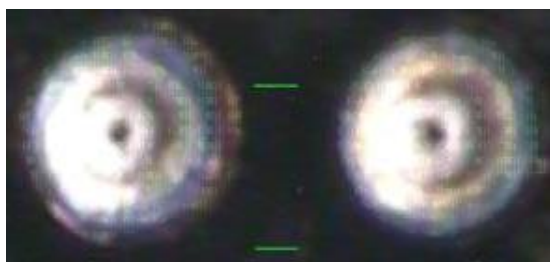


Фото поверхности зоны взаимодействия ЛИ с металлом при фокусном расстоянии 0,32мм.

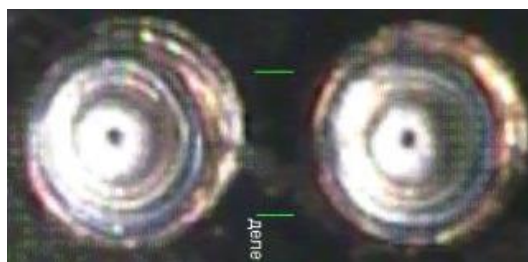


Фото поверхности зоны взаимодействия ЛИ с металлом при фокусном расстоянии 0,64мм.

Рис. 1. Фото поверхности зоны взаимодействия ЛИ с металлом при различных фокусных расстояниях на Стали 45.

Внедрение лазерной технологии требует создания САУ, работающей по параметру УЗК, измеряемого в реальном времени хода ТП и характеризующего его качество. Управление процессом лазерной

прошивки отверстий в металлах позволяет получить их требуемые показатели качества.

На параметры УЗК в металле влияет главным образом энергия ЛИ, его фокусное расстояние, глубина канала и состояние металла. Решение задачи повышения качества ТП прошивки отверстий показывают, что наиболее перспективным направлением является измерение амплитуды УЗК в реальном времени и управление энергией импульсного ЛИ по данному параметру ТП. Данный подход позволяет повысить качество прошивки отверстий. Введение в САУ лазерного технологического комплекса (ЛТК) отрицательной обратной связи по измеряемому параметру позволяет осуществлять стабилизацию требуемых показателей качества в ходе ТП [2].

Исследования проводились на лабораторной установке (рис.2).

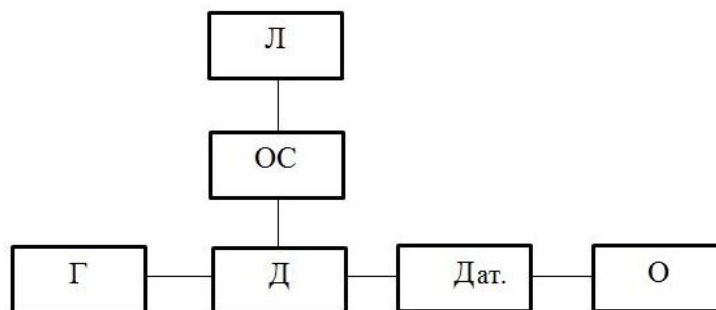
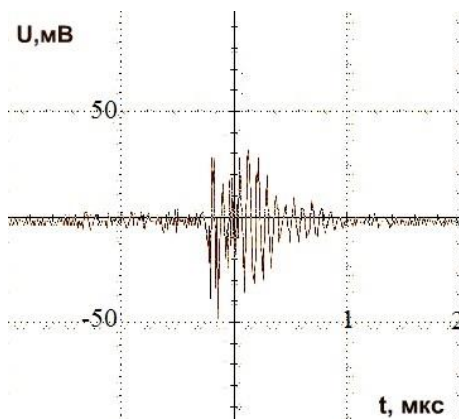
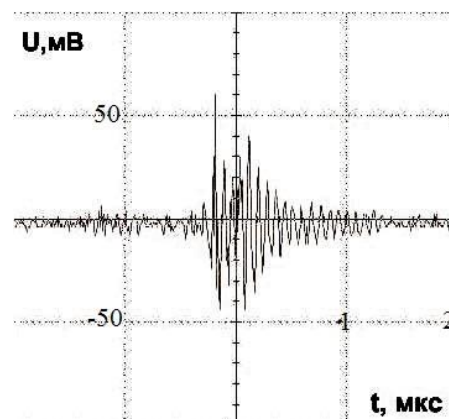


Рис. 2. Функциональная схема экспериментальной установки для исследования ультразвукового модуляционного сигнала: Л– Лазер (LRS-150 А), ОС – Оптическая система, Г – Генератор высокочастотных УЗК, Д – Деталь, Д – Датчик УЗК, О – Осциллограф.

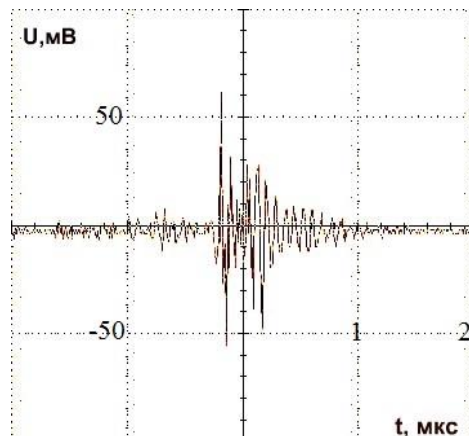
При формировании значений параметров ЛТК (согласно математической модели) изменяются характеристики УЗК.



При фокусировке на глубину 0,32 мм



При фокусировке на глубину 0,64 мм



При фокусировке на глубину 0,96 мм

Рис. 3. Осциллограммы ультразвуковых колебаний при различных фокусных расстояниях ЛИ от поверхности металла.

Из анализа осциллограмм (рис.3) можно сделать вывод, что при увеличении фокусного расстояния лазерного излучения параметры УЗК изменяются. Это указывает на взаимосвязь между параметрами ЛТК и характеристиками ТП [3].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Григорьянц А. Г., Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров; — М.: Изд-во МГТУ 2006. — 664 с.
2. Чабанов В.Е. Лазерный ультразвуковой контроль. — Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та, 1986. — 232 с.
3. Веденов А.А., Гладуш Г.Г. Физические процессы при лазерной обработке материалов. — М.: Энергоатомиздат, 1985.- 208 с.

Научный руководитель: Н.А. Галанина, д.т.н., Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова.

ОТВОД УХОДЯЩИХ ГАЗОВ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА ГТУ ЧЕРЕЗ ВЫТЯЖНУЮ БАШНЮ ГРАДИРНИ

С.К. Зиганшина, А.А. Кудинов, С.П. Горланов
Самарский государственный технический университет

Предлагается осуществлять отвод уходящих газов котла-утилизатора ГТУ через вытяжную башню градирни (рис. 1) [1]. Приведены методика и результаты расчета башенной градирни, установленной на ПГУ-200 Сызранской ТЭЦ (табл. 1). Методика расчета за-

ключается в следующем. Задавшись температурой воздуха на выходе из градирни, определяют самотягу. При условии равенства самотяги и аэродинамического сопротивления градирни находят скорость и расход воздуха. Тепловой расчет позволяет методом последовательных приближений определить температуры воздуха и воды на выходе из градирни. Расчетные значения сравнивают с принятыми [2].

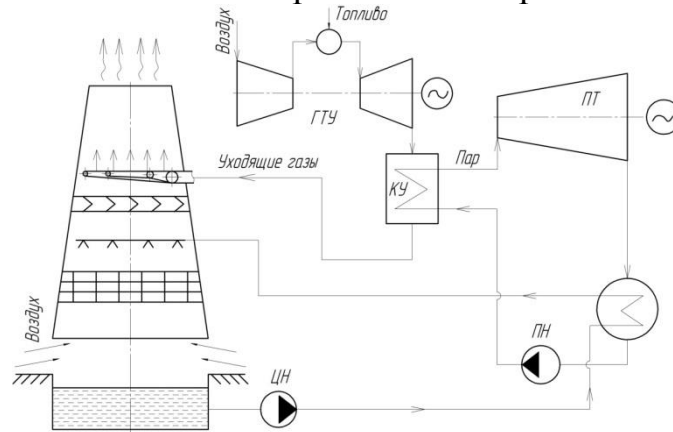


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема ПГУ с отводом дымовых газов газотурбинной установки через градирню

Расчеты произведены для двух случаев: 1) без осуществления отвода уходящих газов котла-утилизатора ГТУ в вытяжную башню градирни; 2) с осуществлением отвода уходящих газов котла-утилизатора ГТУ через вытяжную башню градирни в количестве $G_{Г5} = 115,68$ кг/с в соответствии с данными [3, 4, 5].

Исходные данные: площадь оросителя $F_{ор} = 2350$ м²; высота оросителя $H_{ор} = 1$ м; высота градирни $H_{гр} = 74,4$ м; диаметр основания башни $D_{осн} = 60,4$ м; диаметр устья $D_{уст} = 60,4$ м; высота воздухоходных окон $H_{ок} = 6,5$ м; площадь воздухоходных окон $F_{ок} = 1029,28$ м²; температура воздуха $\vartheta_1 = 21$ °С; относительная влажность воздуха $\phi_1 = 54$ %; барометрическое давление $p_6 = 745$ мм.рт.ст. = 10128,71 кгс/м² = 99,085 кПа; температура охлаждаемой воды $t_1 = 38$ °С; расход воды $G_{ж} = 14000$ м³/ч.

Анализ результатов расчетов показал, что при отводе уходящих газов котла-утилизатора ГТУ в объеме $G_{Г5} = 115,68$ кг/с через вытяжную башню градирни, самотяга Δp градирни возрастает с 24,81 Па до 32,8 Па (на 32 %), общий коэффициент сопротивления градирни $\xi_{общ}$ повышается с 45,5 до 53,5 (на 17 %), при этом температура циркуляционной воды t_2 на выходе из градирни снижается на 6,9 % с 29 °С до 27 °С (рассматривается летний период года), что обеспечивает более глубокий вакуум в конденсаторе паровой турбины парогазовой установки.

Табл. 1. Результаты расчета башенной градирни ПГУ-200 Сызранской ТЭЦ

Наименование параметра, расчетная формула	Значение
Диаметр градирни в оросительной части, м $D_f = 1,128 \cdot \sqrt{F_{ор}}$	54,68
Половина длины воздухораспределителя, м $l = D_f / 4$	13,67
Гидравлическая нагрузка, $q_{ж} = G_{ж} / F_{ор}$, м ³ /(м ² ·ч)	5,96
Отношение площади окон к площади оросителя, $F_{ок} / F_{ор}$	0,438
Высоты башни градирни, м $H_б = H_{зр} - H_{ок} - H_{ор}$	66,9
Принятая температура воздуха на выходе из градирни ϑ_2 , °С	28
Парциальное давление насыщенных водяных паров: при ϑ_1 p''_{ϑ_1} , кгс/м ² ; при ϑ_2 p''_{ϑ_2} , кгс/м ²	253,4; 385,0
Плотность насыщенных водяных паров: при ϑ_1 ρ''_{ϑ_1} , кг/м ³ ; при ϑ_2 ρ''_{ϑ_2} , кг/м ³	0,0183; 0,0272
Плотность воздуха начальная, кг/м ³ $\rho_1 = \frac{p_б - \varphi_1 \cdot p''_{\vartheta_1}}{R_b \cdot (\vartheta_1 + 273,15)} \cdot \varphi_1 \cdot \rho''_{\vartheta_1}$	1,17 29,27
Газовая постоянная для воздуха R_b , кгс·м/(кг·К)	
Плотность воздуха конечная (при $\varphi_2 = 1$), кг/м ³ $\rho_г = \frac{p_б - \varphi_2 \cdot p''_{\vartheta_2}}{R_b \cdot (\vartheta_2 + 273,15)} \cdot \varphi_2 \cdot \rho''_{\vartheta_2}$	1,13
Коэффициент сопротивления оросителя $\xi_{ор}$, (рис. 8.2 [2])	18,2
Отношение $\xi_{ор}/\xi_{общ}$, (рис. 7.19 [2])	0,4
Общий коэффициент сопротивления градирни $\xi_{общ} = \xi_{ор} / 0,4$	45,5
Самотяга градирни, Па $\Delta p = H_б \cdot g \cdot (\rho_1 - \rho_2)$	24,81
Средняя плотность воздуха, кг/м ³ $\rho_{ср} = (\rho_1 + \rho_2) / 2$	1,15
Скорость воздуха в свободном сечении градирни, $\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\xi_{общ} \cdot \rho_{ср} k_{\xi}}}$, $k_{\xi} = 1,1$	0,93

Расход воздуха, кг/с $G_b = \rho_{cp} \cdot \omega \cdot S_{б,ср}$	1942,7
Средняя площадь поперечного сечения башни, м ² $S_{б,ср} = \pi \cdot (D_{осн} + D_{уст})^2 / 16$	1818,1
Удельный расход воздуха $\lambda = G_b / G_{ж}$	0,5
Температура воздуха по смоченному термометру t , °C для ϑ_1, φ_1 (по диаграмме Молье)	15
Характеристики оросителя [2]: A, m	1,41, 0,54
Теплоемкость воды $c_{ж}$, кДж/(кг·K)	4,1868
Теплота парообразования r , кДж/кг	2493
Принимаем температуру воды на выходе из градирни t_2 , °C	29
Вспомогательный коэффициент: $k = 1 - t_2 \cdot c_{ж} / r$	0,951
Плотность воздуха при температуре ϑ_1 ρ_{ϑ_1} , кг/м ³	1,2
Давление насыщения пара, кгс/м ² при температуре: t_1 , °C : p''_{t_1} ; t_2 , °C : p''_{t_2}	676; 408
Плотность пара, кг/м ³ при температуре t_1 , °C : ρ''_{t_1} ; t_2 , °C : ρ''_{t_2}	0,046; 0,028
Средняя температура воды в градирне, °C $t_m = t_{ср} = (t_1 + t_2) / 2$	33,5
Давление насыщенного пара при t_m , p''_{t_m} , кгс/м ²	527,5
Плотность насыщенного пара при t_m , ρ''_{t_m} , кг/м ³	0,036
Разность температур воды в градирне $\Delta t = t_1 - t_2$, °C	9
Величины удельных энтальпий воздуха, кДж/кг $i''_1 = t_1 + \frac{\varphi_2 \cdot \rho''_{t_1} \cdot R_b \cdot (t_1 + 273,15)}{p_6 - \varphi_2 \cdot p''_{t_1}} \cdot (r + 1,9693 \cdot t_1)$ $i''_2 = f(t_2, \varphi_2, p_6)$; $i''_1 = f(\vartheta_1, \varphi_1, p_6)$; $i''_m = f(t_m, \varphi_2, p_6)$	152,55 95,58; 42,58 121,17
Поправка к энтальпии $\delta''_i = (i''_1 + i''_2 - 2i''_m) / 4$	1,44
Энтальпия воды на выходе из градирни, кДж/кг $i_2 = i_1 + \frac{c_{ж} \cdot \Delta t}{k \cdot \lambda}$	121,93

Средняя разность энтальпий, кДж/кг $\Delta i_{\text{cp}} = \frac{(i_1'' - i_2) - (i_2'' - i_1)}{\ln \left(\frac{i_1'' - i_2 - \delta_i''}{i_2'' - i_1 - \delta_i''} \right)}$	39,3
Температура охлажденной воды, °C $t_2' = t_1 - (A \cdot \lambda^m \cdot H_{\text{op}} \cdot k \cdot \Delta i_{\text{cp}}) / c_{\text{ж}}$	29,35
Погрешность между принятой и полученной величинами $\delta = t_2 - t_2' / t_2'$	0,01
Объемный коэффициент массоотдачи, отнесенный к разности влагосодержаний, кг/(м³·ч) $\beta_{\text{хв}} = A \cdot \lambda^m \cdot q_{\text{ж}}$	5,77
Безразмерный критерий Меркеля $Me = \frac{\beta_{\text{хв}} \cdot H_{\text{op}}}{q_{\text{ж}}} = \frac{\Delta t \cdot c_{\text{ж}}}{k \cdot \Delta i_{\text{cp}}} = A \cdot H_{\text{op}} \cdot \lambda^m$	0,97

Таким образом, применение отвода уходящих газов котла-утилизатора ГТУ в атмосферу через вытяжную башню градирни позволяет повысить эффективность работы градирни и паротурбинной установки ПГУ, а так же избежать затрат на строительство и обслуживание дымовой трубы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Патент № 2453712 (RU). МПК⁷ F 01 K 23/10. Парогазовая установка электростанции / Кудинов А.А., Зиганшина С.К., Горланов С.П. // Открытия. Изобретения. № 6, 2012. 6 с.
2. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1998. 376 с.
3. Кудинов А.А., Зиганшина С.К. Парогазовые установки тепловых электрических станций: учеб. пособие. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. 210 с.
4. Кудинов А.А., Зиганшина С.К. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: монография. М.: Машиностроение, 2011. 374 с.

5. Кудинов А.А. Тепловые электрические станции. Схемы и оборудование. М.: ИНФРА-М, 2012. 325 с.

Научный руководитель: А.А. Кудинов, д.т.н., заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции» Самарский государственный технический университет.

СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ СЖАТОГО В ТУРБОКОМПРЕССОРЕ ГТУ ВОЗДУХА

К.Р. Хусаинов, А.А. Кудинов
Самарский государственный технический университет

Наиболее совершенными с термодинамической точки зрения для применения в энергетике являются парогазовые установки утилизационного типа (ПГУ-У) [1, 2]. Одним из способов повышения тепловой экономичности ПГУ-У является промежуточный перегрев водяного пара, отработавшего в паровой турбине. В этом случае повышается КПД не только котла-утилизатора за счет более глубокого охлаждения газов, но и паровой турбины за счет подвода к пару дополнительной теплоты. Данные установки – ПГУ с промежуточным перегревом пара уже доказали свою тепловую экономичность [3]. При этом не менее существенной по степени важности является задача повышения КПД газотурбинной установки, для решения которой применяют двухступенчатое и реже трех- и более ступенчатое сжатие [4].

Для повышения эффективности работы двухконтурной ПГУ утилизационного типа предлагается в цикле установки использовать теплоту сжимаемого в турбокомпрессоре ГТУ воздуха для промежуточного перегрева водяного пара, частично отработавшего в паровой турбине, перегрева водяного пара низких параметров и предварительного подогрева турбинного конденсата (рис. 1). При этом, выработанный в контуре низкого давления котла-утилизатора насыщенный водяной пар, будет направляться во вторую ступень воздухоохладителя турбокомпрессора ГТУ для перегрева до заданной температуры. В воздухоохладителе турбокомпрессора также будет осуществляться промежуточный перегрев водяного пара, частично отработавшего в паровой турбине, и подогрев турбинного конденсата, поступающего в газовый подогреватель конденсата (ГПК) котла-утилизатора. В этом случае газотурбинная установка будет состоять из трех ступеней турбокомпрессора с расположенными между ними двумя ступенями воздухоохладителя, камеры сгорания и газовой турбины (см. рис. 1).

Применительно к двухконтурной парогазовой установке ПГУ-450 Северо-Западной ТЭЦ г. Санкт-Петербурга, состоящей из двух газотурбинных установок Siemens V94.2 мощностью по 157 МВт, двух котлов-утилизаторов П-90 ПМЗ и одной паротурбинной установки КТ-150-8 ЛМЗ, был проведен тепловой расчет, выполненный по методике, изложенной в [5, 6, 7].

Работа ПГУ-450 осуществляется следующим образом. Наружный воздух подается в первую ступень турбокомпрессора газотурбинной установки, где в процессе сжатия осуществляется подогрев воздуха. Подогретый воздух охлаждается в первой ступени воздухоохладителя, и далее сжимается во второй ступени турбокомпрессора. Затем сжатый во второй ступени турбокомпрессора воздух охлаждается в воздухоохладителе второй ступени одновременно передавая часть своей теплоты двум потокам пара – потоку пара низкого давления и потоку пара, направляемого из ЧНД паровой турбины на промежуточный перегрев. После этого охлажденный воздух направляется в третью ступень турбокомпрессора ГТУ, где сжимается до необходимого давления.

Общий поток сжатого в трехступенчатом турбокомпрессоре воздуха разделяется на первичный и вторичный воздух. Первичный воздух подается в камеру сгорания, туда же подается под давлением топливо. Вторичный воздух служит для поддержания заданной начальной температуры газов перед газовой турбиной. Смесь продуктов сгорания топлива с воздухом (рабочее тело) при температуре 1060 °С поступает в газовую турбину, где в процессе расширения газов совершается работа, затрачиваемая на привод турбокомпрессора и электрогенератора. Отработавшие в газовой турбине газы направляются в паровой котел-утилизатор (КУ), где передают свою теплоту пароводяному тракту котла-утилизатора.

В первой по ходу движения газов поверхности нагрева КУ – основном пароперегревателе высокого давления насыщенный водяной пар, поступающий из барабана высокого давления, перегревается до температуры 512 °С и направляется в цилиндр высокого давления (ЦВД) паровой турбины, где, расширяясь, совершает полезную работу. Затем отработавший в ЦВД пар направляется в камеру смешения цилиндра низкого давления. К нему подмешивается перегретый в турбокомпрессоре ГТУ пар низкого давления, после чего суммарный поток пара подается в цилиндр низкого давления (ЦНД) паровой турбины. Частично отработавший в ЦНД пар при низких значениях температуры (156 °С) и давления (0,24 МПа) направляется в промежуточный пароперегреватель, которым является ВО 2 турбокомпрессора

ГТУ, где перегревается до температуры 255 °С. Перегретый в ВО 2 пар возвращается в ЦНД паровой турбины, где в процессе расширения совершает работу паротурбинного цикла. Отработавший в паровой турбине пар отводится в конденсатор.

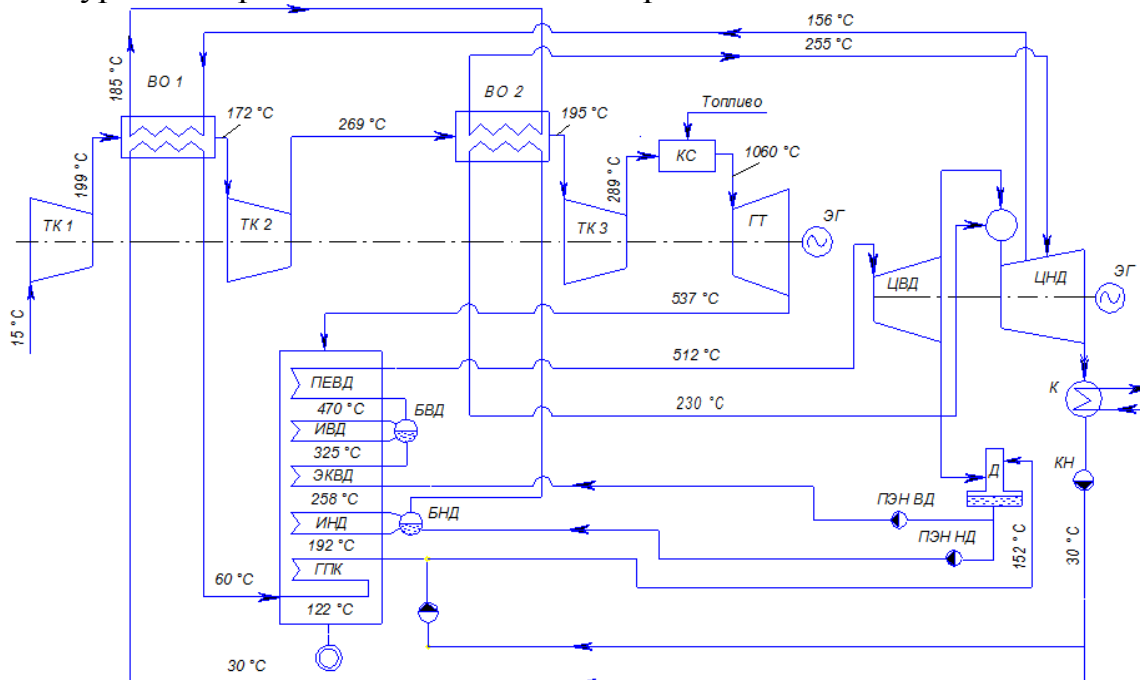


Рис. 1. Расчетная тепловая схема парогазовой установки ПГУ-450 с применением промежуточного перегрева пара в воздухоохладителе турбокомпрессора ГТУ

В таблице 1 представлены результаты расчета технико-экономических показателей газотурбинной и парогазовой установок, которые были получены при проведении теплового расчета. Расчеты проводились при следующих условиях: давление пара на входе в проточную часть ЦВД — 8,2 МПа; давление пара на входе в проточную часть ЦНД — 0,7 МПа; давление в конденсаторе паровой турбины — 5 кПа; электрическая мощность газотурбинной установки — 157 МВт; электрический КПД газотурбинной установки — 34,4 %; температура газов за ГТ — 537 °С. В ходе расчетов температура наружного воздуха была принята равной 15 °С.

Табл. 1.

β	Мощность ГТУ	КПД ГТУ	Мощность ПГУ	КПД ПГУ	Удельный расход условного топлива
	МВт	%	МВт	%	г / (кВт · ч)
11,3	157,060	34,489	453,286	50,49	243,61
12,43	156,194	34,991	464,769	52,797	232,97

13,56	154,952	35,376	462,285	53,077	231,74
14,69	153,429	35,666	459,239	53,287	230,83
15,82	151,69	35,873	455760,7	53,438	230,17
16,95	149,793	36,013	451,967	53,539	229,74
18,08	147,769	36,092	447,919	53,6	229,48
19,21	145,649	36,118	443,679	53,615	229,41
20,34	143,456	36,098	439,293	53,601	229,47
21,47	141,207	36,035	434,795	53,555	229,67
22,60	138,917	35,933	430,215	53,481	229,99
23,73	136,597	35,797	425,575	53,382	230,41
24,86	134,254	35,628	420,889	53,260	230,94
25,99	131,897	35,428	416,175	53,114	231,58
27,12	129,532	35,2	411,445	52,949	232,30
28,25	127,163	34,946	406,707	52,764	233,11

Выполнен тепловой расчет двухконтурной ПГУ-450 с использованием промежуточного перегрева водяного пара в турбокомпрессоре ГТУ. При установке промежуточного пароперегревателя в воздухоохладителе турбокомпрессора ГТУ КПД ПГУ повышается с 50,49 до 53,62 %. Соответственно, удельный расход топлива – природного газа снижается с 243,61 г/кВт·ч до 229,39 г/кВт·ч (на 5,84 %). Таким образом, применение промежуточного перегрева пара с одновременным перегревом пара низких параметров в турбокомпрессоре ГТУ позволяет существенно повысить тепловую экономичность ПГУ-450.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. М.: МЭИ, 2006. 580 с.
2. Кудинов А.А. Тепловые электрические станции. Схемы и оборудование. М.: ИНФРА-М, 2012. 325 с.
3. Мошкарин Мошкарин А.В., Девочкин М.А., Шелыгин Б.Л., Рабенко В.С. Анализ направлений развития отечественной энергетики. Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т, 2002. 256 с.
4. Кудинов А.А., Зиганшина С.К. Парогазовые установки тепловых электрических станций. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. 210 с.
5. Трубилов М.А., Арсеньев Г.В., Фролов В.В. Паровые и газовые турбины. М.: Энергоатомиздат, 1985. 350 с.
6. Гиршфельд В.Я, Морозов Г.Н. Тепловые электрические станции. М.: «Энергия», 1973. 238 с.

7. Трухний А.Д., Романюк А.А. Расчет тепловых схем утилизационных парогазовых установок: учеб. пособие М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 40 с.

Научный руководитель: А.А. Кудинов, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции», Самарский государственный технический университет».

ОЦЕНКА НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ПОЛОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТЕПЛОЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКЕ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОХЛАЖДЕНИЯ

О.С. Симонова

Томский политехнический университет
ИНК, лаборатория № 51

Пуск, аварийная остановка энергетического оборудования (трубопроводы тепловых сетей, нефтегазопроводы, ядерные реакторы, ускорители заряженных частиц и т.д.) при эксплуатации происходит при нестационарных условиях.

В [1] операционным методом Лапласа решены задачи теплопроводности для начальной стадии теплового процесса ($Fo > 0,01$), представленные в виде сумм рядов из специальных функций ошибок Гаусса. Такие решения сложны для практического анализа для не специалистов. Поэтому в [2] показан приближенный метод оценки на начальной стадии развития теплового состояния в тепловыделяющих элементах классической формы (пластина, цилиндр, шар).

Проведем оценку нестационарного температурного режима полой цилиндрической сборки при несимметричных условиях охлаждения в широком диапазоне чисел Фурье.

Система уравнений, описывающая процесс теплопроводности в такой сборке имеет вид

$$\frac{\partial \theta}{\partial Fo} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \cdot \frac{\partial \theta}{\partial R} \right) + Po(R, Fo), \quad Fo > 0, \quad 1 < R < R_0; \quad (1)$$

$$\theta(R, 0) = -1; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta(1, Fo)}{\partial R} - Bi_1 \cdot \theta(1, Fo) = 0; \quad (3)$$

$$\frac{\partial \theta(R_0, Fo)}{\partial R} + Bi_2 \cdot (\theta(R_0, Fo) + \theta_{\text{жс}}) = 0. \quad (4)$$

Здесь $\theta(R, Fo) = \frac{T(r, \tau) - T_{\text{жс}1}}{T_{\text{жс}1} - T_0}$ - безразмерная температура;

$Po(R, Fo) = \frac{q_v(r, \tau) \cdot r_2^2}{\lambda \cdot (T_{\text{жс}1} - T_0)}$ - безразмерная функция Померанцева;

$\theta_{\text{жс}} = \frac{T_{\text{жс}1} - T_{\text{жс}2}}{T_{\text{жс}1} - T_0}$; $Bi_1 = \frac{\alpha_{\text{эф}\phi 1} \cdot r_2}{\lambda}$, $Bi_2 = \frac{\alpha_{\text{эф}\phi 2} \cdot r_2}{\lambda}$ - числа Био; $R = \frac{r}{r_2}$, $R_0 = \frac{r_3}{r_2}$ -

безразмерные радиусы; $Fo = \frac{a\tau}{r_2^2}$ - число Фурье.

Стационарный температурный режим ($\frac{\partial \theta}{\partial Fo} = 0$).

Общее решение дифференциального уравнения (1) имеет вид

$$\theta_{\text{стат}}(R) = \varphi(R) + A_1 \ln(R) + A_2,$$

где A_1, A_2 - постоянные интегрирования;

$$\psi(R) = - \int Po(R) R dR. \quad (5)$$

После нахождения из граничных условий (3), (4) и подстановки в общее решение запишем окончательное решение задачи (1), (3), (4):

$$\theta_{\text{стат}}(R) = \varphi(R) - \varphi(R_0) + A_1 [\ln(R / R_0) - \frac{1}{Bi_2 R_0}] - \frac{\psi(R_0)}{Bi_2 R_0} - \theta_{\text{жс}}, \quad (6)$$

$$A_1 = - \frac{[\theta_{\text{жс}} + \varphi(R_0) - \varphi(1) + \frac{\psi(1)}{Bi_1} + \frac{\psi(R_0)}{Bi_2 R_0}]}{\ln(R_0) + 1 / Bi_1 + 1 / (Bi_2 R_0)}.$$

здесь

Решение (6) строго удовлетворяет всем условиям задачи (1), (3),

(4).

Нестационарный режим.

Решение задачи (1) будем искать в виде $\theta(R, Fo) = \theta_{\text{стат}} - \phi(R, Fo)$, где функция $\phi(R, Fo)$ подчиняется условиям:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi(R, Fo)}{\partial Fo} &= \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} (R \frac{\partial \phi}{\partial R}), \quad Fo > 0, \quad 1 < R < R_0; \\ \phi(R, Fo = 0) &= 1 + \theta_{\text{стат}}(R), \quad \frac{\partial \phi(1, Fo)}{\partial R} - Bi_1 \phi(1, Fo) = 0, \\ \frac{\partial \phi(R_0, Fo)}{\partial R} &+ Bi_2 \phi(R_0, Fo) = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Задачу (7) решим приближенным методом конечных интегральных преобразований. С физической точки зрения считаем, что ядро конечного интегрального преобразования – решение стационарной задачи теплопроводности для полого цилиндрического твэла с тепловыделением равным единице. Тогда его выбор подчиняется следующим условиям:

$$\begin{cases} \frac{1}{R} \frac{d}{dR} \left(R \frac{dK}{dR} \right) = -1, \\ \frac{dK(1)}{dR} - Bi_1 K(1) = 0, \\ \frac{dK(R_0)}{dR} + Bi_2 K(R_0) = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Решение задачи (8) запишем так

$$K(R) = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{1}{2} \cdot (R_0^2 - R^2) + R_0 / Bi_2 + 2 \cdot A_{11} \cdot [\ln(R / R_0) - 1 / (Bi_2 R_0)] \right\} \quad \text{- приближенное ядро конечного интегрального преобразования;}$$

$$A_{11} = \frac{1}{2 \cdot m_0} \cdot \left[(R_0^2 - 1) \cdot \frac{1}{2} + 1 / Bi_1 + R_0 / Bi_2 \right], \quad m_0 = \ln(R_0) + 1 / Bi_1 + 1 / (Bi_2 \cdot R_0).$$

Далее следуя [1,3,4] получим окончательное решение задачи (1)-(4):

$$\theta(R, Fo) = \theta_{стат}(R) - \phi(R, Fo). \quad (9)$$

$$\overline{T(Fo)} = \overline{T_H} \cdot \exp(-p^2 \cdot Fo) + \exp(-p^2 \cdot Fo) \times$$

$$\times \int_0^{Fo} \exp(p^2 Fo') \cdot dFo' \int_1^{R_0} Po(R, Fo) K(R) R dR$$

где

$n(R)$ - корректирующая функция, зависящая от радиуса.

$$\overline{T_H} = - \int_1^{R_0} K(R) R dR$$

$$\int_1^{R_0} K(R) R dR = \frac{1}{4} \cdot [(2 + Bi_2 \cdot R_0) \cdot R_0^2 \cdot K(R_0) + (Bi_1 - 2) \cdot K(1) - \frac{1}{4} \cdot (R_0^4 - 1)];$$

$$\begin{aligned} T_H = (R_0 - 1) \cdot \left[\frac{-Po_0}{2} \left[R_0^3 \cdot \left(\frac{1}{3} + \frac{R_0^2}{10} \cdot B \right) - \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{10} \cdot B \right) \right] + A_1 [R_0 \cdot (\ln(R_0) - 1)] - \right. \\ \left. - \left[\varphi r_0 + A_1 \cdot \left(\ln(R_0) + \frac{1}{Bi_2 \cdot R_0} \right) + \frac{\psi r_0}{Bi_2 \cdot R_0} + \Theta_{жс} \right] \right]. \end{aligned}$$

Выводы:

1. При стационарном тепловом режиме и максимальном перепаде тепловыделения по радиусу в 3 раза изменение температуры не превышает 3,3 % по сравнению с температурами постоянного тепловыделения.
2. Введение корректирующей функции, зависящей от радиуса полого цилиндра, позволяет удовлетворить начальному условию задачи и получить ее приближенное решение.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
2. Логинов В.С., Симонова О.С., Симонов Д.А. Приближенная оценка теплового состояния активных элементов при малых числах Фурье ($Fo < 0,01$)// Известия РАН. Энергетика. -2014.- № 1.- С.112 – 117 .
3. Касьянов В.А., Логинов В.С., Симонов Д.А. Нестационарный температурный режим полого цилиндрического тепловыделяющего элемента// Известия вузов. Электромеханика. -2013.-№ 5.- С.14-17.
4. Карташов Э.М. Метод интегральных преобразований в аналитической теории теплопроводности твердых тел// Известия РАН. Энергетика.- 1993. -№2. -С.99 – 127.

Научный руководитель: В.С. Логинов, д.ф.-м.н, профессор кафедры ТПТ ЭНИН ТПУ.

СЕКЦИЯ 2.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

СТРУКТУРА АСУ ТП НА ПРИМЕРЕ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ТОО «АЛМАТИНСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ»

Н.С. Анисимов
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

ТОО «Алматинские тепловые сети» - мощное тепловое хозяйство, которое является основой жизнедеятельности города Алматы, создающее комфортные условия в жилых зданиях, общественных, культурно – бытовых и прочих учреждениях.

В настоящее время организация имеет общую протяженность магистральных, распределительных и внутриквартальных сетей 1135,7 км., зона теплофикации занимает территорию города, составляющую 128952 м². Территория зоны теплофикации представляет собой наклонное плато с геодезическими отметками: от 694 м до 926 м. Перепад отметок обуславливает раздельность гидравлических зон обслуживания централизованной зоны города и определяет наличие насосных станций. Для поддержания в каждой зоне заданных параметров на тепловых сетях установлено 93 насосных станций, из которых 39 крупных.

На предприятии осуществляются:

- мероприятия по эффективному и рациональному использованию материалов и ГСМ;
- реконструкция тепловых сетей с применением эффективных технологий по тепловой изоляции тепловых сетей;
- реконструкция насосных станций с технологической модернизацией;
- снижение сверхнормативных потерь;
- модернизация оборудования;
- обновление спецтехники и спецмеханизмов;
- внедрение автоматизированной системы диспетчерского управления.
- внедрение автоматизированного мониторинга измерительных приборов;
- построение собственного центра обслуживания населения для удобства потребителей;

- модернизация биллинговой системы[1].
- Структура АСУ ТП схематично представлена на рисунке 1.

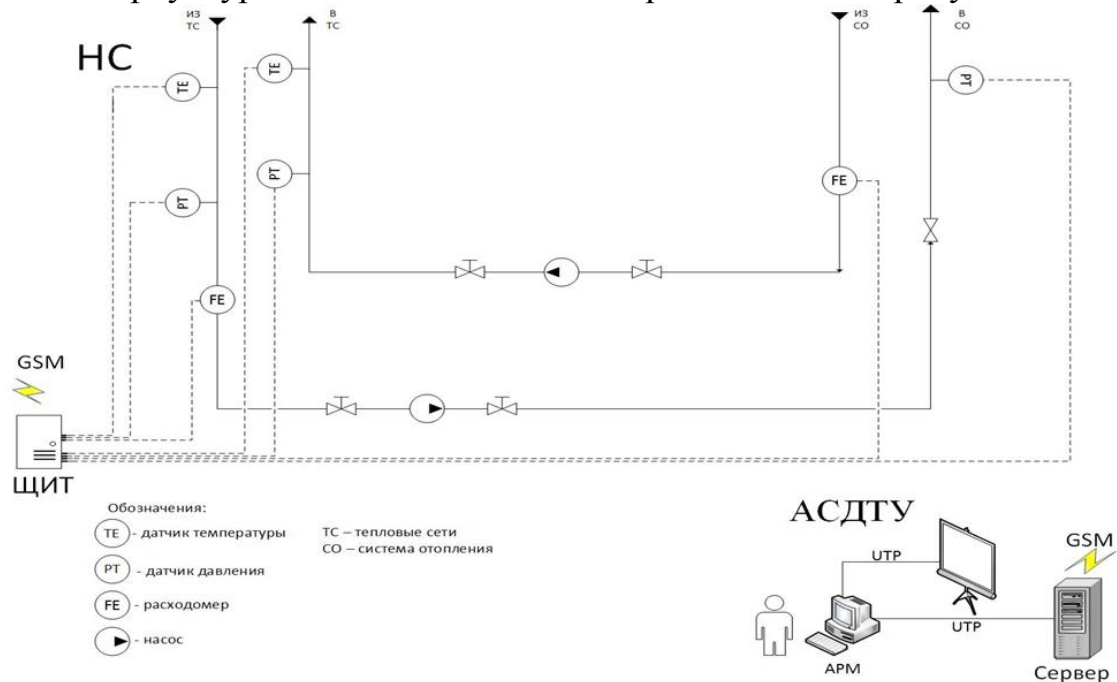


Рис. 1. Наглядное представление АСУ ТП на примере насосной станции №2

В качестве получателя данных с датчиков измерений используется модуль ввода аналоговый MB110-224.pH. Прибор предназначен для:

- измерения значения pH контролируемой среды (показателя активности ионов водорода), либо значения окислительно-восстановительного потенциала (Eh);
- измерения температуры контролируемой среды;
- передачи результатов измерений в сеть RS-485.



Рис. 2. Внешний вид аналогового модуля ввода

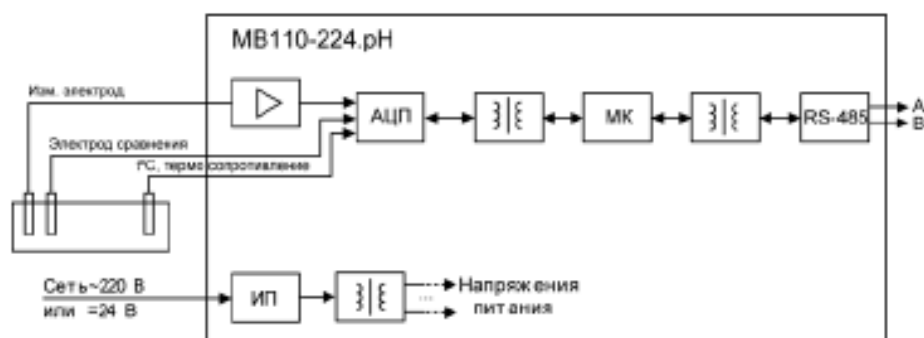


Рис. 3. Структурная схема прибора

Сигнал с датчика температуры поступает на АЦП, который преобразуется в цифровой код. АЦП осуществляет цифровую фильтрацию и передает код микроконтроллеру (МК). Результаты измерения по запросу передаются из МК мастеру сети RS-485 с помощью драйвера интерфейса RS-485 (выходные клеммы А и В). В качестве мастера сети выступает контроллер или регулятор[2]. Основная функция мастера сети – инициировать обмен данными между отправителем и получателем данных. Получателем данных в системе выступает тепловычислитель.

Тепловычислитель выполняет следующие функции:

- преобразование и обработку сигналов, полученных от первичных преобразователей (ПР, ПТ и ПД);
- вторичную обработку измеренных значений параметров и вычисление тепловых параметров по установленным формулам расчета;
- архивирование и хранение в энергонезависимой памяти результатов измерений, вычислений и установочных параметров;
- вывод измерительной, архивной, диагностической и установочной информации на дисплей ЖКИ и через последовательный интерфейс RS-232 (RS-485) и интерфейс Ethernet;
- управление логическим выходом;
- автоматический контроль и индикацию наличия неисправностей и нестандартных ситуаций (нестандартных режимов работы теплосистем)[3].

Для удаленного снятия показаний тепловычислитель подключается к GSM-терминалу Позитрон ЕС485 по интерфейсу RS-485. В Позитрон ЕС485 устанавливается «рабочая» SIM-карта оператора мобильной связи с подключенной услугой GPRS (Интернет). В качестве оператора мобильной связи используется местный оператор мобильной связи «Билайн». Данный оператор имеет обширную зону покры-

тия связи. По беспроводному каналу связи GSM-терминал посылает сигнал на сервер центра сбора и обработки информации.



Рис. 4. Внешний вид GSM-терминала

В случае нештатных ситуаций, когда отключается напряжение в сети переменного тока, используется источник вторичного электропитания. В качестве него выступает вторичный источник электропитания резервированный «Импульс». Источник автоматически обеспечивает питание энергопотребителей от встроенной аккумуляторной батареи (АКБ). Источник обеспечивает автоматическое отключение и заряд АКБ, а также защиту от переплюсовки. Источник снабжен электронной защитой по выходу от короткого замыкания и превышения тока нагрузки.

В результате работы были получены общие представления о работе АСУ ТП на базе организации ТОО «АлТС», были собраны сведения о полевом оборудовании и КИП.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Положение о технической политике – Алматы: Изд-во ТОО «Алматинские тепловые сети», 2015. – 26 с.
2. Руководство по эксплуатации модуля ввода аналогового МВ110-224.pH – М.: Фирма «ОВЕН», 2011. – 60 с.
3. Термопреобразователи сопротивления «Взлет ТПС». Руководство по эксплуатации. – СПб.: ЗАО «Взлет», 2010. – 20 с.

Научный руководитель: В.В.Медведев, к.м.н., доцент каф. АТП ЭНИН ТПУ.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОММЕРЧЕСКОГО УЧЁТА ГАЗА

М.Е. Бердников

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

Деятельность ООО «Газпром межрегионгаз Кемерово» основана на взаимном уважении, доверии и деловых отношениях с промышленными потребителями, с предприятиями и организациями бюджетной сферы, с предприятиями коммунально-бытового сектора и абонентами компании. Компания является поставщиком газа для крупнейших промышленных предприятий страны. Компания первой в Зауральской части РФ начала развивать программу «АСКУГ» (Автоматизированную систему коммерческого учета газа), что способствует точности учета газа.

Целью выполненной работы являлось изучение автоматизированной системы коммерческого учёта газа.

Датчики для измерения избыточного давления, абсолютного давления, разрежения, давления-разрежения, разности давлений, гидростатического давления (уровня) широко применяются для мониторинга различных технологических процессов, контроля и учета потребления природных ресурсов, учета энергоносителей и многих других задач охватывая диапазон давлений от 50 Па до 250 МПа.

Высокие точностные характеристики делают их незаменимыми при коммерческом учете и контроле, где их высокая цена компенсируется стоимостью сэкономленных ресурсов.

Термопреобразователи (датчики температуры) предназначены для непрерывного измерения температуры различных рабочих сред, например как газ, неагрессивных к материалу корпуса датчика.

Измерение объема плавно меняющихся потоков очищенных и осушенных неагрессивных одно- и многокомпонентных газов (природный газ, воздух, азот, аргон и др.) при использовании их в установках промышленных и коммунальных предприятий (для учета расхода газа при коммерческих операциях).

При воздействии потока газа, турбина вращается со скоростью, пропорциональной скорости потока (объемному расходу) газа. Вращение турбины с помощью механического редуктора передается на счетную головку, которая показывает суммарный объем газа при рабочих условиях, прошедший через счетчик.

Корректоры СПГ761 предназначены для измерения электрических сигналов, соответствующих параметрам природного газа, транспортируемого по трубопроводам, и вычисления расхода и объема газа, приведенных к стандартным условиям ($T_c=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_c=0,101325\text{ МПа}$).

Сигналы тока с преобразователей разности давлений, объемного расхода и давления, сигналы сопротивлений, соответствующие температуре газа, импульсный сигнал, несущий информацию об объеме транспортируемого газа, поступают на соответствующие входы корректора.

Атмосферное давление считается условно постоянным и задается константой. Предполагается, что плотность газа при рабочих условиях вычисляется по известной плотности газа при стандартных условиях, известному составу газа и измеренным значениям температуры и давления. Также считается известной удельная объемная теплота сгорания.

Контроллер «Стел-Турбо» предназначен для обеспечения обмена информацией по каналам связи GSM (CSD/GPRS) между диспетчерским пунктом и узлами учета энергоресурсов.

Выполняемые функции:

- опрос узлов учета различных энергоресурсов в рамках единой системы;
- опрос узлов учета различных типов и производителей;
- сбор данных с различных типов оборудования: узлы учета, датчики, хроматографы, влагомеры, станции катодной защиты;
- работа по различным каналам связи: GSM/GPRS, телефонная линия, радио, кабель, ТСР;
- автоматический сбор информации за короткое время;
- самовосстановление работы системы при сбоях;

Особенностью такой системы является, возможность независимого функционирования нескольких центров сбора данных, имеющих различную ведомственную принадлежность с пересекающимся множеством контролируемых объектов (Трансгазы, ГРО и Регионгаз), либо принадлежащих одному ведомству но, различным административным уровням (Регионгазы и их подразделения). Другой особенностью системы является возможность подключения к ней большого спектра разнотипных узлов учета газа.

Программное обеспечение системы состоит из программного обеспечения центров сбора и обработки данных и управления, совместимого друг с другом по данным и по управлению. Программное обеспечение имеет трехзвенную структуру, отдельные компоненты

которой могут выполняться на одной, либо на различных машинах локальной сети.

В целях повышения точности учёта газа, потребляемого промышленными предприятиями в Кемеровской области, внедрена автоматизированная система коммерческого учёта газа (АСКУГ).

АСКУГ как целостная современная информационная система, обеспечивает оперативный контроль и управление процессами транспортировки и распределения потребителям природного газа, в том числе: совершенствование средств измерения и учёта на ГРС газотранспортных организаций и создание полноценной системы измерения расхода газа транспортируемого по газораспределительным сетям.

Главной целью создания АСКУГ является достижение экономического эффекта от ее внедрения за счет оперативного получения точных и достоверных данных об измеряемых объемах и качественных параметрах поставляемого и/или используемого газа.

Газовая компания, внедряющая систему АСКУГ на собственных объектах (и объектах Потребителей), также заинтересована в получении максимально широкого набора функциональных возможностей по оперативной доставке и обработке всей возможной технологической информации, при сохранении минимальной стоимости внедрения и сопровождения системы.

Для гарантированного решения указанных задач были сформулированы основные условия, которым должна отвечать создаваемая система:

- Высокая надежность и отказоустойчивость системы, резервирование критических компонентов системы.
- Сокращение затрат на техническое сопровождение (обслуживание) за счет широких возможностей централизованного администрирования системы (с «верхнего» уровня), дистанционная установка и настройка параметров работы всех представленных компонентов.
- Диверсификация предлагаемых компонентов и решений, как по уровням применения, так и по функциональности. Вы платите только за те компоненты и с теми функциями, которые вам необходимы.
- Универсальное промышленное решение, обеспечивающее длительный (не менее 5-10 лет) период выпуска совместимых изделий в промышленных масштабах.

- Прогнозирование объемов газопотребления с учётом сезонной неравномерности поставок газа и измерений температуры окружающего воздуха;
- Контроль расхода газа в «режиме реального времени» и обеспечение локализации причин разбалансов газа (потерь, утечек, несанкционированного отбора газа);
- Контроль основных режимно-технологических параметров газоснабжения и газопотребления, определённых договорами и техническими соглашениями в процессе поставки газа;
- Формирование заданий на управление (телеуправление арматурой, регулирующей поставку газа потребителю);

АСКУГ автоматизирует процессы, выполняемые подразделениями региональной газовой компании, связанные с учетом объемов потребленного газа.

Реализация данной концепции, построения автоматизированной системы коммерческого учёта газа. Строительство измерительных комплексов учёта газа. Их реконструкция и модернизация позволит существенным образом повысить уровень контроля объёмов поставок газа от ГРС до газопотребляющего оборудования потребителя. Это позволит изменить форму и метод взаимоотношений между поставщиком и потребителем газа.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 8.417—2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. – Москва: Изд-во Стандартиформ, 2002. – 2 с.
2. ГОСТ 8.566—99 Государственная система обеспечения единства измерений. Межгосударственная система данных о физических константах и свойствах веществ и материалов. Основные положения. – Москва: Изд-во Стандартиформ, 1999. – 13 с.
3. ГОСТ 8.586.2—2005 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 2. Диафрагмы. Технические требования. – Москва: Изд-во Стандартиформ, 2005. – 23 с.

4. ГОСТ 8.586.3—2005 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 3. Сопла и сопла Вентури. Технические требования. – Москва: Изд-во Стандартиформ, 2005. – 16 с.

Научный руководитель: П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., зав. кафедрой АТП ЭНИН ТПУ.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОМЕЩЕНИИ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ

А.А. Бычкова

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

В настоящее время системы вентиляции на промышленных предприятиях необходимы. Вопросу очистки воздуха цеховых помещений отводится особое внимание на промышленных предприятиях. Устанавливаются различные виды систем вентиляции и кондиционирования (СВК) в зависимости категории помещения. Если такие системы на предприятиях не учтены, то оно не проходит сертификацию на соответствие[1].

Наиболее простой и удобной для предприятия является промышленная приточная вентиляция. Принцип действия ее заключается в подаче чистого, без токсинов и пыли, нагретого до нужной температуры воздуха, путём его принудительного нагнетания в помещение. Система может обеспечивать не только своевременный приток свежего воздуха в помещение, но и охлаждать, согревать и увлажнять его. При этом загрязненный воздух естественным путем сбрасывается в атмосферу[2].

Приточная камера содержит приемный воздухозаборный клапан, фильтр, воздухоподогреватель, воздухоохладитель, вентилятор, шумоглушитель и воздуховоды. Трехходовой клапан подачи горячей воды в калорифер, воздухозаборная задвижка и вентилятор оснащены исполнительными механизмами. Перед вводом приточного воздуха в помещение в воздуховоде размещен датчик температуры воздуха. В трубопроводе перед клапаном, регулирующим расход теплоносителя, размещен датчик температуры теплоносителя. За теплообменником, осуществляющим подогрев по ходу воздуха, установлен еще один

датчик температуры теплоносителя. При этом в щите автоматизации смонтированы: кнопка и сигнальная лампа включения системы управления, кнопки «пуск» и «стоп» вентилятора, сигнальная лампа о его включении и выключении, сигнальная лампа «опасность замерзания» воздухоподогревателя со звуковой сигнализацией, также смонтирован контроллер, к которому подключены датчики температуры и исполнительные механизмы клапанов. Принципиальная схема приточной установки с основным набором технических средств и оборудования представлена на рис.1.

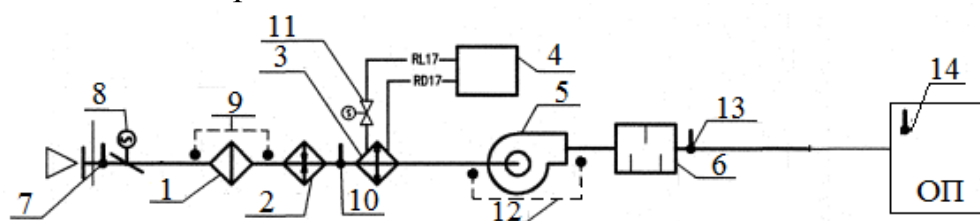


Рис. 1. Принципиальная схема приточной установки: 1 – фильтр; 2 – горячий контур (калорифер); 3 – холодный контур; 4 – компрессорно-конденсатный блок (ККБ); 5 – вентилятор; 6 – шумоглушитель; 7 – датчик температуры наружного воздуха; 8 – электропривод воздухозаборных заслонок; 9, 12 – датчик перепада давления на фильтре 10 – противозамораживающий термостат по стороне воздуха; 11 – электропривод клапана на холодном контуре; 13 – датчик температуры приточного воздуха; 14 – датчик температуры в помещении; ОП – обслуживаемое помещение.

В рассматриваемой системе в зависимости от разности между требуемой температурой (уставкой) и реальной температурой, измеренной датчиком в помещении, управляющие устройства должны управлять входными заслонками, скоростью вращения вентилятора, трехходовым клапаном на горячем контуре, водяным насосом, а также обеспечить защиту от замораживания калорифера и перегрева двигателя вентилятора. Холодный контур представлен ККБ, который в режиме «лето» находится либо в положении «включено», либо в положении «выключено» и управляется дискретным сигналом.

Наладка и эксплуатация СВК показали необходимость выполнения целого ряда требований в режимах запуск, остановка или авария, выбор уставок (табл.1), последовательность обработки информации и формирование управляющих воздействий.

Табл. 1. Значение уставок приточной системы

Параметр	Наименование	Значение
Тприт	Заданная температура приточного воздуха	22 °С
Тобр.зад	Заданная температура воды в обратном трубопроводе	45 °С
Тобр.мин	Минимальная температура воды в обратном трубопроводе	20 °С
Твозд	Минимальная температура воздуха за калорифером в трубопроводе	6 °С
Тлетн	Температура наружного воздуха, при котором система меняет режим работы	8 °С
Рдоп	Допустимое падение давления на фильтре и вентиляторе	150 – 300 Па

При управлении системой приточной вентиляции важно обеспечить следующие условия:

1. выбор способа управления (ручное по месту/автоматическое со щита управления);
2. предусмотреть режимы зима/лето/дежурный;
3. поддержание заданной температуры приточного воздуха с помощью регулирования трехходового клапана;
4. защиту от превышения температуры обратной воды;
5. защиту от замораживания калорифера по воздуху;
6. отключение вентилятора при срабатывании защиты от замораживания;
7. сигнализация опасности замерзания;
8. сигнализация нормальной работы.

В основу функционирования САУ должен быть положен принцип обратной связи: выработка управляющих воздействий на основе информации об объекте, полученной с помощью датчиков. Контур регулирования температуры приточного воздуха представлен водяным калорифером, через который пропускается теплоноситель и электроприводом трехходового клапана. Структурную схему автоматической системы регулирования (АСР) температуры приточного воздуха приведена на рис. 2.

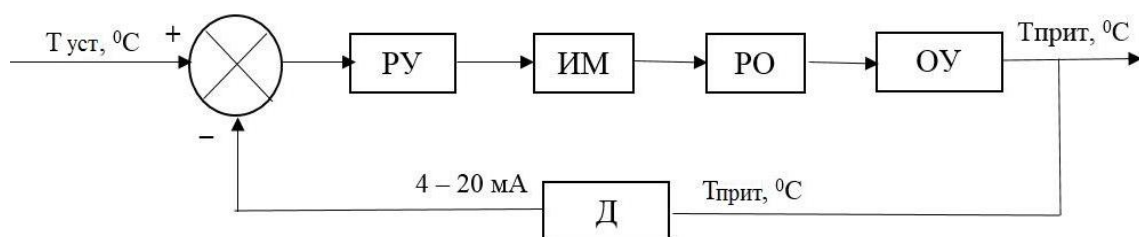


Рис. 2. Структурная схема АСР температуры приточного воздуха:

УС - устройство сравнения; *РУ* – регулирующее устройство;

ИМ – исполнительный механизм; *РО* – регулирующий орган;

ОУ - объект управления; *Д* – датчик.

Текущее значение регулируемого параметра $T_{\text{прит}}$, измеренное при помощи соответствующего измерительного датчика, подается на УС. Датчик преобразует $T_{\text{прит}}$ в унифицированный аналоговый сигнал, пропорциональный от 4 до 20 мА. Затем разница $T_{\text{прит}} - T_{\text{уст}}$ поступает на вход регулирующего устройства (ПЛК). ПЛК по определенному закону ПИД – регулирования в зависимости от сигнала рассогласования выдает выходной сигнал, который подается на исполнительный механизм (ИМ). Через регулирующий орган (РО) воздействие, усиленное до необходимого уровня мощности, управляет положением трехходового клапана в положение. Электропривод открывает или закрывает трехходовой клапан до положения, при котором ошибка $\varepsilon = T_{\text{уст}} - T_{\text{прит}}$ будет минимальной.

Простейшим является пропорциональный закон регулирования, в котором входной сигнал $\varepsilon = T_{\text{уст}} - T_{\text{прит}}$ и выходной U_p связаны между собой постоянным коэффициентом K_p . Этот коэффициент и есть параметр настройки такого регулятора, который называют П-регулятор. П-регуляторы обладают большой статической ошибкой (при малых значениях K_p) и склонностью к автоколебаниям (при больших значениях K_p). Поэтому при более высоких требованиях к регулирующим функциям систем автоматики по точности и устойчивости применяют и более сложные законы регулирования. В основном в специальных системах кондиционирования воздуха применяются пропорционально-интегральные (по ПИ-закону) регуляторы[3].

Создание организованного воздухообмена с применением различных технических средств — приточно-вытяжных установок, вентиляторов, систем чиллер-фанкойл и так далее позволяет реализовать благоприятные и комфортные условия для человека в производственных помещениях, тем самым повысить производительность труда.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – Введ. 04.08.91. – М.: Стройиздат, 2008. – 72 с.
2. Богословский, В.Н. Отопление и вентиляция: учебник для вузов и сузов / В.Н. Богословский, С.П. Маминов.- М: Стройиздат, 1976. – 450 с.
3. Дядик В.Ф., Байдали С.А., Криницын Н.С.: Теория автоматического управления: учебное пособие/ Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 196 с.

Научный руководитель: Ю.К. Атрошенко, ассистент каф. АТП ЭНИН ТПУ.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВУХЗВЕННЫМ НЕУСТОЙЧИВЫМ МАЯТНИКОМ

Н.Д. Поляхов, Р.И. Галиуллин
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»

Двойной физический неустойчивый маятник представляет собой систему с двумя степенями свободы. Если в системе одно управляющее воздействие, то задача управления такой системой вызывает значительные трудности. В качестве управляющего в таком маятнике может быть момент, прикладываемый в точке подвеса – в «плечевом суставе», или в межзвенном шарнире – в «локтевом суставе». В системе, в которой число управляющих воздействий меньше числа степеней свободы, говорят, что в ней дефицит числа управляющих воздействий (*under-actuated system*). Если управляющий момент ограничен, то проблема управления ещё более усложняется [1]. Ограничение на управляющее воздействие является существенным обстоятельством, когда желаемый режим работы системы в отсутствие управления неустойчив. В этом случае множество начальных состояний, из которых систему можно вывести на желаемый режим, ограничено. При этом важную задачу представляет построение управления в виде обратной связи с максимально возможной областью притяжения этого желаемого режима[2].

Математическая модель маятника. На рисунке 1 показан плоский двухзвенный физический неустойчивый маятник с неподвижной точкой опоры O . Опора осуществляется при помощи идеального (без трения) цилиндрического шарнира. Такой же идеальный шарнир в точке D соединяет между собой звенья маятника, которые являются абсолютно твердыми телами. Оси шарниров в точках O и D перпендикулярны плоскости чертежа. Центр масс первого звена расположен на отрезке OD . Обозначим через φ_1 и φ_2 отсчитываемые против часовой стрелки углы отклонения от вертикали первого и второго звеньев соответственно.

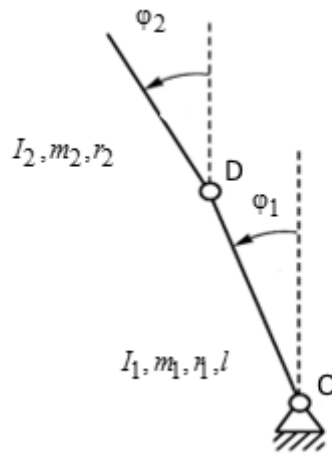


Рис. 1. Двойной перевернутый маятник

Кинетическую T и потенциальную Π энергию двухзвенного маятника, представим в виде

$$\begin{cases} T = \frac{1}{2}[a_{11}\dot{\varphi}_1^2 + 2a_{12}\dot{\varphi}_1\dot{\varphi}_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + a_{22}\dot{\varphi}_2^2], \\ \Pi = b_1 \cos(\varphi_1) + b_2 \cos(\varphi_2). \end{cases} \quad (1)$$

в выражениях (1) $a_{11} = I_1 + m_2 l^2$, $a_{22} = I_2$, $a_{12} = m_2 r_2 l$, $b_1 = (m_1 r_1 + m_2 l)g$, $b_2 = m_2 r_2 g$, I_1 и I_2 моменты инерции первого и второго звеньев относительно шарниров O и D соответственно, m_1 и m_2 — массы первого и второго звеньев, r_1 и r_2 — расстояния от шарниров O и D до центров масс первого и второго звеньев соответственно, l — длина первого звена OD , g — ускорение свободного падения. Длина второго звена в выражения (1) не входит в уравнение движения, а входит только расстояние r_2 от шарнира D до центра масс второго звена. Будем считать, что $r_1, r_2 > 0$, т. е. центр масс первого звена OD

не совпадает с шарниром O , а центр масс второго звена – с шарниром D .

Используя выражения (1) и уравнения Лагранжа второго рода [1], запишем описание движения двухзвенного маятника в матричной форме

$$A\ddot{\varphi} + F\dot{\varphi}^2 + B\sin(\varphi) = L \quad (2)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \varphi &= \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{pmatrix}, \dot{\varphi}^2 = \begin{pmatrix} \dot{\varphi}_1^2 \\ \dot{\varphi}_2^2 \end{pmatrix}, \sin \varphi = \begin{pmatrix} \sin \varphi_1 \\ \sin \varphi_2 \end{pmatrix}, \\ A &= \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \\ a_{12} \cos(\varphi_1 - \varphi_2) & a_{22} \end{pmatrix}, \\ F &= \begin{pmatrix} 0 & -a_{12} \sin(\varphi_1 - \varphi_2) \\ a_{12} \sin(\varphi_1 - \varphi_2) & 0 \end{pmatrix}, \\ B &= \begin{pmatrix} -b_1 & 0 \\ 0 & -b_2 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Будем считать, что допустимые управления являются кусочно-непрерывными функциями $L(t)$, ограниченными по модулю постоянной величиной L_0

$$|L| \leq L_0, L_0 = \text{const}. \quad (3)$$

При $L \equiv 0$ система (2) имеет тривиальное решение

$$\varphi_1 = \varphi_2 = 0, \dot{\varphi}_1^2 = \dot{\varphi}_2^2 = 0, \quad (4)$$

отвечающее неустойчивому положению равновесия неуправляемого маятника с обоими перевернутыми звеньями.

При решении задачи стабилизации маятника в верхнем неустойчивом положении равновесия, предполагается, что в начале и в течение всего процесса стабилизации маятник находится в некоторой малой окрестности этого положения. Для этого линеаризуем уравнения (2) около состояния равновесия (4), получаем систему (при $F=0$)

$$A_0\ddot{\varphi} + B\varphi = L, A_0 = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Далее будет исследована только задача локальной стабилизации. Область управляемости двухзвенного неустойчивого маятника рассмотрена в [3].

Результаты моделирования системы двухзвенного перевернутого маятника. На рисунке 2 на основе математической модели

перевернутого двухзвенного маятника как объекта управления с помощью графических средств редактора SimulinkToolbox сформирована блок-схема системы управления.

Система имеет следующие параметры
 $m_1 = 0.5, m_2 = 0.2, l = 0.4, r = 0.08, g = 9.8$;

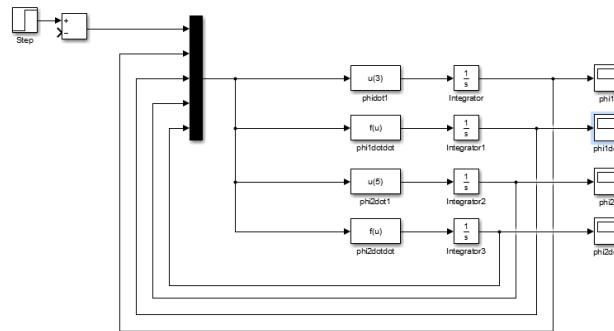


Рис. 2. структурная схема объекта двухзвенного перевернутого маятника

Для стабилизации вертикального положения перевернутого маятника построим регулятор состояния. Регулятор состояния реализуется следующим алгоритмом:

$$L = -(g_1\phi_1 + g_2\dot{\phi}_1 + g_3\phi_2 + g_4\dot{\phi}_2).$$

Матрицу регулятора G определим с помощью метода размещения корней:

Функция *place* позволяет найти собственные значения матрицы коэффициентов G . Воспользовавшись функцией *place*, найдем коэффициенты матрицы G :

$$\begin{aligned} g_1 &= 12; \\ g_2 &= 3; \\ g_3 &= 0.0017; \\ g_4 &= 0.0126; \end{aligned}$$

После необходимых расчетов для регулятора состояния, получена структурная схема системы управления двухзвенным перевернутым маятником, представленная на рисунке 3.

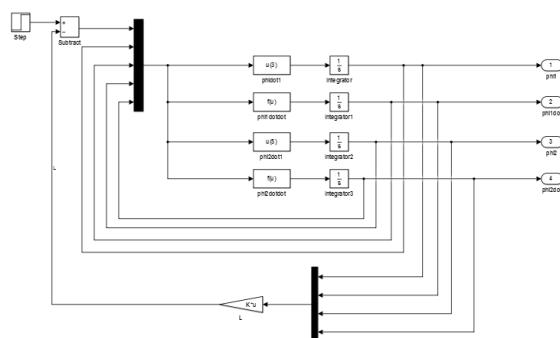


Рис. 3. структурная схема объекта двухзвенного перевернутого маятника с регулятором состояния

На рисунке 4 показаны переходные процессы установления маятника в его верхнее положение и его производная.

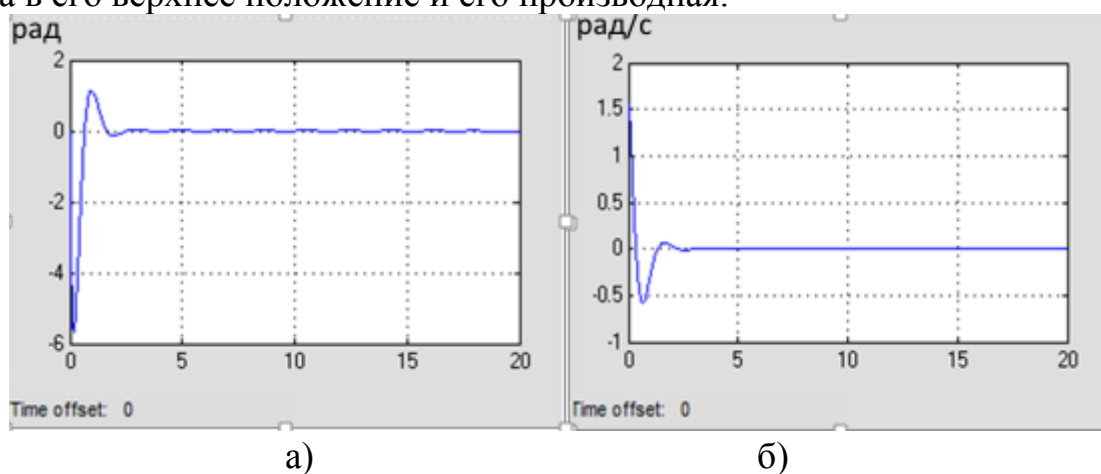


Рисунок 4 – Графики переходных процессов с регулятором состояния:
а) установившейся режим маятника в верхнем положении б)
производная установившегося процесса маятника

Выводы. Результаты исследования работы системы управления двухзвенным неустойчивым маятником в пакете Simulink/Toolbox показали, что в режиме стабилизации переходные процессы имеют характер асимптотической устойчивости с приемлемым быстродействием и качеством динамики. Кроме того, система управления обеспечивает восстановление достигнутого равновесия маятника в режиме действия кратковременного ограниченного возмущения (импульса) на точку D.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Формальский А. М. Управляемость и устойчивость систем с ограниченными ресурсами. М.: Наука, 1974. – 368 с.

2. Формальский А.М. Управление движением неустойчивых объектов М.:Физматлит, 2014. – 232 с.
3. Поляхов Н.Д., Галиуллин Р.И. Управление двухзвенным перевернутым маятником// Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»- 2015, -С. 37-41.

Научный руководитель Н.Д. Поляхов, д.т.н., профессор
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ С ПОВЫШЕННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ

Р.У. Гимазов
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5БМ4Д

В условиях уменьшения запасов природного топлива, всё больше внимания уделяется использованию солнечной энергии в качестве основного энергоресурса. В настоящее время солнечные электростанции строятся не только в странах с высокой солнечной активностью, но практически во всех регионах мира с различными климатическими условиями. В связи с тем, что стоимость традиционных источников энергии сохраняет тенденцию роста, в настоящее время в регионах без стационарных сетей электропитания увеличивается уровень внедрения солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ). Это не только позволяет снизить экологическую нагрузку, но и экономически выгодно.

Солнечные фотоэлектрические установки осуществляют генерацию электроэнергии за счет прямого преобразования энергии солнечного излучения с помощью фотопреобразователей.

Солнечная фотоэлектрическая установка состоит из солнечных батарей в виде плоских прямоугольных поверхностей, работа которых состоит в преобразовании энергии солнечного излучения в электрическую энергию. Электрический ток в фотоэлектрическом генераторе возникает в результате процессов, происходящих в фотоэлементах при попадании на них солнечного излучения.

Наибольшее распространение получили СФЭУ на основе кремния трех видов: монокристаллического, поликристаллического и аморфного.

Для фотопреобразователей из монокристаллического кремния в лабораторных условиях на опытных образцах достигнут КПД 24%. На малых опытных модулях – 18%. Для поликристаллического кремния эти рекордные значения равны 17 и 16 %, для аморфного кремния на опытных модулях достигнуты КПД около 11 %.

Все эти данные соответствуют так называемым однослойным фотоэлементам. Кроме того, используются двух- и трехслойные фотоэлементы, которые позволяют использовать большую часть солнечного спектра по длине волны солнечного излучения. Для двухслойного фотоэлемента на опытных образцах получен КПД 30%, а для трехслойного 35-40%.

СФЭУ могут быть снабжены инверторами, преобразующими постоянный ток в переменный, и системами накопления электроэнергии (аккумуляторными батареями).

Совершенствование фотоэлектрических установок прежде всего зависит от улучшения технических характеристик источников тока – солнечных и аккумуляторных батарей (СБ, АБ). Однако даже при самых совершенных источниках энергии энергетическая установка в целом может обладать неудовлетворительными энергетическими характеристиками из-за нерационального использования их возможностей. Поэтому при разработке СФЭУ должна решаться комплексная задача, объединяющая вопросы эффективности устройств и рационального подхода к их использованию.

Повысить коэффициент энергетической эффективности СФЭУ не менее чем на 30–50% возможно следующими основными способами:

- реализацией режима отбора мощности в оптимальной рабочей точке вольт-амперной характеристики в течение всего срока эксплуатации (режим экстремального регулирования мощности солнечных батарей);
- реализацией режима непрерывного автоматического слежения фотоэлектрических панелей за Солнцем;
- оптимизацией конструкции солнечной батареи с целью достижения минимального нагрева фотоэлементов.

Энергетическая эффективность реализации режима экстремального регулирования мощности СБ при глубоко разряженной АБ может достигать 50%

Эффект от реализации режима непрерывного автоматического слежения фотоэлектрических панелей за Солнцем также значителен. Из проведенного предварительного анализа энергетической эффективности систем автоматического слежения за Солнцем следует, что

эффективность для Томска и Томской области [1] относительно горизонтального расположения фотоэлектрических панелей составляет:

- при выставлении солнечной батареи под углом, равным широте местоположения, – 20%;
- при применении одноосевой системы слежения за Солнцем – 42%;
- при применении двухосевой системы слежения за Солнцем – 51%.

Целесообразность оптимизации конструкции солнечной батареи с целью повышения коэффициента энергетической эффективности объясняется высокой чувствительностью фотоэлементов к температуре. С повышением температуры эффективность работы солнечных батарей, как и большинства других полупроводниковых приборов, снижается. Поэтому необходимо принимать все меры для снижения нагрева, неизбежного под палящими прямыми солнечными лучами.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что эффективная СФЭУ должна включать автоматизированную систему управления, ответственную за ориентацию панелей на Солнце, а также включающую алгоритмы режима экстремального регулирования мощности.

Система контроля и управления СФЭУ включает следующие элементы: фотоэлектрические датчики (ФЭД), преобразующие световой поток в токи, пропорциональные освещенности каждого солнечного элемента, микропроцессорный контроллер (МК), в котором токи преобразуются в напряжение, которое усиливается для согласования с диапазоном входных сигналов аналоговоцифрового преобразователя (АЦП) с помощью операционного усилителя (ОУ). АЦП МК последовательно преобразовывает напряжения всех сигналов в соответствующие цифровые коды. Все цифровые коды считываются в МК и обрабатываются по заложенному алгоритму.

МК подает на устройство управления шаговым двигателем (УУШД) код, соответствующий необходимому направлению и повороту. УУШД по сигналам МК коммутирует токи в обмотках шагового двигателя (ШД), обеспечивая тем самым поворот в нужном направлении и на заданный угол.

Режим экстремального регулирования мощности реализован в алгоритме контроллера, который связывает датчики напряжения СБ и АБ. Путём сравнения показателей датчиков, вырабатываются управляющие воздействия. Условиями срабатывания контроллера на управление являются превышение напряжения СБ над АБ и неполный заряд АБ.

АСУ СФЭУ также может быть дополнена системой мониторинга и оценки климатических факторов, влияющих на работу ФМ.

В некоторых случаях АСУ СФЭУ может включать резервные источники энергии (дизельгенератор, газогенератор), на которые переходит система, в случае недостатка солнечной энергии.

Подводя итог вышесказанному, можно заключить, что применение АСУ СФЭУ может значительно повысить энергетическую эффективность и обеспечить более качественное функционирование солнечных установок.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шиняков Ю.А. Автоматизированная фотоэлектрическая установка с повышенной энергетической эффективностью // Доклады Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники – 2011 – № 2-1 – с. 282-286.
2. ВОЛГИН А.В. Автоматизированные системы контроля и управления солнечными энергетическими системами // Ползуновский вестник 2010 – № 2 – с. 149-154.
3. Шиняков Ю.А. Повышение энергетической эффективности автономных фотоэлектрических энергетических установок / Ю.А. Шиняков, Ю.А. Шурыгин, О.Е. Аркатова // Доклады Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 2(22), ч. 2. – С. 102–107.

Научный руководитель: С. В. Шидловский, д.т.н., профессор каф. АТП ЭНИН ТПУ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА CAD-ПАКЕТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В.В. Сенько, М.А. Востров, Г.С. Долгих
Самарский государственный технический университет

Моделирование информационных систем поддержки пакетов CAD (computer-aided design), применяемых в задачах автоматизированного проектирования электрических сетей и систем невозможно без использования основ системного анализа и объектно-ориентированного подхода. При разработке и сопровождении CAD-пакетов, применяемых для проектирования интеллектуальной элек-

троэнергетической системы (ЭЭС) требуется единый подход к формированию баз данных и форматов обмена информацией. Для успешного решения этих задач необходимо формировать полноценные функциональные модели поддержки жизненного цикла (ЖЦ) с поддержкой объектно-ориентированного проектирования (ООП). Поэтому разработка функциональных моделей процессов поддержки ЖЦ программного обеспечения (ПО) системы автоматизированного проектирования является актуальной и востребованной [1].

В иностранной литературе термин CAD означает «компьютерную поддержку проектирования», в отечественной литературе чаще применяют сокращение САПР (система автоматизированного проектирования). Надо отметить, CAD-системы в большей мере предназначены для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации. В современные CAD-пакеты входят модули моделирования трехмерной объемной конструкции (детали), оформления чертежей и текстовой конструкторской документации. Ведущие трехмерные CAD-системы позволяют реализовать идею сквозного цикла подготовки и производства сложных промышленных изделий [2].

Так называемые САМ-системы (computer-aided manufacturing — компьютерная поддержка изготовления) предназначены для проектирования обработки изделий на станках с числовым программным управлением и выдачи программ для этих станков. Компьютерные САМ-пакеты можно отнести к автоматизированным системам технологической подготовки производства (АС ТПП).

Компьютерные САЕ-пакеты (computer-aided engineering, поддержка инженерных расчетов) представляют собой программные средства, каждый из которых позволяет решать определенную расчетную задачу или группу задач определенного этапа жизненного цикла программного обеспечения [3].

Системы сквозного (параллельного) проектирования (CAD/CAM/CAE) представляют собой современный класс промышленных технологий, которые непосредственно направлены на наиболее важные области материального производства. За период существования таких систем сложилась их международная классификация: чертежно-ориентированные системы; на системы, позволяющие создавать трехмерную электронную модель объекта; на системы, поддерживающие концепцию полного электронного описания объекта (EPD, Electronic Product Definition).

Компьютерные EPD-пакеты обеспечивают разработку и поддержку базовых процессов всего ЖЦПО, включая такие задачи: пред-

проектные исследования; концептуальное и рабочее проектирование; технологическую подготовку производства; этапы эксплуатации, ремонта и утилизации. Разработка EPD-концепции позволила превратить ранее автономные CAD-, CAM- и CAE-пакеты в горизонтально интегрированные CAD/CAM/CAE-системы.

Традиционно существовало деление компьютерных пакетов САПР на системы верхнего, среднего и нижнего уровней. Примерами CAD/CAM-систем верхнего уровня являются Unigraphics, CATIA, EUCLID, I-DEAS и др. Сейчас в промышленном проектировании используются два типа твердотельного моделирования, основанных на использовании геометрического ядра Parasolid от фирмы Unigraphics Solutions и ядра ACIS от фирмы Spatial Technology.

Наиболее известными CAD/CAM-системами среднего уровня на основе ядра ACIS являются: AutoCAD и Autodesk Inventor (Autodesk Inc.); CADdy++ Mechanical Design (Ziegler Informatics GmbH); семейство продуктов Bravo (Unigraphics Solutions) и др. К числу CAD/CAM-систем среднего уровня на основе ядра Parasolid принадлежат: SolidWorks (SolidWorks Corp.); Anvil Express (MCS Inc.), Solid Edge и Unigraphics Modeling (Unigraphics Solutions) и другие пакеты. CAD-системы нижнего уровня (например, AutoCAD LT, Medusa, КОМПАС и др.) применяются чаще всего только при автоматизации конструкторско-чертежных работ.

Концепция «параллельного» проектирования (С-технология) - это принципиально новый, интегрированный подход к разработке изделий [4]. В основе технологии лежит идея совмещенного проектирования изделия, а также процессов его изготовления и сопровождения, координируемая с помощью специально создаваемой для этой цели распределенной информационной среды. Подобная технология позволяет (начиная с самых ранних стадий проектирования) использовать проектные данные одновременно различными группами специалистов-проектировщиков (рис.1).



Рис. 1. Организация ЖЦПО на основе концепции «параллельного» проектирования (С-технологии)

Пользователи С-технологии по сравнению с традиционным проектированием имеют более "четкую" цель и более "управляемые" средства ее достижения, что позволяет снизить риски и улучшить качество готовой продукции [4].

Авторами были разработаны функциональные модели (в нотации *idef0* и *UML*), описывающие процессы поддержки ЖЦ компьютерных САД-пакетов, построенные как на традиционной, так и параллельной концепции проектировании интеллектуальной ЭЭС. Проведенные с помощью этих моделей исследования показали, что большинство современных САД-пакетов построены на базе программных оболочек с ограниченным сроком информационной поддержки от компаний-производителей, что часто противоречит отечественным нормативам и регламентам. Исследования показали, что постоянно сокращается среднее время ЖЦ не только отдельного электрооборудования, но и среднее время жизненного цикла самой технологии, применяемой для его изготовления.

Кроме того, эти исследования доказали, что для решения задач проектирования электрических систем и сетей наиболее подходящими являются такие пакеты, как «EnergyCS» и «EnergyCS Line» Эти пакеты поддерживают ARX-технологии и работают в составе оболочки AutoCAD Electric (разработчик - Autodesk Inc.). Модуль «EnergyCS Режим» позволяет производить расчет и анализ установившихся режимов ЭЭС, модуль «EnergyCS ТКЗ» - расчет токов короткого замыкания, модуль «EnergyCS Потери» - расчет потерь электроэнергии в сложных энергосистемах. Приложение «EnergyCS Line» предназначе-

но для автоматизации проектирования механической части линий электропередачи и их кабелей связи.

Эти САД-пакеты поддерживают отечественные стандарты по оформлению электротехнической документации и соответствуют последним техническим регламентам, принятым в электроэнергетике страны.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кудрин Б.И., Анчарова Т.В. САПР в электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие / М.: Изд-во МЭИ, 1987. – 74 с.
2. Сенько В.В. Системы автоматизированного проектирования СЭС: учеб. пособие / В.В. Сенько – 2-е изд. – Тольятти: ТГУ. – 44 с.
3. Сенько В.В. Поддержка жизненного цикла компьютерных пакетов автоматизированного проектирования электроэнергетических систем В сб. трудов II межд. науч.-практ. конференции «Инновационные технологии в энергетике», Пенза: ПДЗ, 2014, с. 88 -93.
4. Смирнов А.В., Юсупов Р.М. Совмещенное проектирование: необходимость, проблемы внедрения, перспективы. - С.-Пб.: СПИ ИРАН, 1992. - 38 с.

Научный руководитель: В.В. Сенько, к.т.н., доцент СамГТУ.

АДРЕСНО-АНАЛОГОВАЯ СИСТЕМА ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ АДМИНИСТРАТИВНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ КОТЕЛЬНОЙ

С.А. Ефремов

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5БМ53

Пожарная сигнализация — представляет собой комплекс технических средств, который служит для обнаружения возгорания на его начальной стадии, обработки и выдачи команд на включение систем звукового и светового оповещения, а также на включение автоматических установок пожаротушения.

Основные задачи функционирования пожарной сигнализации – это задачи сохранения жизни людей и сохранения имущества. Выпол-

нение этих задач напрямую зависит от своевременного обнаружения и локализации очага возгорания.

Системы пожарной сигнализации подразделяются на три класса: неадресные системы, адресные и адресно-аналоговые пожарные системы. Главное их отличие - это метод, по которому система принимает решение о тревожной ситуации, то есть о пожаре.

В системах неадресных и адресных это решение принимается непосредственно самими установленными пожарными извещателями и затем тревожный сигнал передается на приемно-контрольное оборудование. И уже на основании этого сигнала с извещателя включается система пожаротушения. Также неадресные системы не способны показать какой именно датчик сработал. В этой системе указывается только шлейф, в котором произошла авария.

В адресно-аналоговых системах принцип принятия решения о возникновении пожара совершенно иной. На головное устройство, в качестве которого выступает контроллер, в режиме реального времени, передаются значения контролируемых извещателями параметров (температура, задымленность в помещении). Контроллер постоянно следит за состоянием контролируемых параметров в помещении и отслеживает динамику изменения указанных параметров. На основании полученных данных принимается решение о формировании сигнала «Пожар» или сигнала «Предупреждение».



Рис. 1. Структурная схема адресно-аналоговой системы пожарной сигнализации

Нижний уровень системы пожарной сигнализации обеспечивает контроль и сбор данных о возможном появлении возгорания или задымления в помещении. Основными техническими средствами нижнего уровня являются сигнализаторы, датчики, извещатели, исполнительные механизмы. При срабатывании пожарного извещателя вырабатывается сигнал, который незамедлительно поступает на приборы среднего уровня.

На среднем уровне располагается пульт контроля и управления С2000М и контроллер двухпроводной связи С2000-КДЛ. К контроллеру двухпроводной линии связи возможно подключение до 127 адресных устройств. Контроллер вырабатывает определенный алгоритм, который в случае поступления сигнала о пожаре включает в работу средства сигнализации для оповещения оперативного персонала (блок индикации, громкоговорители, световые табло). Пульт контроля и управления С2000М установлен локально для управления системой. От пульта управления по USB интерфейсу информация передается на верхний уровень.

Верхний уровень – это уровень визуализации, диспетчеризации и сбора данных. В первую очередь на верхнем уровне реализуются информационные функции (сбор, обработка, хранение и выдача информации по требованию оператора). Так же при помощи программного обеспечения осуществляется дистанционное управление приборами и пожарными извещателями. Верхний уровень представляет собой автоматизированное рабочее место, в качестве которого выступает персональный компьютер со специализированным программным обеспечением.

ЛИТЕРАТУРА:

1. НПБ 110-03. Нормы пожарной безопасности. – М.: ГУГПС МЧС России, 2003. – 10 с.
2. СП 5.13130.2009. Свод правил по установке пожарной сигнализации. – М.: ГУГПС МЧС России, 2009. – 107 с.
3. СНиП II-35-76. Оборудование котельной системой пожарной сигнализации. – М.: ГУГПС МЧС России, 2012. – 62 с.
4. Волощенко А.В., Горбунов Д. Б. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 109 с.
5. Компания «Актив» [Электронный ресурс] URL: <http://aktivsb.ru/>, свободный, - Загл. с экрана.— Яз. рус. Дата обращения: 17.04.2015 г.

6. Научно-внедренческое предприятие «Болид» [Электронный ресурс] URL: <http://bolid.ru/>, свободный, - Загл. с экрана.— Яз. рус. Дата обращения: 17.04.2015 г.

Научный руководитель: Д.О. Глушков, к.ф.-м.н., каф. АТП ЭНИН ТПУ.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТЕПЛОСЕТИ

А.С. Зленко

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

Теплосетью называют системой теплопроводов, насосных станций и теплообменных аппаратов, обеспечивающая непрерывную подачу тепловой энергии в виде горячей воды потребителям и ее возврат на ТЭЦ или РТС [1].

Целью выполненной работы было рассмотрение теплосети участка по эксплуатации технологических котельных, котельной №1 моноблочного, блочного и легкосборного исполнения, мощностью 3300 кВт. Предназначена для теплоснабжения производственной базы Томского ЛПУМГ компании «ООО Газпром трансгаз Томск».

Для оптимизации процесса нагрева теплоносителя при различных значениях температуры наружного воздуха и, соответственно, для уменьшения количества потребляемого котлами топлива, в сетевом контуре установлен трёхходовой регулирующий клапан с электроприводом «Sauter».

Регулирование температуры в сетевом контуре осуществляется согласно расчетной уставке. Значение уставки является величиной переменной и вычисляется контроллером, в зависимости от текущей температуры наружного воздуха по графику «Уставка температуры теплосети» $=f$ («Температура на улице»). График в общем случае представляет собой кусочно-линейную функцию с двумя точками излома («А» и «В»), параметры которых задаются пользователем исходя из эксплуатационных характеристик системы отопления или температурного графика теплосети. Для полного задания параметров этого графика достаточно записать в контроллер параметры, которые соответствуют минимальному и максимальному значению температурного графика теплосети (рисунок 1).

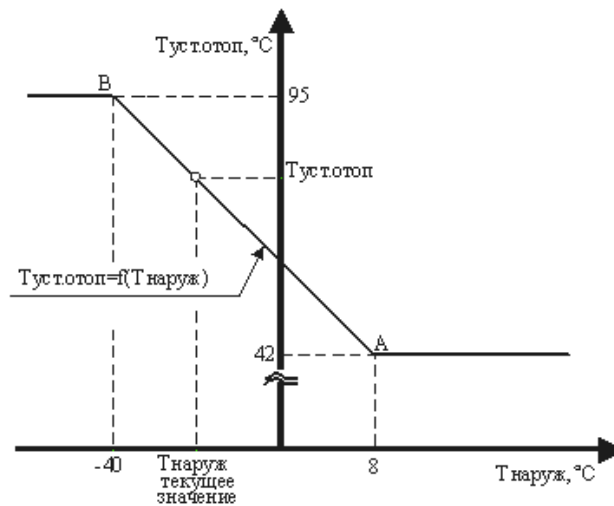


Рис. 1. Температурный график регулирования теплоносителя

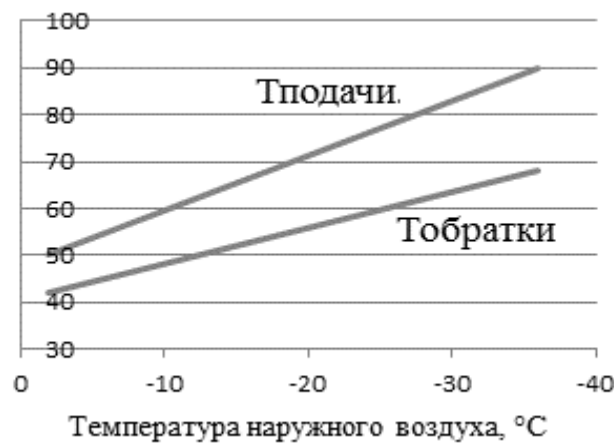


Рис. 2. Температурный график теплосети

В котловом контуре поддерживается постоянное значение температуры при помощи системы автоматического регулирования котлом. Вода циркулирует между котловым контуром и смесительным баком, таким образом подогревая воду, пришедшую в бак от потребителя, которая не отправляется на подачу согласно зависимости температуры прямой сети от температуры наружного воздуха (рисунок 3).

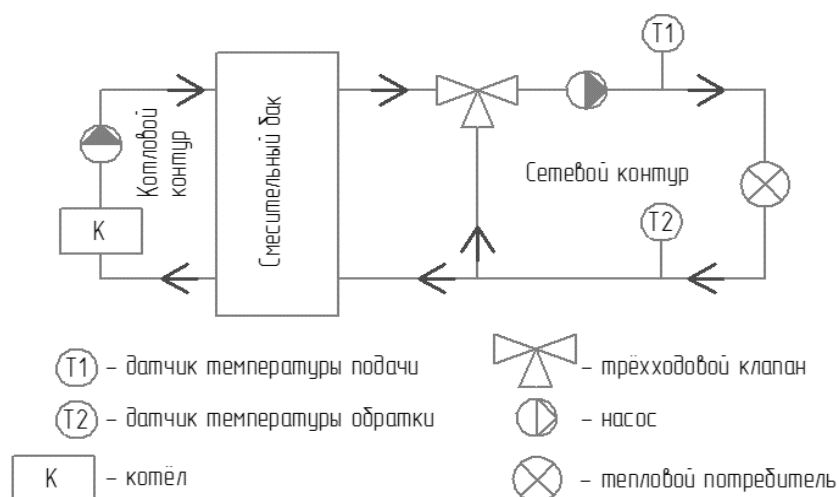


Рис. 3. Схема регулирования температуры тепловой сети

Клапан принимает положение – 1, в том случае, когда с датчика температуры подачи тепловой сети на регулятор поступает сигнал со значением температуры, которая ниже уставки подачи тепловой сети, вычисленной согласно значению температуры наружного воздуха (рисунок 4).

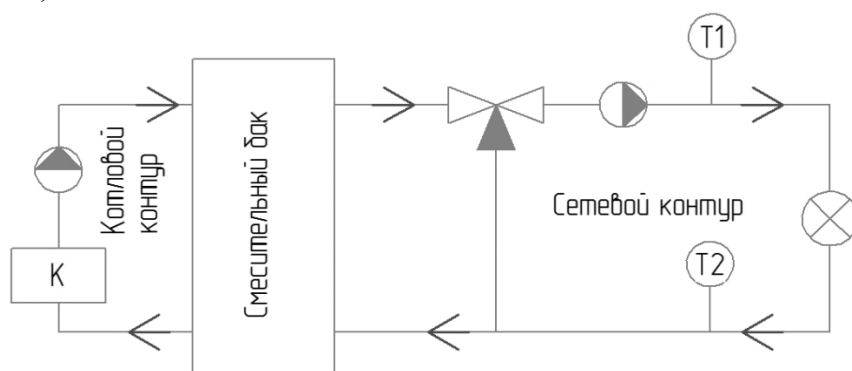


Рис. 4. Схема регулирования температуры тепловой сети (положение клапана - 1)

Клапан принимает положение – 2, в том случае, когда с датчика температуры подачи тепловой сети на регулятор поступает сигнал со значением температуры, которая выше уставки подачи тепловой сети, вычисленной согласно значению температуры наружного воздуха (рисунок 7). Это, например, происходит в результате повышения температуры наружного воздуха.

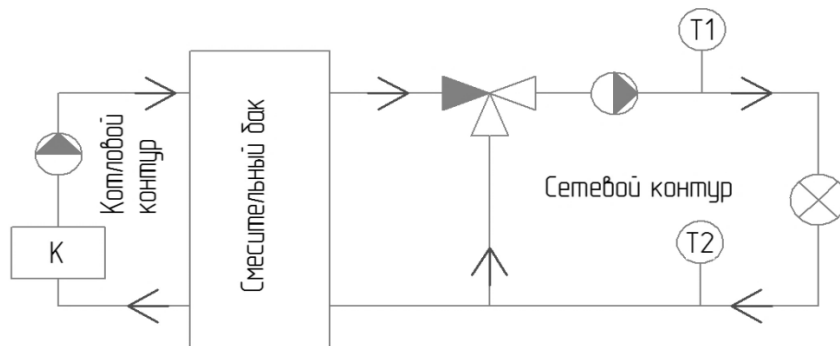


Рис. 5. Схема регулирования температуры тепловой сети (положение клапана - 2)

Регулирование температуры теплоносителя осуществляется согласно показаниям датчика температуры подачи тепловой сети. Также, контроллер позволяет регулировать температуру теплоносителя в зависимости от температуры обратки. При повышении значений температурного графика обратки, происходит снижение температуры подачи теплосети до тех пор, пока график температуры обратки не войдёт в норму. Это необходимо для тех случаев, когда теплосъём потребителя снижается. Например: в весенний – осенний период.

ПИД регулятором вырабатываются импульсы управления трёхходовым клапаном, частота и длительность которых задаются с панели оператора. Когда температура подачи теплосети становится равна заданной уставке, управляющие импульсы отсутствуют, трёхходовой клапан остаётся в промежуточном положении.

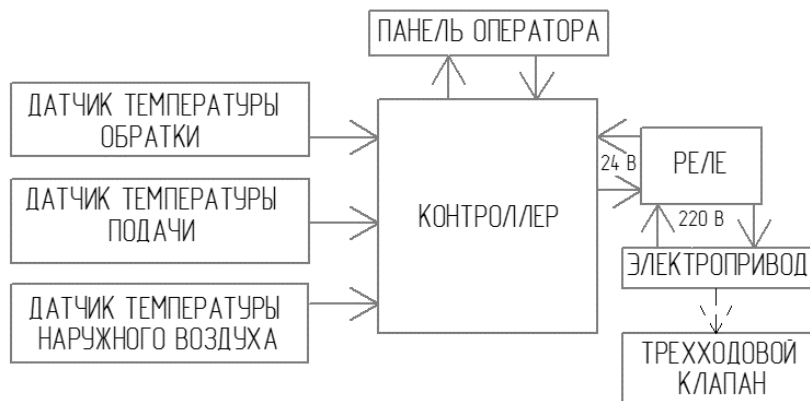


Рис. 8. Функциональная схема

Контроллер «МЗТА МС8» подключён к панели оператора «Delta DOP-B1»0, с которой задаются параметры регулирования и отображаются текущие значения. Для подключения управляющих выходов контроллера (+24 В) к электроприводу «Sauter» (220 В) используется промежуточное реле «Finder». В свою очередь, электропривод механически регулирует трёхходовой клапан. Также, к контроллеру подключены датчики температуры «ТМТ-2-15 50М», которые измеряют

температуру наружного воздуха, температуру подачи и обратки теплосети.

Из всего выше сказанного видно, каким образом работает данная система автоматического регулирования температуры теплоносителя в теплосети, и эта статья может быть полезна для тех, кто захочет модернизировать данную систему в будущем.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Клюкин М.А. Инструкция по эксплуатации оборудования КИ-ПиА котельной № 1 Томская ПП. – Томск: ООО Газпром трансгаз Томск, 2012. – 52 с.
2. Клюкин М.А. Инструкция по эксплуатации оборудования КИ-ПиА котельной № 3 Томская ПП. – Томск: ООО Газпром трансгаз Томск, 2012. – 54 с.
3. Паспорт блочной комбинированной горелки типа GL 7/1-D «Weishaupt». – Химки: фирмы Weishaupt, 2010. – 23 с.
4. Паспорт водогрейного котла «ТУРБОТЕРМ» – Москва: фирмы ТУРБОТЕРМ, 2008. – 31 с.

Научный руководитель: И.П. Озерова, к.т.н., доцент каф. АТП ЭНИН ТПУ.

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА ВКЛЮЧЕНИЯ АГРЕГАТОВ

А.С. Кожеко

Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета

Выбор состава агрегатов является одной из важных внутриван-
ционных задач на ГЭС.

Для решения задачи используем технические показатели: расход воды и КПД станции. Критерии оптимального состава:

$$Q=\min ; \eta=\max .$$

Величины расходов и КПД связаны функционально. Для получения значений данных величин используются энергетические характеристики агрегатов.

Рассмотрена одна из основных характеристик, которая может быть использована для определения наиболее экономичных диапазонов включения гидроагрегатов - расходная характеристика. Для по-

строения расходной характеристики использовалась главная универсальная характеристика гидротурбины ПЛ 60В .

Диапазон включения агрегатов определяется точкой пересечения расходных характеристик для разного состава агрегатов.

На рисунках (1-3) представлены расходные характеристики при минимальном, расчетном и максимальном напорах.

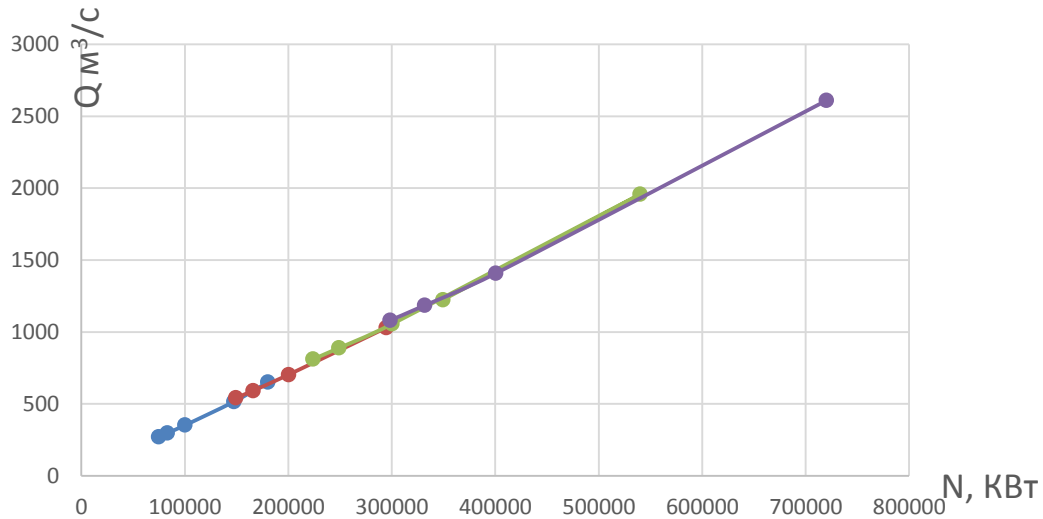


Рис. 1. Зависимость расхода от мощности при минимальном напоре

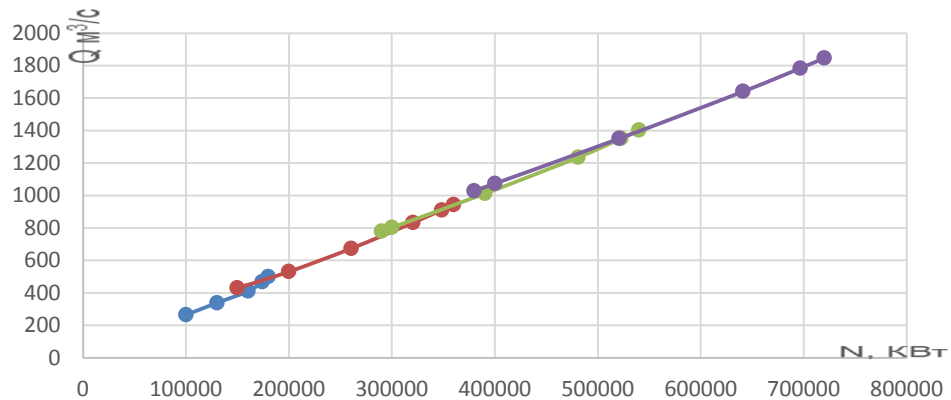


Рис. 2. Зависимость расхода от мощности при расчетном напоре

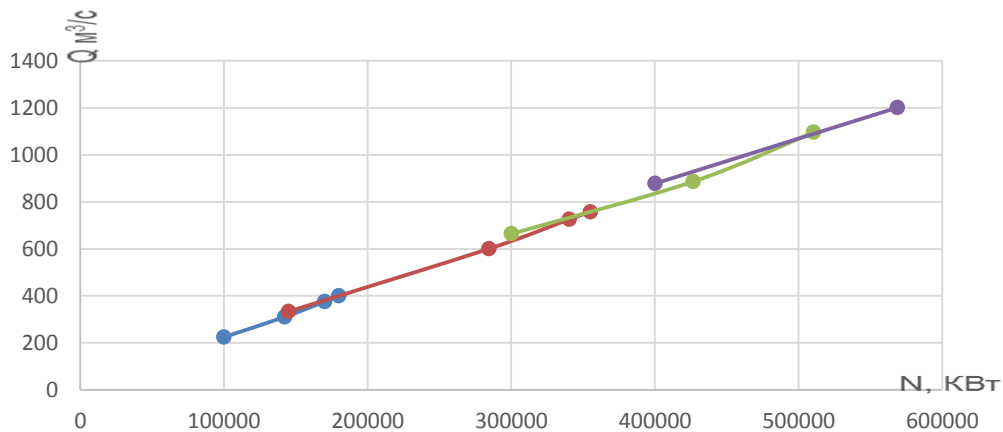


Рис. 3. Зависимость расхода от мощности при максимальном напоре

Диапазон включения определяется точками пересечения расходных характеристик. Формирование вариантов по числу агрегатов производится в пределах от минимального до максимального, необходимого для покрытия заданной нагрузки.

По данным характеристикам определим диапазоны включения, аппроксимировав функции расхода. Результаты сведем в таблицу 1.

Табл. 1. Диапазон точек включения

Минимальный напор Н=32,3 м		
Число агрегатов	Q, м ³ /с	N, МВт
Один агрегат	20-597,05	0-167,25
Два агрегата	597,05-1055,26	167,25-301,75
Три агрегата	1055,26-1237,6	301,75-348,33
Четыре агрегата	1237,6-1628	348,33-720
Расчетный напор Н=43,1 м		
Число агрегатов	Q, м ³ /с	N, МВт
Один агрегат	20-481,82	0-177,01
Два агрегата	481,82-926,05	177,01-353,83
Три агрегата	926,05-1371,07	353,83-529,46
Четыре агрегата	1371,07-1920	529,46-720
Максимальный напор Н=55,5 м		
Число агрегатов	Q, м ³ /с	N, МВт
Один агрегат	20-399,2	0-179,68
Два агрегата	399,2-885,99	179,68-326,57
Три агрегата	885,99-1070,35	326,57-500,67
Четыре агрегата	1070,35-1828	500,67-720

Рассчитаем потери электроэнергии, внутри диапазона включения, при различном составе агрегата. В качестве примера расчет приведен на период один месяц. Результаты представлены в таблице 2.

Табл. 2. Потери электроэнергии

Минимальный напор Н=32,3 м					
Q, м ³ /с		ΔQ, м ³ /с	ΔN, МВт	ΔW, кВт*час (за месяц)	ΔW, Руб/мес
Точка включения соответствует выбранному диапазону	Точка включения не соответствует выбранному диапазону				
536	542	6	1,763	1269360	444276
875	893	18	5,118	3684960	1289736
1055	1083	28	7,943	5718960	2001636
Расчетный напор Н=43,1 м					

Q, м ³ /с		ΔQ, м ³ /с	ΔN, МВт	ΔW, кВт*час (за месяц)	ΔW, Руб/мес
Точка включения соответствует выбранному диапазону	Точка включения не соответствует выбранному диапазону				
488	499	11	4,311	3103920	1086372
832	848	16	6,244	4495680	1573488
1234	1253	19	7,141	5141520	1799532
Максимальный напор Н=55,5 м					
Q, м ³ /с		ΔQ, м ³ /с	ΔN, МВт	ΔW, кВт*час (за месяц)	ΔW, Руб/мес
Точка включения соответствует выбранному диапазону	Точка включения не соответствует выбранному диапазону				
328	343	15	5,619	4045680	1415988
677	698	21	7,928	5708160	1997856
939	974	35	13,126	9450720	3307752

Таким образом, выбор точек диапазона включения гидроагрегатов может существенно влиять на величину потерь электроэнергии и расхода воды. Прогнозируемые потери электроэнергии в среднем снижаются на 2,24 млн.руб/месяц, а потери воды на 169 м³/с. Рациональное управление составом агрегатов позволяет снизить потери электроэнергии в сети, что является эффективным решением задачи энергосбережения без нанесения ущерба оборудованию экологии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Филиппова, Т.А. Оптимизация энергетических режимов гидроагрегатов гидроэлектростанций/ Т.А. Филиппова, – М.: Энергия, 1975. – 207 с.: ил.
2. Филиппова, Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем/ Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина– М.: Энергия, 2007. – 204 с.: ил.
3. Веников В.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем: Учебник для вузов/ В.А. Веников, В.Г. Журавлев, Т.А. Филиппова - М.: Энергоатомиздат, 1990 - 352 с., ил.

4. Вержбицкий В.М. Численные методы. (линейная алгебра и нелинейные уравнения). – М.: Высшая школа, 2000. – 266с.

Научный руководитель: Л.В. Толстихина, к.т.н., доцент кафедры ГГЭЭС СШФ СФУ.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ГАЗОПРОВОДОВ КОТЛА ПП-640-140 С ВНЕДРЕНИЕМ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РОЗЖИГА ГОРЕЛОК

И.В. Колесов

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

Паровым котлом называют технологический агрегат для выработки пара с давлением выше атмосферного за счет теплоты сжигаемого топлива. В паровом котле энергия топлива преобразуется в потенциальную энергию пара [1].

Целью выполненной работы являлось изучение метода внедрения системы автоматического розжига горелок и модернизации газопровода котла ПП-640-140.

Основными целями автоматизации системы розжига горелок являются:

- повышение безопасности розжига при работе котлов на основном и резервном топливе
- защита горелочных устройств путем их останова при угрозе аварии и реализация требований нормативных документов
- повышение надежности работы оборудования благодаря уменьшению вероятности ошибочных действий персонала
- повышение экономичности работы оборудования за счет оптимизации нестационарных режимов работы и сокращения времени пусковых операций.

В данной работе рассмотрены прямоточные энергетические котлы типа Пп-640-140 АО “Подольский машиностроительный завод им С.Орджоникидзе”. Энергетические котлы двухкорпусные, производительность – 640 т/час, давление острого пара на выходе 140 кгс/см², принципиальная схема представлена на рисунке 1.

В качестве основного топлива используется природный газ, в качестве резервного – топочный мазут.

Котельный агрегат – двухкорпусный, подключается к турбине по схеме дубль-блока [2].

Основными элементами системы контроля и управления газовым блоком горелок котлоагрегата являются контроллеры фирмы Emerson Process Management “Овация”, расположенные в шкафу контроллеров розжига на БЩУ и шкафы местного розжига горелок.

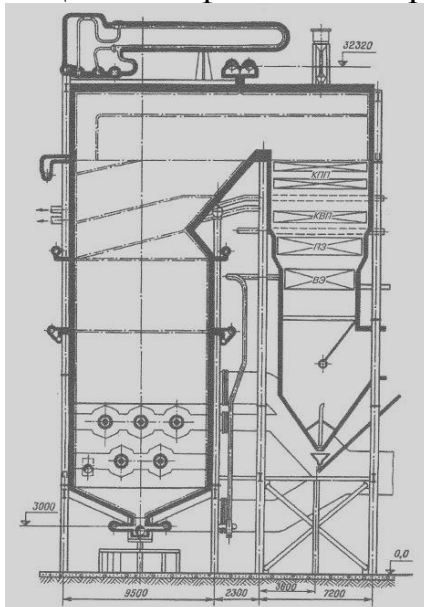


Рис. 1. Котел ПП-640-140

Система контроля и управления выполнена на контроллерах и обеспечивает:

- контроль и защиту по основным технологическим параметрам;
- опрессовку газового блока;
- автоматический розжиг горелок;
- штатную и аварийную остановку горелки;
- автоматическое регулирование соотношения “газ-воздух” горелок в растопочном режиме;
- дистанционное управление.

Шкафы местного розжига горелок обеспечивают местный розжиг и остановку горелок, а также местное управление клапанами газового блока.

Для контроля, регулирования и защиты используются следующие датчики и приборы:

- датчики серий КЭР-АИ и КЭР-АИП – для ввода аналоговых сигналов 4-20 мА по давлению газа перед горелками, между ПЗК-1 и ПЗК-2, по давлению газа перед блоками горелок и по давлению воздуха перед горелками. Питание датчиков выполняется из программно технического комплекса, поэтому заказ блоков питания датчиков не предусмотрен;

- приборы контроля факела горелки ФДСА-ОЗМ, приборы контроля факела запальников ЛУЧ-КЗ, электрозапальники ЗСУ-ПИ-1/5;
- указатели положения заслонок газа и шиберов воздуха – аналоговые сигналы 4-20 мА.

В контроллер розжига из шкафа контроллера котла АРЧМ введены сигналы:

- “КА. Готовность механизмов к вентиляции”;
- “КБ. Готовность механизмов к вентиляции”.

Связь контроллеров розжига со станцией оператора осуществляется по сети Ethernet двумя “витыми парами”, соединяющими контроллер розжига с концентратором.

Дистанционное управление и розжиг горелок осуществляется с существующей станции оператора АРЧМ, расположенной на блочном щите управления.

Также предусмотрены следующие работы:

1. Замена регулирующего клапана расхода газа (контроль расхода газа и температуры газа, а так же управление исполнительным механизмом реализовано в контроллере котла системы АРЧМ).
2. Дистанционное управление газоотводом котла, задвижками на газе к котлу.

Технологические защиты и блокировки на задвижках:

- Не воспламенение первой или погасание факела всех газовых горелок при растопке котла на газе.
- Запрет розжига горелок при растопке котла без вентиляции топки.
- Запрет открытия ГБЗ при незакрытой задвижке на газе к котлу.
- Запрет открытия ГБЗ при открытом положении хотя бы одного отключающего устройства перед горелками.
- Запрет включения ЗЗУ и подачи газа к горелкам без предварительной вентиляции в течение не менее 10 мин.
- Запрет подачи газа в горелку в случае закрытия воздушного шиберов перед горелкой.
- Запрет подачи газа в горелку при отсутствии факела на ЗЗУ.
- Запрет открытия (закрытия) запорного устройства на трубопроводе безопасности при открытом (закрытом) положении ПЗК-1.

Из существующей схемы защит котла, выполненной на традиционных средствах, в контроллер розжига введены следующие дискретные сигналы:

- сработало реле защиты корпуса;
- сработало реле растопочного режима;
- введена точка записи “Общий факел”;
- готовность механизмов к вентиляции.

Для формирования логики “Топка провентилирована” из существующих схем управления арматуры и механизмов введены следующие дискретные сигналы:

- закрыты задвижки на газе, мазуте, рециркуляции мазута;
- включен (отключен) дымосос (ДС) , дутьевой вентилятор (ДВ);
- Направляющие аппараты ДС, ДВ, открыты на 25%.

В существующие схемы управления арматурой и механизмами введенные следующие сигналы из контроллера розжига:

- закрыть ГБЗ;
- закрыть задвижки на газе, мазуте, рециркуляции мазута к котлу.

Внедрение системы автоматического розжига горелок позволило:

- эксплуатировать котел в полном соответствии с требованиями ПБ (правила безопасности систем газораспределения и газопотребления) 12.529.03;
- снизить аварийность в работе оборудования за счет автоматизации процессов розжига и управления газовым оборудованием котлов;
- уменьшить вероятность ошибочных действий оперативного персонала благодаря своевременному предоставлению информации в наглядном виде;
- улучшить технологическую дисциплину за счет точной и своевременной регистрации действий персонала.

Исходя из всего выше сказанного видно, что работа является актуальной и позволяет понять принцип метода внедрения системы автоматического розжига горелок и модернизации газопровода на примере котла ПП-640-140.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Принципиальные схемы паровых котлов и топливоподач: учебное пособие/ А.В. Волощенко, В.В. Медведев, И.П. Озерова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 100 с.
2. Каталог-справочник Подольского машиностроительного завода – Подольск: Изд-во Подольского машиностроительного завода, 2010. – 70 с.
3. Рабочий проект «Котел энергоблока ст.№8. Модернизация газопроводов котла с внедрением системы автоматического розжига горелок».

Научный руководитель: Е.В. Иванова, к.ф.-м.н., ст. преподаватель каф. АТП ЭНИН ТПУ.

СЛУЖБА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДИСПЕТЧЕРСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ (АСДТУ) НА БАЗЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ТОО «АЛТС» Г.АЛМАТЫ

Р.Х. Курмангалиев
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

ТОО «АлТС» - ТОО «Алматинские тепловые сети» (далее - организация). Организация занимается транспортировкой тепловой энергии от источников ТЭЦ-1, 2, ЗТК, а также от 70 котельных АТКЭ (Алматытеплокоммунэнерго) и распределением до вводов к потребителям. Предприятие осуществляет транспортировку и распределение тепла с заданными параметрами – давлением и температурой.

Основной целью работы было ознакомление со структурой отдела АСДТУ, а также с приборами и оборудованием в системах теплосчета, их принципом действия, характеристиками и монтажом.

АСДТУ решает задачи оперативного управления в режиме реального времени функционированием тепловых сетей, регистрирует оперативные переключения и аварийные ситуации, ведет режим сетей и т.д. Типовая схема АСДТУ на примере насосной станции представлена на рисунке 1.

Объекты управления:

- насосные станции;
- коллекторные обратных и подающих трубопроводов;

- узлы коммерческого и технического учета тепла;
- магистрали;
- узлы смешения;
- баки – аккумуляторы.
- Вышеперечисленные объекты включают в себя:
- насосные агрегаты различной мощности;
- электроуправляемые задвижки;
- оборудование КИП (датчики температуры, давления, расходомеры).

Основные функции отдела:

- дистанционное управление;
- логическое управление;
- автоматическое регулирование;
- технологические защиты.

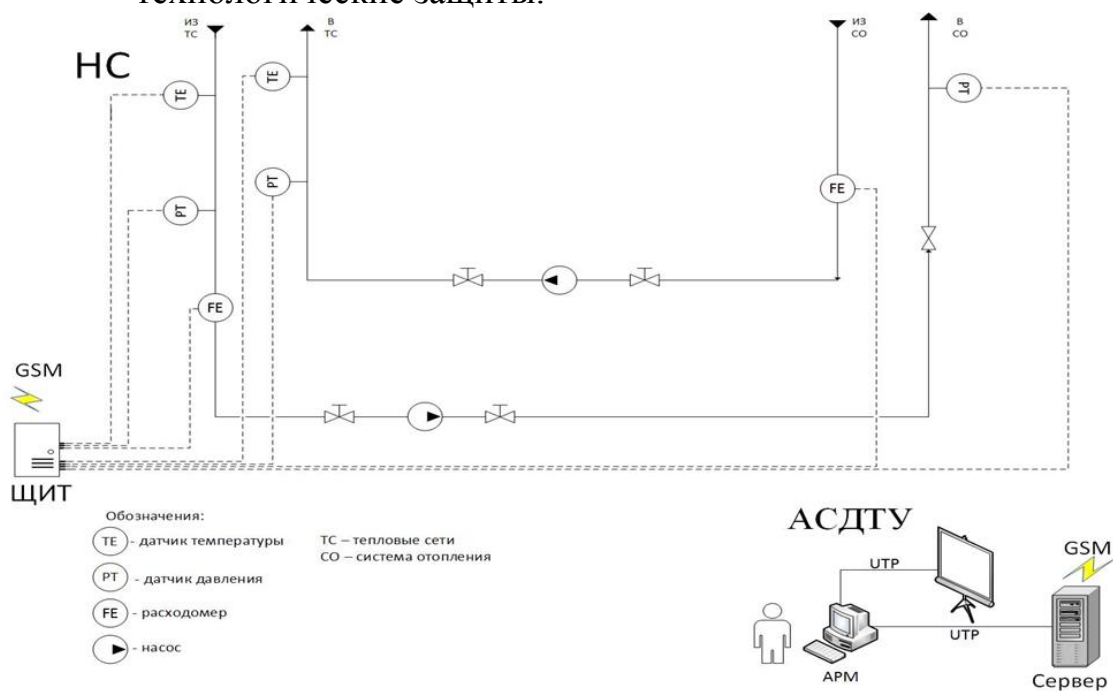


Рис. 1. Наглядное представление АСУ ТП на примере насосной станции

Нижний уровень АСУ ТП реализован на программируемых логических контроллерах TSX Premium производства Schneider Electric, выполняющих функции сбора, предварительной обработки информации, программно-логического управления и непрерывного регулирования, блокировок, защит, аварийно-предупредительной сигнализации.

Верхний уровень организован с помощью общераспространенной клиент-серверной технологии на базе SCADA-системы системы

System Platform от Wonderware. Традиционно верхний уровень выполняет функции визуализации, регистрации технологических параметров, накопления и хранения информации в архивах и журналах событий, обмена информацией между уровнями ПТК.

В качестве датчика температуры используется ТПС с НСХ 500П производства ЗАО «Взлет». Варианты монтажа ТПС представлены на рисунке 2.

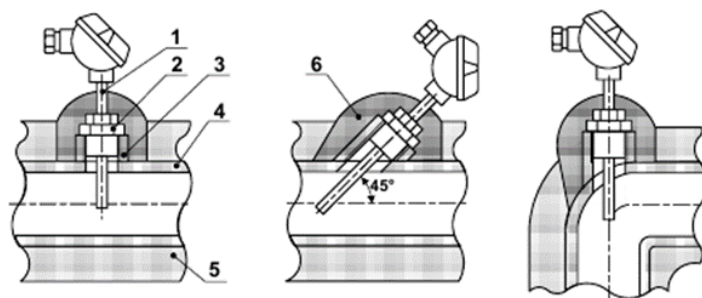


Рис. 2. Варианты монтажа ТПС на трубопроводе. 1 – термопреобразователь сопротивления; 2 – защитная гильза; 3 – штуцер; 4 – трубопровод; 5 – теплоизоляция трубопровода; 6 – теплоизоляция ТПС

При монтаже ТПС на трубопроводах тепловых сетей чаще всего используется второй вариант, т.к. чувствительный элемент в таком положении менее подвержен воздействию турбулентного потока. Также в таком положении наружная часть ТПС несильно выступает за пределы теплоизоляции. Чувствительный элемент погружен на $\frac{3}{4}$ диаметра трубопровода под углом 45° [1].

В качестве датчика давления используется измерительный преобразователь давления JUMO MIDAS типа 401001. Внешний вид преобразователя давления представлен на рисунке 3. Измерительные преобразователи давления могут применяться для измерения избыточного давления жидких и газообразных сред. Преобразователь давления работает по тонкопленочному тензорезистивному методу. Основным материалом сенсора является керамика из оксида алюминия (Al_2O_3). Такой сенсор характеризуется небольшой погрешностью – до 1 %, применяется для измерения как низкого, так и высокого давления. Давление преобразуется в электрический сигнал [2].



Рис. 3. Внешний вид измерительного преобразователя давления

Для измерения расхода сетевой воды используется электромагнитный расходомер Promag 50P производства «Endress-Hauser».

В соответствии с законом электромагнитной индукции Фарадея, в проводнике, движущемся в магнитном поле, наводится ЭДС. В магнитно-индуктивном методе измерения расхода роль движущегося проводника играет поток среды. Индуцируемое напряжение, пропорциональное скорости потока, подается на усилитель через пару электродов. Объемный расход вычисляется через площадь поперечного сечения трубопровода. Магнитное поле генерируется постоянным током с переключающейся полярностью [3].

Расходомер состоит из двух элементов: преобразователя Promag 50 и датчика Promag P. Датчик устанавливается между двумя фланцами трубопровода. Внешний вид расходомера представлен на рисунке 4.



Рис. 4. Внешний вид расходомера

Измерительные датчики подсоединены к модулю аналогового ввода, который выполняет преобразование аналоговых сигналов в цифровой код. Затем цифровой сигнал по каналу RS-485 передается мастеру сети. В качестве мастера сети выступает контроллер или регулятор. Основная функция мастера сети – инициировать обмен данными между отправителем и получателем данных. Далее контроллер

соединяется с тепловычислителем по каналу RS-485, где происходит измерение и вычисление параметров теплоносителя.

Для удаленного снятия показаний тепловычислитель подключается к GSM-терминалу Позитрон ЕС485 по интерфейсу RS-485. По беспроводному каналу связи GSM-терминал посылает сигнал на сервер центра сбора и обработки информации.

Далее эта информация отображается на мониторе автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора. В конечном итоге эта информация визуализируется на видостене в здании АСДТУ.

В результате работы были получены общие представления о работе службы АСДТУ на базе организации ТОО «АлТС», были собраны сведения о полевом оборудовании и КИП.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Термопреобразователи сопротивления «Взлет ТПС». Руководство по эксплуатации. – СПб.: ЗАО «Взлет», 2010. – 20 с.
2. Технический паспорт преобразователя давления типа 401001. – М.: ООО «Фирма ЮМО», 2014. – 4 с.
3. Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы: учебник для вузов. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 458 с.

Научный руководитель: М.Д. Кац, к.ф.-м.н., доцент каф. АТП ЭНИН ТПУ.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕМ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Д.И. Латников

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

Целью выполненной работы являлось изучение объекта автоматизации, данным объектом являлся тепловой узел, изучение его структуры и технологического оборудования, входящего в состав ТУ, требований к разрабатываемой системе, выбор необходимых технических средств автоматизации, разработка функциональных схем систем учета и регулирования теплопотребления.

В качестве исходных данных для разработки системы были заданы параметры:

Регулирование температуры теплоносителя на отопление осуществляется в прямом трубопроводе, в зависимости от температуры наружного воздуха по введённому тепловому графику с коррекцией по температуре обратного теплоносителя отопления.

В тепловом узле температура подачи ГВС устанавливается 60°C и поддерживается контроллером ECL Comfort 210.

Для циркуляционных насосов отопления предусматривается два режима управления Ручной и Автоматический:

В автоматическом режиме осуществляется:

1. Попеременная работа насосов по сигналу таймера;
2. Включение резервного насоса при аварии рабочего;
3. Защита насосов от «сухого хода».

В ручном режиме работы включение насоса осуществляется с щита при помощи ключей. В данном режиме насосы защищены от «сухого хода». В тепловом узле циркуляционный насос ГВС включен постоянно, насос защищён от «сухого хода».

Проект разработан на расчетную температуру наружного воздуха -40°C . Теплоснабжение осуществляется от наружной теплосети с параметрами теплоносителя $95-70^{\circ}\text{C}$, $P_1 = 4,6 \text{ кгс/см}^2$, $P_2 = 4,5 \text{ кгс/см}^2$.

Автоматизированный тепловой узел разработан для присоединения системы отопления по зависимой схеме и системы горячего водоснабжения по независимой схеме. Теплоносителем в системе отопления является вода с параметрами $95-70^{\circ}\text{C}$.

Тепловая нагрузка на тепловой узел составляет $0,24293 \text{ Гкал/ч}$;

Отопление $0,17740 \text{ Гкал/ч}$;

ГВС $0,06553 \text{ Гкал/ч}$.

Система отопления здания присоединяется к тепловым сетям через трехходовой регулирующий клапан и смесительный насос, установленные на подающем трубопроводе. Система ГВС здания присоединяется к тепловым сетям по одноступенчатой схеме через двухходовой регулирующий клапан.

В открытых системах теплопотребления дополнительно должны определяться:

- масса (или объем) теплоносителя, израсходованного на водоразбор в системах горячего водоснабжения;
- среднечасовое значение давления теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах узла учета.

Среднечасовые и среднесуточные значения параметров теплоносителя определяются на основании показаний приборов, регистрирующих параметры теплоносителя.

Принципиальная схема размещения точек измерения массы (или объема) теплоносителя, его температуры и давления, состав измеряемых и регистрируемых параметров теплоносителя в открытых системах теплоснабжения приведены на рис. 1.

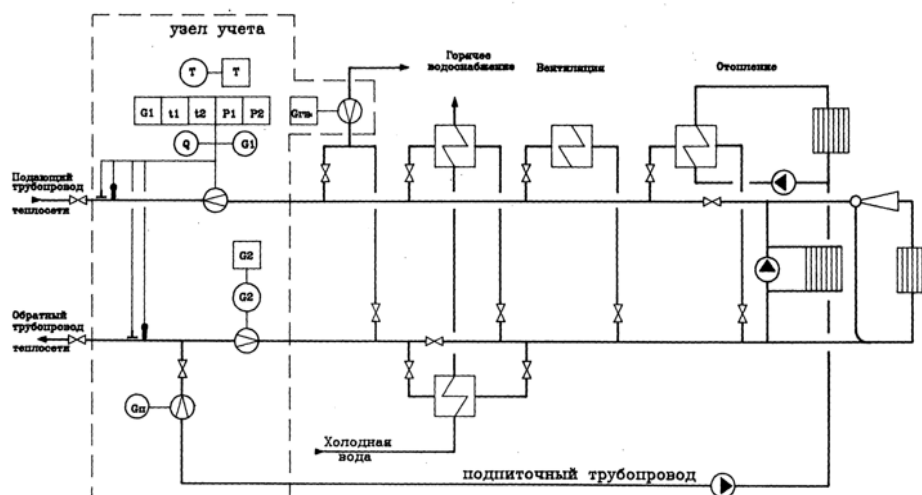


Рис. 1. Принципиальная схема размещения точек измерения количества тепловой энергии и массы (или объёма) теплоносителя, а также его регистрируемых параметров в открытых системах теплоснабжения.

Расчет количества тепловой энергии выполняется по формуле:

$$Q = G_1(h_1 - h_2) \quad (1)$$

где G_1 -расход на подаче, h_1 -энтальпия на подающем трубопроводе, h_2 -энтальпия на обратном трубопроводе.

Согласно, Правилам учета тепловой энергии и теплоносителя, утвержденных постановлением Правительства РФ от 18 ноября 2013 г. № 1034 [1].

Схема установки измерительных приборов узла учета тепловой энергии показана на рис. 2.

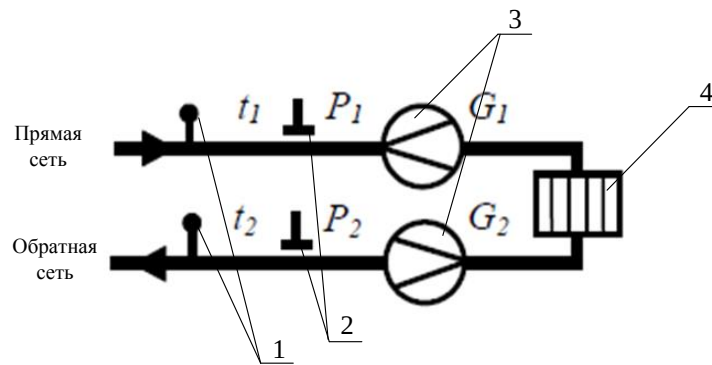


Рис. 2. Схема размещения измерительных устройств: t_1 , t_2 – температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе, P_1 , P_2 – давления в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети на вводе в дом, G_1 , G_2 – расходы теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе, 1 – преобразователь давления, 2 – термометр сопротивления, 3 – преобразователь расхода, 4 – система отопления.

Узел учета тепловой энергии представляет собой комплекс устройств, обеспечивающих измерение количества тепловой энергии, объема теплоносителя, проводящих контроль и регистрацию его параметров.

В состав узла учета входят приборы: термопреобразователи сопротивления КТС-Б, преобразователи расхода электронные «Мастер-Флоу», тепловычислитель ТМК-Н20 [2].

Тепловычислитель ТМК-Н20 предназначены для работы в составе теплосчетчиков при измерении и регистрации параметров теплоносителя и тепловой энергии в водяных системах теплоснабжения различной конфигурации. Вычислители обеспечивают измерение параметров теплоносителя, а также учет тепловой энергии по данным об измеренных параметрах теплоносителя [2].

Также, кроме системы контроля тепловой энергии, в здании предусмотрена система регулирования количества потребляемой теплоты.

Автоматизация тепловых пунктов зданий должна обеспечивать:

- приготовление и подачу в системы отопления и вентиляции здания теплоносителя с параметрами, которые автоматически регулируются в соответствии с температурой наружного воздуха и динамикой ее изменения (учет тепловой инерции здания позволяет выровнять температуру внутри отапливаемых помещений, а кроме того уменьшает неравномерность нагрузки на тепловую сеть), а также расписанием (день недели, время суток), заданным пользователем, путем поддержания температурного графика с аналитической или диспетчерской формой задания, устанавливающей зависимость между температурами в подающем и

обратном трубопроводах системы отопления (вентиляции) и температурой наружного воздуха;

- приготовление и подачу теплоносителя в систему горячего водоснабжения, поддержание заданной температуры ГВС в пределах санитарных норм (55 – 65 °С) в открытых и закрытых системах теплоснабжения;
- измерение и контроль параметров теплоносителя, поступающего в системы теплоснабжения и возвращаемого из этих систем в тепловую сеть источника теплоснабжения.

В состав автоматизированного теплового узла входят приборы: контроллер ECL Comfort 210 [3], датчик температуры наружного воздуха «ESMT», датчики температуры погружные «ESMU-100», сетевой насос Magna1 40-120F, насос ГВС и теплообменника USP25-40, редукторные электроприводы, AMV30, AMV435.

ECL Comfort 210 – это электронные регуляторы для погодозависимого регулирования температуры в системах централизованного теплоснабжения, отопления и охлаждения.

Разработанные системы контроля и управления теплоснабжением здания и изменением параметров теплоносителя, позволяют получить рациональное использование энергоресурсов, что подтверждает актуальность работы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Правила коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя (утв. постановлением Правительства РФ от 18 ноября 2013 г. № 1034).
2. Тепловычислители ТМК Н-20. Руководство по эксплуатации. – ППБ.408843.027-20 РЭ, Редакция 01.13. «ПромПрибор». – 50 С.
3. Блок управления микропроцессорный ECL Comfort 210, приложение A266 – Danfoss. Инструкция по эксплуатации. – 116 С.

Научный руководитель: П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., зав. кафедрой АТП ЭНИН ТПУ.

ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ МОДУЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

А.С. Макосов

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

Модульные котельные установки предназначены для отопления, а также обеспечения горячим водоснабжением производственных, жилых зданий, объектов культурно-бытового и, конечно же, социального назначения.

Для различных районов, где по определенным причинам нет возможности построить котельные или же это очень затратно, является целесообразным использовать модульные котельные установки (специальные передвижные блочные системы для отопления в полной готовности). Это легко транспортабельные котельные, которые производятся блоками и включают в себя полный цикл всего котельного оборудования, которое требуется для обеспечения нормального функционирования любой котельной.

При регулировании системы отопления важным условием удовлетворительной работы является достижение гидравлического баланса. В несбалансированной системе отдельные отопительные приборы или контуры могут быть недостаточно снабжены теплоносителем, в то время как другие получают его с избытком.

После пуска системы отопления в действие определяют расход тепловой энергии, идущей на отопление. При несоответствии требуемым значениям тепловой нагрузки систему отопления регулируют.

Системы отопления зданий и сооружений подвергают регулировке, чтобы обеспечить расчетные температуры воздуха в помещениях. Для этого замеряют температуру поверхностей нагревательных приборов с помощью термоэлектрических термометров - термошупов (термопар).

Регулирование теплоотдачи систем отопления осуществляется двумя способами:

1. качественным регулированием, т.е. изменением температуры теплоносителя;
2. количественным регулированием, т.е. изменением количества теплоносителя.

Качественное регулирование систем центрального отопления осуществляют централизованно на котельной или на другом источни-

ке теплоты; количественное регулирование - непосредственно на системе отопления здания.

Регулирование системы отопления здания начинается с определения расходов теплоносителя по водомерам и расходомерам, установленным в тепловом пункте.

При отсутствии контрольно-измерительных приборов регулирование системы отопления базируется на проверке соответствия фактических расходов воды расчетным. При этом под расчетным расходом понимается расход воды в системе отопления, обеспечивающий заданную теплоотдачу (потребляемую тепловую энергию). Степень соответствия фактического расхода воды расчетному определяется температурным перепадом воды в системе, при этом фактическая температура воды в тепловой сети не должна отклоняться от расчетной более чем на 2°C .

Если перепад ниже допустимого, то это указывает на завышенный расход воды и соответственно завышенный диаметр отверстия дроссельной диафрагмы или сопла на входе в систему отопления. Если температурный перепад выше допустимого значения, то это указывает на заниженный расход воды и соответственно на заниженный диаметр дроссельной диафрагмы или сопла. И в том, и в другом случае определяется новый диаметр сопла элеватора.

При невозможности определения фактических потерь напора в системе определение нового диаметра дроссельной шайбы или сопла осуществляется с помощью расчетного значения потерь напора. Если после замены сопла или дроссельной шайбы внутренняя температура отапливаемых помещений будет отличаться больше, чем на 2°C по сравнению с расчетной, то необходимо вторично изменить диаметр сопла или дроссельной шайбы. Необходимо отметить, что регулировка систем отопления зданий с помощью шайб достигается только в том случае, когда шайбы будут рассчитаны и установлены на вводах всех зданий, подключенных к тепловой сети.

Внутренняя температура воздуха в помещениях зданий измеряется через 3-4 ч после включения в работу системы отопления здания при соблюдении температурного графика воды в подающем трубопроводе. Температура замеряется не менее чем в 15% отапливаемых помещений.

Вследствие того, что системы отопления, как правило, регулируют не при расчетной наружной температуре, а при сравнительно высоких наружных температурах в начале отопительного сезона, в системе отопления возникают разрегулировки:

- вертикальная - определяется несоответствием теплоотдачи нагревательных приборов различных этажей требуемым значениям;
- горизонтальная - определяется неравномерным изменением теплоотдачи нагревательных приборов одного этажа.

Разрегулировка систем водяного отопления устраняется в процессе эксплуатационного регулирования систем.

В течение всего времени регулирования температура сетевой воды, поступающей в систему отопления, должна поддерживаться постоянной.

Эксплуатационное регулирование систем проводят по требуемому перепаду температур в тепловом вводе путем изменения количества поступающей в систему воды по приведенным выше требованиям в зависимости от типа систем и теплового ввода. Так как перепад температур связан с расходом воды обратно пропорциональной зависимостью, для увеличения перепада температур до требуемого необходимо уменьшить расход воды путем прикрытия задвижки на вводе или, наоборот, увеличить расход при повышенном перепаде температур. Чем больше расход воды через нагревательные приборы, тем больше скорость ее движения, а следовательно, вода в приборе остынет меньше, средняя температура в приборе увеличится, что вызовет его повышенную теплоотдачу.

После завершения наладки в тепловом узле приступают к наладке отдельных стояков системы. В тупиковых системах регулировку производят кранами на стояках, дроссельными шайбами или балансировочными вентилями, установленными на стояках.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Принципиальные схемы паровых котлов и топливоподач: учебное пособие/ А.В. Волошенко, В.В. Медведев, И.П. Озерова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 100 с.
2. Котельные установки промышленных предприятий: учебник для вузов/ Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н.

Научный руководитель: Е.В. Иванова, к.ф.-м.н., ст. преподаватель кафедры АТП ЭНИН ТПУ.

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, РЕГУЛИРОВАНИЯ И ЗАЩИТЫ (САУРИЗ) ТУРБОПРИВОДА НОВО-КЕМЕРОВСКОЙ ТЭЦ

Д.В. Можевитин
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

Система автоматического управления, регулирования и защиты обеспечивает контроль и участвует в управлении работой турбонасоса.

Объектом регулирования является паровая турбина и питательный насос, вместе образующие единый агрегат – питательный турбо-насос.

Система автоматического управления, регулирования и защиты питательного турбонасоса (САУРиЗ) обеспечивает возможность регулирования работы питательного насоса за счет изменения частоты вращения питательного турбонасоса [1].

Целью выполненной работы являлось изучение метода внедрения системы автоматического управления регулирования и защиты турбонасоса.

В данной работе рассмотрен турбонасос типа ПЭ- 580-185.

Табл. 1. Основные технические характеристики питательного турбо-насоса

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
1	2	3
Подача	м ³ /ч	500
Номинальная частота вращения ротора	об/мин	2985
Абсолютное давление пара за турбиной	кгс/см ²	1,5-2,5
Мощность	МВт	3125
Масса	кг	10850
КПД	%	78

Паровая турбина, оснащенная стопорным и регулирующим клапанами, соединена муфтой с питательным насосом. Питательный насос оснащен вентилем рециркуляции и электрифицированной напорной задвижкой. Питательный турбонасос имеет единую систему маслоснабжения. В состав системы маслоснабжения входят три масляных насоса с электроприводами.

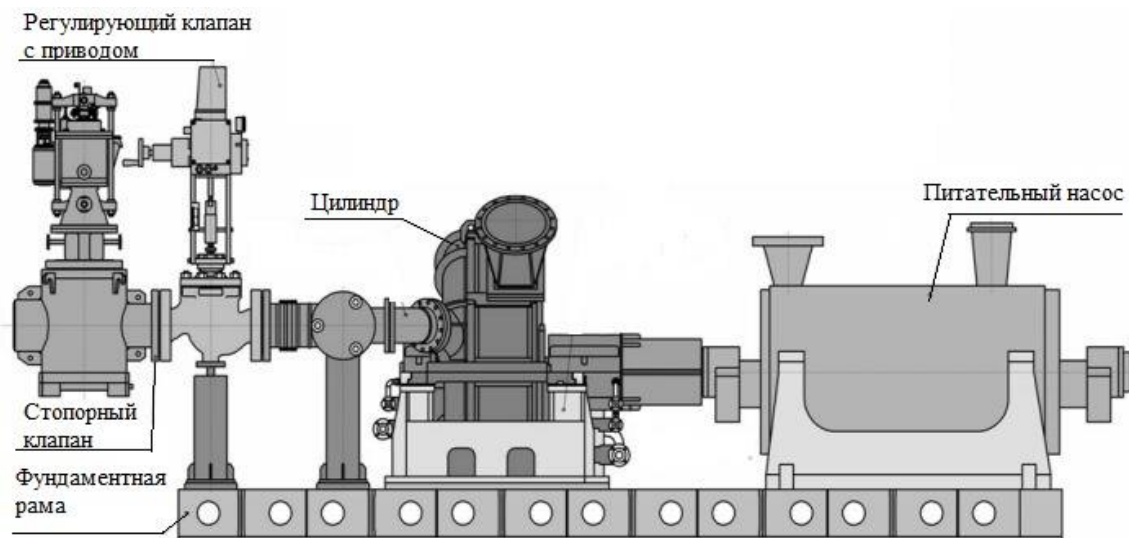


Рис. 1. Общий вид питательного турбонасоса

Стопорный клапан оснащен гидравлическим сервомотором (ССК) с двумя входами.

Регулирующий клапан оснащен гидравлическим сервомотором (СРК) с двумя входами.

Вентиль рециркуляции, которым оснащен питательный насос, установлен до обратного клапана питательного насоса и предназначен для предотвращения "запаривания" насоса при работе на закрытую напорную задвижку и при работе насоса на малых нагрузках.

Вентиль рециркуляции оснащен электроприводом (управляющие сигналы: открыть, закрыть, стоп) и двумя концевыми выключателями для сигнализации крайних положений вентиль рециркуляции. Управление вентилем рециркуляции может осуществляться как в автоматическом режиме, так и кнопками на мониторе станции оператора.

Автоматическое управление вентилем рециркуляции осуществляется по импульсу от перепада давления, создаваемого сужающим устройством, установленным на напорной линии насоса.

Напорная задвижка, которой также оснащен питательный насос, оснащена электроприводом (управляющие сигналы: открыть, закрыть, стоп) и двумя концевыми выключателями для сигнализации крайних положений напорной задвижки.

Управление напорной задвижкой осуществляется как в автоматическом режиме, так и кнопками на мониторе станции оператора.

САУРиЗ обеспечивает контроль и участвует в управление работой турбонасосом в следующих эксплуатационных режимах:

- проверка предпусковой готовности;
- пуск ПТН;
- вывод ПТН на рабочие обороты;

- ввод в сеть (питательного трубопровода) питательного насоса;
- режим нормальной эксплуатации;
- перевод ПТН в режим холостого хода при отключении насоса от сети питательного трубопровода (режим рециркуляции);
- режим останова (как нормального, так и аварийного).

САУРиЗ питательного турбонасоса обеспечивает выполнение следующих задач, которые можно разделить на группы:

- регулирование турбонасоса;
- противоаварийная защита;
- управление исполнительными механизмами;
- информационные функции, интерфейс оператора.

Основой САУРиЗ является программно-технический комплекс, базирующийся на оборудовании цифровой системы управления.

Структурная схема САУРиЗ имеет иерархическую структуру, включающую в себя три уровня:

- нижний уровень - датчики технологических параметров и исполнительные механизмы;
- средний уровень - микропроцессорная система управления (контроллер), обеспечивающая выполнение функций сбора, первичной обработки входных сигналов, логику технологических защит и регулирования.
- верхний уровень - обеспечивающий реализацию функций отображения информации, дистанционного управления регулирующими клапанами, задвижками, механизмами.

В состав ПТК входят следующие технические средства:

- Дублированный контроллер Siemens S7-400H;
- Станции ввода/вывода ET200M;
- Модули ввода/вывода;
- Специализированные модули контроллера связи (коммуникационные процессоры);
- Сетевые средства связи сети Industrial Ethernet (коммутаторы Scalance X208);
- Стабилизированные блоки питания 220/24В;
- Модули резервирования блоков питания;
- Стандартный кабель для Profibus;
- Стандартный ITP кабель для Industrial Ethernet.

Общеизвестны преимущества турбопривода питательного насоса для блоков большой мощности. На блоках меньшей мощности с параметрами пара 140 ата используют питательные насосы типа ПЭ-380-185/200, ПЭ- 500-180 и ПЭ-580-185 с электроприводом.

Эффективность использования в качестве привода указанных типов насосов турбопривода была не очевидна. Однако в настоящий момент существует фактор, который кардинально меняет подход в оценке эффективности использования турбопривода для небольших мощностей питательных насосов.

Для ТЭЦ с параметрами пара 140 ата характерно наличие турбин типа ПТ и Р для выработки пара 13 ата на производственные нужды сторонних потребителей.

В настоящее время, как правило, из-за снижения потребности в производственном паре 13 ата турбины типа ПТ и Р недогружены, а потребности в отпуске тепла возрастают настолько, что вынуждены покрываться за счет пиковых источников [2].

В этой связи, при решении проблемы увеличения тепловой нагрузки ТЭЦ целесообразно использовать взамен электропривода питательного насоса турбину, пар на которую будет поступать из коллектора 13 ата, а отработанный пар подаваться в теплофикационный коллектор 1,2-2,5 ата.

Такое решение экономически выгодно, так как, помимо дополнительной выработки электроэнергии (за счет загрузки пара производственного отбора и снижения потребления электроэнергии на собственные нужды - в результате замены электропривода питательных насосов на турбопривод), ТЭЦ получает возможность за счет отработанного пара приводных турбин насосов отпускать дополнительное количество тепла внешним потребителям.

Именно такой подход должен быть в оценке эффективности турбопривода питательного насоса на ТЭЦ с начальными параметрами пара 140 ата. Турбопривод также позволяет наиболее экономично регулировать производительность питательного насоса за счет изменения числа оборотов ротора.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Рабочий проект «Внедрение системы автоматического управления, регулирования и защиты (САУРиЗ) турбопривода Ново-Кемеровской ТЭЦ».
2. Трухний А. Д., Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки : учебное пособие для вузов / А. Д. Трухний, Б. В. Ломакин. — Москва: Изд-во МЭИ, 2002. — 539 с.

Научный руководитель: Е.В. Иванова, к.ф.-м.н., ст. преподаватель кафедры АТП ЭНИН ТПУ.

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РОЗЖИГА ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ ТИПА ПТВМ-50

П.В. Репин

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

Котлы водогрейные типа ПТВМ-50 производства Бийского котельного завода, служат для получения горячей воды с температурой 150 °С в отдельно стоящих котельных, которая используется в системах отопления, горячего водоснабжения (ГВС) бытового и промышленного назначения, а также на ТЭЦ. Котлы ПТВМ-50 могут эксплуатироваться в основном режиме и в пиковом режиме (для подогрева сетевой воды) соответственно с температурами от 70 до 150 °С, и от 110 до 150 °С. Котлы имеют башенную компоновку: т.е. над вертикальной топочной камерой расположена конвективная поверхность нагрева. Топочная камера экранирована трубами 60х3 мм. Конвективная поверхность нагрева котла ПТВМ-50, состоящая из четырех пакетов, набирается из U-образных ширм из труб 28х3 мм. Боковые стенки конвективного газохода закрывают трубами 83:3,5 с шагом 128 мм и эти стенки являются одновременно стояками конвективных полусекций. Трубные системы котлов подвешиваются к каркасу за верхние коллекторы и свободно расширяются вниз. Котел ПТВМ-50 оборудован 12 газомазутными горелками МГМГ-6 по шесть с каждой стороны. Основные характеристики приведены в таблице 1 [1].

Табл. 1. Основные характеристики котла ПТВМ-50

Технические характеристики	Значение
Теплопроизводительность номинальная, МВт	58,2
Вид топлива	газ, мазут
Давление воды на входе в котел, не более, Мпа	1,6
Давление воды на выходе из котла, не менее, МПа	1,0
Температура воды на входе, °С (основной/пиковый)	70/110
Температура воды на выходе, °С (основной/пиковый)	150
Гидравлическое сопротивление, Мпа	0,25

Технические характеристики	Значение
Диапазон регулирования теплопроизводительности по отношению к номинальной, %	30-100
Расход воды, т/ч, (основной/пиковый)	618/1230
Удельный расход условного топлива (расчетный), м ³ /МВт*ч	132
Средний срок службы до списания, лет, не менее (при средней продолжительности работы котла в год с номинальной теплопроизводительностью – 3000 ч.)	20 лет
КПД котла, %, не менее	92,8

Автоматический розжиг выполняется с помощью запально-защитного устройству (ЗЗУ), предназначенного для автоматического или дистанционного розжига горелок, работающих на жидком или газообразном топливах. Входящий в комплект управляющий прибор 10 (автомат контроля пламени (АКП)) с датчиком осуществляет контроль за наличием факела в топке (рис. 1). Управляющий импульс 1, поступающий в схему ЗЗУ от АКП одновременно подает напряжение на высоковольтный трансформатор 8 и открывает электрозапальник. Образуемое высокое напряжение поступает на центральный электрод запальника. Между корпусом запальника и центральным электродом образуется искра, которая воспламеняет газ. Импульс от появившегося факела передается от фотодатчика 11 (рис. 2) на управляющий прибор АКП, где поступивший сигнал усиливается, в результате срабатывает промежуточное реле 9 управляющего прибора. Сигнал используется как разрешение на выполнение следующей операции растопки. т.е. на розжиг основной горелки 3 [2,3].

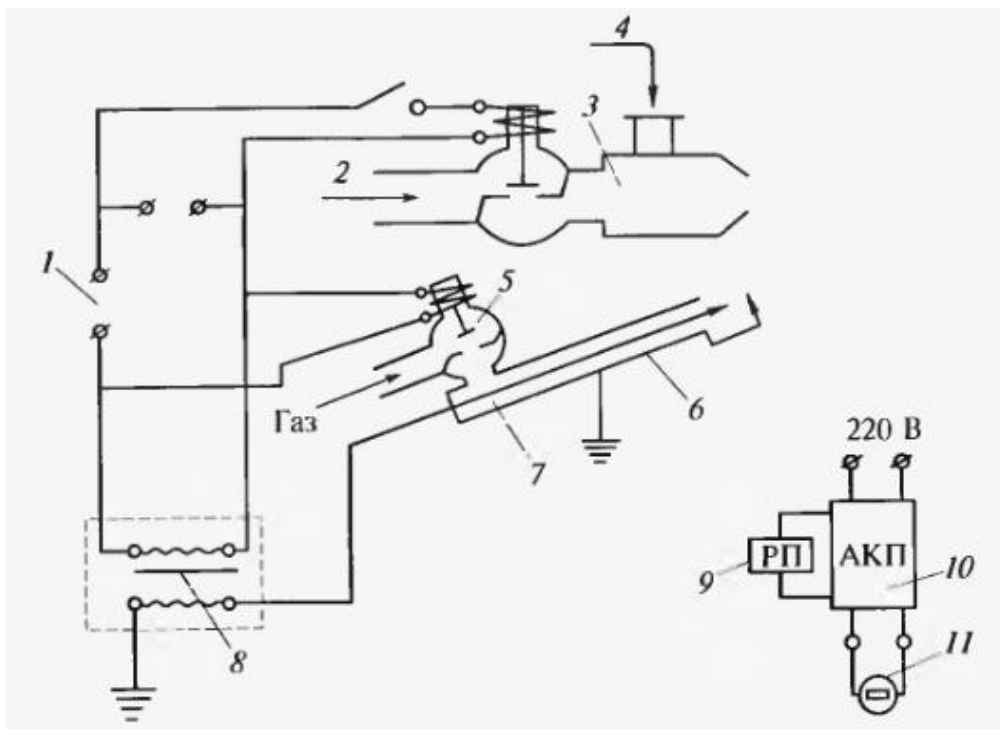


Рис. 1. Принципиальная схема (33У): 1 - управляющий импульс от автомата контроля пламени горелки (АКП); 2 - подача топлива в основную горелку; 3- основная горелка; 4 - подача воздуха в основную горелку; 5 - электромагнитный вентиль; 6 – газовая линия запальника; 7 - центральный (высоковольтный) электрод; 8 - высоковольтный трансформатор; 9 - промежуточное реле РП; 10 - управляющий прибор АКП; 11- фотодатчик.

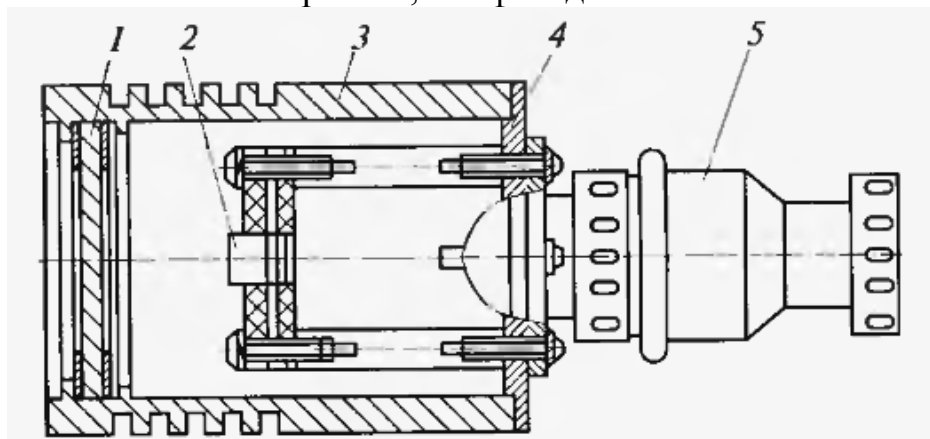


Рис. 2. Принципиальная схема фотодатчика: 1 – стекло; 2 – фоторезистор; 3 - корпус; 4 – крышка; 5 - штепсельный разъём.

Применение системы автоматического розжига горелок водогрейного котла типа ПТВМ-50 позволит минимизировать действия оператора котла в переходных режимах работы, при этом обеспечивается плавный розжиг котла, без «хлопков». Кроме того, осуществляется постоянный контроль за факелом основной горелки котла и в случае

ее погосания выполняет немедленное прекращение подачи топлива к котлу при продолжающейся подаче воздуха.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Номенклатурный каталог – Котлы водогрейные КВ-ГМ, ПТВМ, КВ-Р, 38 с.
2. Е.Б. Столпнер «Справочник эксплуатационника газифицированных котельных». – Москва: Изд-во Издательский центр «Недра» Ленинградское отделение, 1988.
3. Б.А. Соколов «Котельные установки и их эксплуатация». – Москва: Изд-во Издательское отделение «Академия», 2005. – 432 с.
4. Исаков А.В. Опыт автоматизации котлов ПТВМ-30М // Новости теплоснабжения. – 2011. – № 3 (127). – С. 26–29.

Научный руководитель: И.П. Озерова, к.т.н., доцент каф. АТП ЭНИН ТПУ.

OIL PUMPING STATION SMART FUZZY CONTROLLERS DEVELOPMENT WITH DISCRETE TERMS SET

Artur Sagdatullin
Almetyevsk State Oil Institute

Abstract. An attempt has been made to explain to the scientific and technical establishment the fact that the fuzzy controllers with input/output parameters represented by set of precise terms automate control objects, whose operative algorithm is presented verbally as a unique experience of experts in the domain, in simpler way, with higher speed, slighter error and less costs as compared with the standard fuzzy controllers.

Introduction. It is known [1] that it is most acceptable to automate complex and nonlinear high order control objects in which the processes can only be described verbally using standard fuzzy controllers (SFC). This viewpoint has long been considered as having no alternative at all. However, in the course of SFC application they began to show more apparently their shortcomings such as the redundant structure, a long response time and gross error. Therefore, fuzzy control turned out to be unacceptable in the control systems for high speed technological processes (like production of explosives) and precise ones (like numerically controlled machine tools, robotics), as well as for inertial objects with prolonged pure time delay

(calcination and reagents heating furnaces, reactors, etc.) For these same reasons, there are big problems in the synthesis of multidimensional SFC (MSFC).

Theory and implementation. The SFC simulation approach which seems to be particularly contradictory in simulating dynamic processes using the operations of differentiation and integration. It would seem that the approval of the SFC use for automation of complex nonlinear high-order objects having no precise or adequate mathematical models utterly eliminates using the above mentioned operations in their structure. Nevertheless, in many SFC [2], the fuzzifiers inputs are fed in addition to the mismatch (error) function its first derivative and integral, although in the verbal description of the control objects a mismatch itself is represented in the verbal form. This inadequacy (to both differentiate and integrate the verbal model of the function is unfeasible) in our opinion is the main cause of challenge (sometimes insurmountable) arising in debugging of the SFCs used for multiple objects control. Analysis of the behavior of professionals in control systems shows that in debugging and maintenance of control systems, they tend to operate with intervals of the control variables change found in the practical implementation in which there is an optimum process control take place. And within these intervals for an expert all values of used variable have the same priority or in terms of fuzzy logic – the same membership function, i.e. the mentioned intervals are referred to terms with the rectangular shape of membership functions, which will be called precise terms. This implies that for the implementation of fuzzy control paradigm precise terms are more acceptable.

To eliminate these drawbacks of standard SFC it is offered input and output SFC variables to interpret by the set of non-overlapping precise terms $T_{1p} - T_{np}$ (Fig. 2) [2]. As a result, SFC transforms to a fuzzy controller with input/output parameters represented by set of precise terms (FCwPT), whereas the terms $T_{1p} \div T_{np}$ having a rectangular shape of membership function (within each precise term $\mu(p) = 1$), by their nature are transformed into logical arguments of binary logic. This is expressed mathematically by the following relation:

$$\mu_{ti}(p) = \begin{cases} 1, & \text{if } p_{i-1} \leq p < p_i, p \in T_{ip}; \\ 0, & \text{if } p_{i-1} > p \geq p_i, p \notin T_{ip}, \end{cases} \quad (1)$$

Where $i = \overline{(1 \div n)}$ – the number of the parameter p term. For example, for a term T_{1p} $i = 1$, $\mu_{t1p}(p) = 1$ for $0 \leq p < p_1$. In all other cases, $\mu_{ti}(p) = 0$.

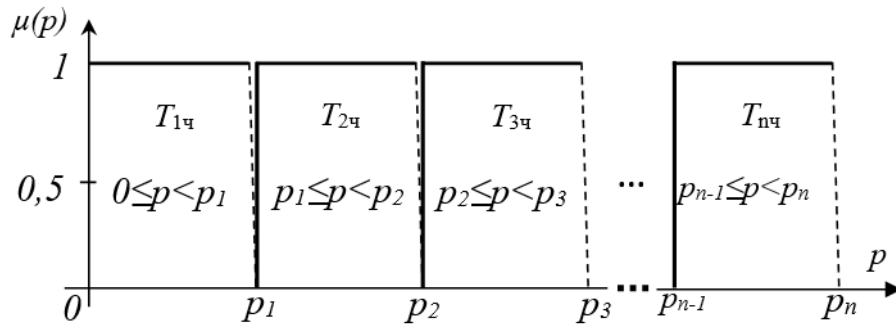


Fig. 1. Interpretation of the parameter p by the set of n precise terms

Within such a term the current value of the parameter p is located, expressed in a precise format. It is obvious that it cannot simultaneously have multiple meanings, as it contradicts common sense. There is another no less important conclusion which follows from the uniqueness of the precise term with a single value (logical) in the term set, interpreting the FCwPT input and output variables: in the production rules system of a fuzzy controller with precise terms at any instant only one rule antecedent is equal to the logical unit.

Block diagram is developed based on the multidimensional fuzzy controller with interval uncertainty operative algorithm [3] (Fig. 2), consisting of four main blocks: F – fuzzifier, SDIO MCO – scanning of discrete input ($X_1 \div X_s$) and output ($Y_1 \div Y_k$) variables of the multiple control object, where s and k – their number respectively; SSPE – situational subprogram execution; MCO – multiple control object with n controlled parameters. Fuzzifier F has inputs of presetting actions ($Z_1 \div Z_n$) and feedbacks ($P_1 \div P_n$). Its output is connected to the SSPE MCO block, to whose inputs discrete input ($X_1 \div X_s$) and output ($Y_1 \div Y_k$) variables of the control object are fed. The SSPE MCO block output is connected to the SSPE block input, whose output signals ($U_1 \div U_{1n}$) in an analog (precise) format is submitted to the actuator of the multiple control object.

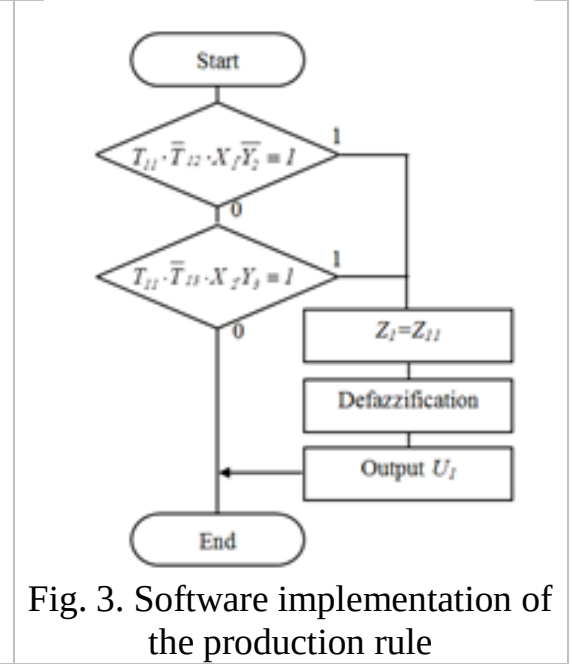
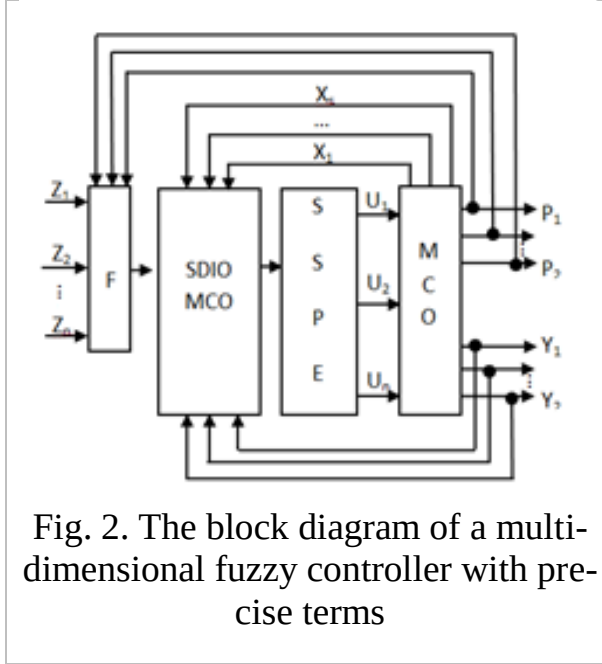


Fig. 3. shows a logical diagram of the algorithm, which should be performed when the antecedent $\overline{T_{12}} \cdot X_1 \cdot \overline{Y_2} + \overline{T_{13}} \cdot X_2 \cdot \overline{Y_3} \cdot T_{11}$ of production rule is equal to the logical unit:

$$\text{IF } (\overline{T_{12}} \cdot X_1 \cdot \overline{Y_2} + \overline{T_{13}} \cdot X_2 \cdot \overline{Y_3}) \cdot T_{11} = 1, \text{ THEN } Z_1 = Z_{11}, \quad (2)$$

where T_{12} , T_{13} – the second and third precise terms of the MFCwPT first loop, X_1 , X_2 are discrete inputs, and Y_2 and Y_3 are output variables the of the multiple control object.

Experimental results. The offered logic controller introduced into the distiller control system [4]. Fig. 4 shows the time dependence of the liquid pH at the distiller outlet without using (solid line) and using MFCwPT with compensation of mutual impact of control loops (dashed line). From Fig. 4 it follows that the use of multidimensional fuzzy controller with input/output parameters represented by set of precise terms has reduced the average control error by 42%, and liquid pH overshoot on the distiller outlet is by 57%, which improves product quality and reduce energy consumption by 12 and 18 percent respectively.

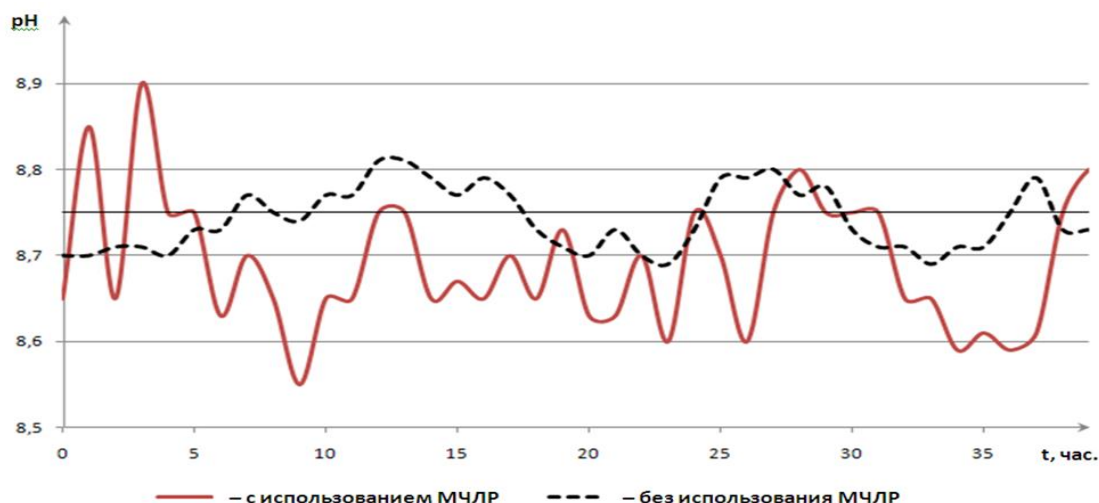


Fig. 4. Trends of the liquid pH variation in time at the distiller outlet

Conclusions.

1. In intelligent systems for process control, presented by a verbal model, fuzzy controllers with input/output parameters represented by set of precise terms are an adequate alternative to fuzzy logic controllers.
2. Compared with standard fuzzy controllers in multidimensional fuzzy controllers with input/output parameters represented by set of precise terms, due to their slight error and high speed, mutual impact of the control loops can be compensate more effectively.
3. Precise terms binary logical nature allows in the production rules antecedents of a multidimensional fuzzy controller with interval uncertainty use not only the input variables terms but also output ones, as well as input and output control object discrete variables.

REFERENCES:

1. Gostev V.I. Design of fuzzy controllers for automatic control systems. – St. Petersburg.: BHV-Petersburg, 2011 – 411 p. Ill.
2. Muravyova E.A., Baimanov I.F., Kayasheva G.A. The fuzzy system of pH value control in electrolyte in chlorine manufacture via the electrolysis route // Automation, telemetry and communication in oil industry. – 2008. – №1. – p. 10-13.
3. Muravyov E.A., Kayashev A.I., Gabitov R.F. The precise logic controller for process control. RF patent № 2445669. Published on: 3/20/2012. Bulletin. Number 8.
4. Leonenkov A.V. Fuzzy Simulation in MATLAB and Fuzzy TECH.-SPb.: BHV-Petersburg, 2005. – 736p. Demenkov N.P. Fuzzy control

in engineering systems: Teaching guide.-M.: MGTU named after N.E. Bauman, 2005. – 200 p.

ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ОТОПЛЕНИЯ

В.А. Степченко

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

Цель Программы

Настоящая Программа разработана для определения порядка проведения и объема пусконаладочных работ, определения необходимых временных параметров системы автоматизации отопления.

Структура системы

Система состоит из автоматизированного теплового пункта, где установлены насосы циркуляционные фланцевые с мокрым ротором MAGNA3 80-120F, таймер переключения насосов с суточным диапазоном TS 3/T, седельный регулирующий трехходовой фланцевый клапан VF-3, электропривод для клапана AMV-323, погодный компенсатор серии ECL Comfort 210 с электронным ключом A214, датчик температуры наружного воздуха ESMT, датчики погруженные температурные ESMU.

Сигналы состояния автоматики теплового пункта отображаются на монохромном дисплее погодного компенсатора ECL Comfort 210 (контроллера). Показания расходомеров и термопреобразователей сопротивления отображаются на дисплее вычислителя количества теплоты ВКТ.

Схема работы

Предусмотрено 3 режима работы автоматизированного теплового пункта:

1. Комфортный режим;
2. Режим работы по графику;
3. Ручной режим.

В комфортном режиме автоматика теплового пункта поддерживает необходимый, заданный в погодном компенсаторе, отопительный график круглосуточно. Погодный компенсатор ECL Comfort 210 определяет и регулирует температуру подаваемого теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха. Этот график определяется по 6 координатным точкам. Заданная температура подачи назначается по 6 определенным значениям температуры наружного

воздуха. Контроллер определяет температуру наружного воздуха по датчику температуры наружного воздуха ESMT, температуру теплоносителя в подающем трубопроводе и температуру теплоносителя в обратном трубопроводе, с помощью температурных датчиков ESMU, и сравнивает значения с заданным отопительным графиком:

1. если значение теплоносителя в подающем трубопроводе превышает установленные значения на $2-3^{\circ}\text{C}$, то формируется сигнал на электропривод для клапана AMV-423 на закрытие клапана системы отопления;
2. если значение теплоносителя в подающем трубопроводе меньше установленного значения на $2-3^{\circ}\text{C}$, то формируется сигнал на электропривод для клапана AMV-423 на открытие клапана системы отопления;
3. если значение теплоносителя в подающем трубопроводе не превышает установленного значения в отопительном графике на $2-3^{\circ}\text{C}$, то сигнал не формируется и погодный компенсатор продолжает замеры температуры и сопоставление их с температурным отопительным графиком.

В режиме работы по графику автомата теплого пункта поддерживает необходимый, заданный в погодном компенсаторе, отопительный график. График состоит из семидневной недели и показывает время начала и окончания комфортного периода для каждого дня недели. Максимально на один день допускается задать до трех комфортных периодов. Т.е. контроллер ECL Comfort 210 определяет и регулирует температуру подаваемого теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха. Этот график определяется по 6 координатным точкам. Заданная температура подачи назначается по 6 определенным значениям температуры наружного воздуха. В остальном принцип работы погодного компенсатора повторяет комфортный режим работы.

В ручном режиме работы погодный компенсатор ECL Comfort 210 не управляет никакими процессами регулировки тепловой автоматики. Контроллер производит все замеры температурных датчиков ESMT и ESMU и выводит их на монохромный дисплей. Регулировка температуры подающего теплоносителя осуществляется с помощью вращения поворотной ручки на электроприводе AMV-423

Порядок проведения испытаний

Испытания проводятся в 2 этапа:

Первый этап испытаний.

На первом этапе испытаний проверяется:

- Замеры контролером ECL Comfort 210, с помощью температурных датчиков ESMT и ESMU, текущих температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах и температуры наружного воздуха.
- Включение и опробование работы циркуляционных насосов.
- Срабатывание таймера переключения насосов.
- Управление седельным регулирующим трехходовым клапаном VF-3 с помощью электропривода AMV-323 (закрытие-открытие в ручном режиме).
- Управление седельным регулирующим трехходовым клапаном VF-3 с помощью электропривода AMV-323 (закрытие-открытие в комфортном режиме).

На этом этапе испытаний определяется:

Время, необходимое для полного открывания и закрывания регулирующего трехходового клапана VF-3.

Полученные результаты используются для корректировки управления электроприводом AMV-323.

Второй этап испытаний (Комплексное опробование)

Для проведения второго этапа испытаний Заказчик обеспечивает:

1. Подачу теплоносителя до задвижки теплового автоматизированного узла;
2. Подачу электропитания на шкаф управления тепловой автоматикой;

Второй этап испытаний проводится в комфортном режиме работы погодного компенсатора ECL Comfort 210.

Исходное состояние технологической части тепловой автоматики:

Технологическая часть:

1. Теплоноситель подан в систему;
2. Регулирующий трехходовой клапан полностью открыт;
3. Шкаф управления тепловой автоматикой подключен к электропитанию по постоянной схеме.

После включения контролера ECL Comfort 210:

Загорается монохромный дисплей;

На дисплее отображается статусный экран 4, на котором отображается следующая информация:

- режим работы регулятора (знак солнца – комфортный режим);
- состояние регулирующих элементов;

- текущая температура подающего теплоносителя в °С, требуемая температура теплоносителя (отображается в скобках после температуры подающего теплоносителя);
- температура обратного теплоносителя в °С, температура ограничения (отображается в скобках после температуры обратного теплоносителя);

Температура подающего теплоносителя превышает требуемую (заданную)

Индикатор состояния регулирующего клапана показывает его закрытие;

внешние признаки - поворотная ручка на электроприводе AMV-323 начинает вращаться по часовой стрелке (что указывает на закрытие клапана)

Температура подающего теплоносителя в пределах заданной

Индикатор состояния регулирующего клапана показывает состояние покоя;

внешние признаки – нет

Температура подающего теплоносителя меньше требуемой (заданной)

Индикатор состояния регулирующего клапана показывает его открытие;

внешние признаки - поворотная ручка на электроприводе AMV-423 начинает вращаться против часовой стрелки (что указывает на открытие клапана)

Температура обратного теплоносителя превышает заданную температуру ограничения

Индикатор состояния регулирующего клапана показывает его закрытие;

внешние признаки - поворотная ручка на электроприводе AMV-323 начинает вращаться по часовой стрелке (что указывает на закрытие клапана)

Температура обратного теплоносителя в пределах заданного ограничения

Индикатор состояния регулирующего клапана показывает состояние покоя;

внешние признаки – нет

Температура обратного теплоносителя меньше заданной температуры ограничения

Индикатор состояния регулирующего клапана показывает его открытие;

внешние признаки - поворотная ручка на электроприводе AMV-423 начинает вращаться против часовой стрелки (что указывает на открытие клапана)

Циркуляционные насосы включены, один находится в работе;

Таймер переключения насосов переведен, путем вращения поворотного циферблата, на время срабатывания переключения насосов.

При срабатывании таймера насос находившийся в работе – останавливается и переходит в режим ожидания, второй насос переходит из режима ожидания в рабочий режим.

Контролируемые параметры:

1. Температура наружного воздуха;
2. Температура подающего теплоносителя.
3. Температура обратного теплоносителя.
4. Время переключения циркуляционных насосов.

В случае отработки системы автоматики по заданному алгоритму, система считается прошедшей комплексное опробование и передается Заказчику в опытную эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Технические средства автоматизации и управления/ Белов М.П.

Научный руководитель: Е.В. Иванова, к.ф.-м.н., ст. преподаватель кафедры АТП ЭНИН ТПУ.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А.А. Таханова¹, Е.В. Кравченко²

^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, ¹группа 5БМ4Д

В работе любого объекта всегда являлось важным обеспечение надежности и безопасности материалов, элементов, составляющих объект. Сбои в работе объекта могут привести к ухудшению качества работы и производимой продукции, к прекращению работы объекта и также к возникновению аварий на объекте. Электроконтактные соединения присутствуют во многих технических системах, в том числе и в теплотехнической, и являются одним из важных элементов.

Целью работы является исследование надежности, прогнозирование остаточного ресурса электроконтактных соединений в рабочих

интервалах температур. Определены следующие задачи исследования: проведение серий экспериментов по измерению температуры контактных соединений в рабочих интервалах температур; разработка математической модели для прогнозирования остаточного ресурса контактного соединения. Проверка адекватности прогнозирования предполагается осуществить с помощью уже существующей программной реализации системы прогнозирования остаточного ресурса контактных соединений.

Объектом исследования являются контактные соединения (коммутационные устройства).

Описание экспериментальной установки и ее устройств

Экспериментальная установка представлена в виде автоматизированной системы, состоящей из климатической камеры, нагревательного элемента (печи), датчиков температуры и влажности, блока питания и контроллера фирмы Siemens (центрального процессора, модуля аналоговых входов), нормирующего преобразователя температуры и влажности, реле, трансформатора и объекта исследования.

В качестве центрального устройства разрабатываемой системы выбран программируемый логический контроллер Simatic S7-200 (CPU 222) фирмы Siemens, предназначенный для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности. Изображение контроллера приведено на рисунке 1.



Рис. 1. ПЛК Simatic S7-200 (вид спереди)

Программирование контроллера осуществляется с помощью ПК. Связь контроллера с ПК осуществляется с помощью PPI (Point To Point Interface) кабеля.

Согласно техническому заданию предусматривается использование датчиков температуры сигналы с которых имеют аналоговую величину.

Контроллер имеет 8 дискретных входов и 6 дискретных выходов и имеет возможность подключения до 2 модулей расширения. Т.к. выходные сигналы с датчиков имеют аналоговый тип, есть необходи-

мость в использовании дополнительного модуля аналоговых входов [4].

Модуль аналоговых сигналов выполняет аналого-цифровое преобразование входных сигналов от датчиков. Результат преобразования передается на контроллер. В изготавливаемой установке в качестве такого модуля выступает ЕМ 231 фирмы Siemens. Изображение модуля представлено на рисунке 2.



Рис. 2. Модуль аналоговых входов ЕМ 231 (вид спереди)

Модуль соединяется с ПЛК посредством специальной внутренней шины.

Данный модуль имеет 4 аналоговых входа и принимает сигналы в достаточно широких пределах измерений: $0...10\text{ В}$, $0...5\text{ В}$, $0...20\text{ мА}$, $\pm 5\text{ В}$, $\pm 2,5\text{ В}$ [5]. Поэтому возникает необходимость в использовании нормирующего преобразователя.

В качестве нормирующего преобразователя используется преобразователь 2000Н-22 компании ООО "Теплоприбор-Сенсор" [6]. Изображение преобразователя представлено на рисунке 3.



Рис. 3. Нормирующий преобразователь 2000Н-22 (вид спереди)

Данный преобразователь имеет выходной сигнал $4...20\text{ мА}$, который попадает в диапазон входных сигналов $0...20\text{ мА}$ модуля аналоговых входов ЕМ 231.

В качестве датчика температуры используется малогабаритный термопреобразователь сопротивления медный ТСМ 50М, который подключается к нормирующему преобразователю по 4-х проводной схеме.

Диапазон измерения датчика: от минус 50 до плюс 150°C [7].

Объектом управления является эмулятор печи ЭП10 фирмы ОВЕН (рис. 4).

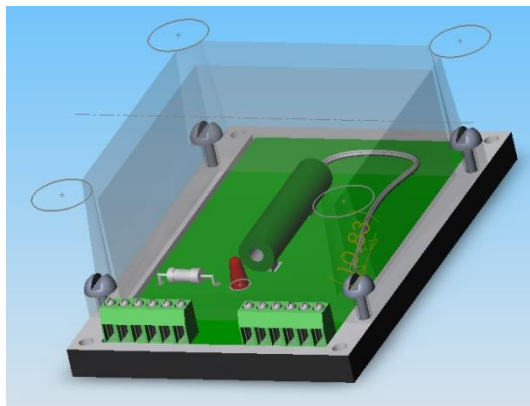


Рис. 4. 3D модель ЭП10

В качестве нагревательного элемента в эмуляторе выступает резистор мощностью 10 Вт со встроенным датчиком температуры ТСМ 50М [8].

Данный эмулятор работает от сети переменного тока 220 В. Управление происходит за счёт замыкания контактов цепи.

Для управления включением-отключением эмулятора необходимо электромагнитное реле, т.к. напряжение управляющего тока 24 В (дискретные выходы ПЛК), а напряжение коммутируемых контактов равно 220 В.

В качестве объекта экспериментов выступает соединение, контактные площадки которого выполнены из меди (рис. 5).

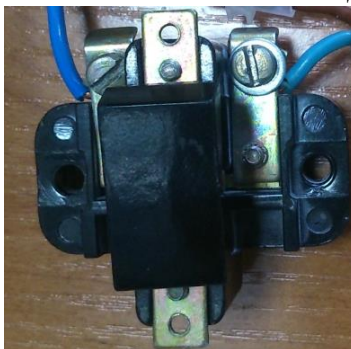


Рис. 5. Контактное соединение

Емкость термокамеры изготовлена из пенополистирола толщиной 38 мм и имеет форму прямоугольного параллелепипеда (рис. 6). Изнутри камера полностью покрыта глянцевой фольгой с целью улучшения теплоизоляции.

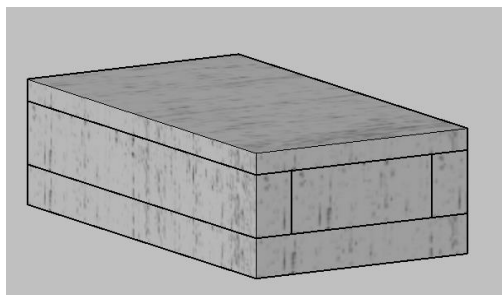


Рис. 6. Емкость в собранном виде

Автотрансформаторы предназначены для плавного регулирования напряжения переменного тока частотой 50-60 Гц при различных электротехнических работах. В данной работе используется автотрансформатор фирмы «Ресанта».



Рис. 7. Лабораторный трансформатор

Температура контактного соединения и сила тока, протекающая через контакт измерялись двумя мультиметрами (рис.8).



Рис. 8. Внешний вид мультиметров

С помощью SCADA системы производится задание уставки температуры в камере и визуализация результатов эксперимента.

Для разработки SCADA – системы выбрана программа Simple-Scada – это простая, бесплатная среда разработки SCADA-систем, обеспечивающая сбор, обработку, архивирование и визуализацию технологических процессов.

На рисунке 9 разработанная мнемосхема представлена в работе.

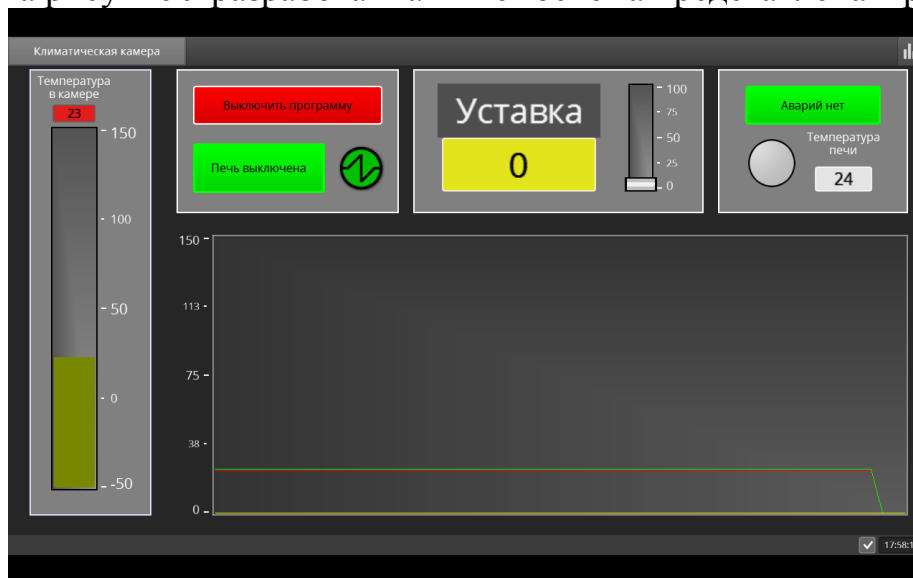


Рис. 9. Окно Simple Scada при работе системы

На рисунке 9 слева расположен индикатор температуры внутри климатической камеры. Вверху расположена панель индикаторов состояния и задания уставки, индикатор температуры печи и аварии. Внизу расположены линии трендов.

Проводится ряд экспериментов в первом опыте, когда объектом является первое контактное соединение при уставке 35 °С в камере. Через контакт протекает ток в 457 мА, к контакту подводится термо-электрический датчик температуры типа К.

Для прогнозирования остаточного ресурса в дальнейшем воспользуемся статистическим методом анализа временных рядов.

Результаты эксперимента

Табл. 1. Результаты эксперимента

Серия 1		Серия 2		Серия 3		Серия 4	
тк, °С	Вре-мя, мин	тк, °С	Время, мин	тк, °С	Время, мин	тк, °С	Время, мин
22	0	22	0	22	0	22	0
23	1	23	5	23	4	23	4
24	3	24	8	24	6	24	7
25	5	25	11	25	9	25	11
26	7	26	13	26	11	26	14
27	10	27	16	27	14	27	17

28	14	28	20	28	17	28	20
29	17	29	24	29	20	29	24
30	20	30	28	30	25	30	29
31	25	31	33	31	30	31	35
32	30	32	40	32	35	32	40
33	36	33	46	33	45	33	45
34	45	34	55	34	56	34	54
35	60	35	70	35	68	35	64

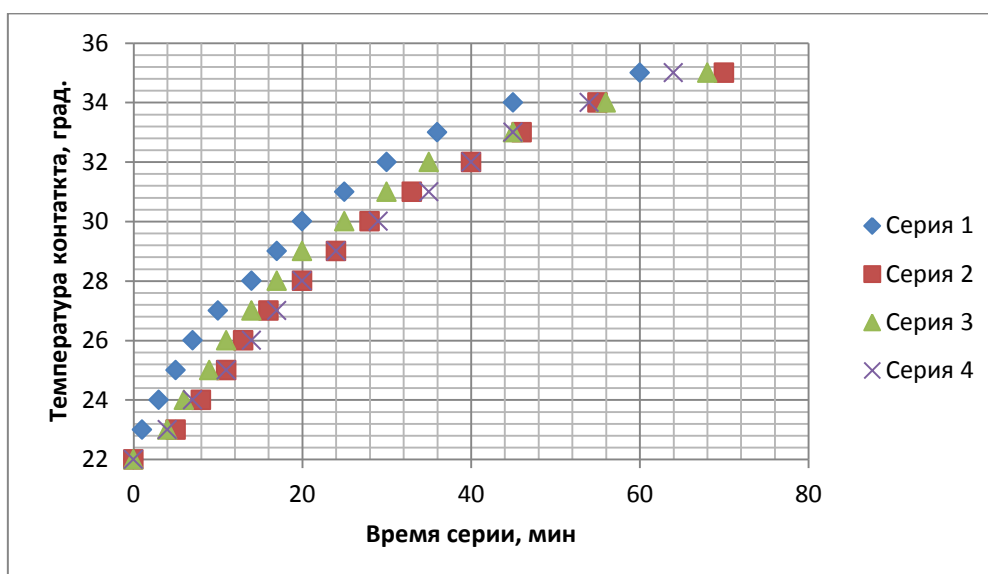


Рис. 10. Графическое представление результатов

По рисунку 10 видно, что температура контакта увеличивается с ростом температуры в камере. При установившейся температуре в камере температура контакта увеличивается до определенного значения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Федотов А.И., Грачева Е.И., Наумов О.В. Исследования показателей безотказности низковольтных коммутационных аппаратов электрических сетей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. №9-10. С. 73-80.
2. Измайлов В.В., Новоселова М.В., Наумов А.Е. Применение статических методов для прогнозирования остаточного ресурса электроконтактных соединений // Электротехника. 2008. №1. С. 51-56.
3. Любченко Е.А., Чуднова О.А. Планирование и организация эксперимента: Учебное пособие. Часть 1. – Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2010. – 156 с.

4. ПЛК S7-200 CPU 222. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.siemens.ru> свободный. – Загл. с экрана.
5. Модуль аналоговых вводов EM 231. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.siemens.ru> свободный. – Загл. с экрана.
6. Нормирующий преобразователь 2000H-22. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.trchel.ru> свободный. – Загл. с экрана.
7. Датчик ТПС малогабаритный ТСМ 50М. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.relsib.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
8. Эмулятор печи ЭП10. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.owen.ru> свободный. – Загл. с экрана.
9. Блок питания Sitop Smart. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.siemens.ru> свободный. – Загл. с экрана.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНЫМИ АГРЕГАТАМИ

Д.А. Чебочакова
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

Насосная станция представляет собой комплексную систему для перекачки жидкостей из одного места в другое, включает в себя здание и оборудование: насосные агрегаты (рабочие и резервные), трубопроводы и вспомогательные устройства [1].

Целью работы являлось изучение внедрения системы автоматического управления насосными агрегатами (СУНА).

СУНА предназначена для управления насосными агрегатами в режиме автоматического поддержания давления в напорном коллекторе на заданном уровне. С этой целью СУНА обеспечивает:

- ПИД-регулирование частоты питающего напряжения электродвигателей насосных агрегатов в зависимости от величины расхождения текущего давления от уставки;
- автоматическое подключение/отключение резервных насосных агрегатов;

- ввод/вывод насосных агрегатов из эксплуатации без потери давления;
- отработку нештатных, аварийных ситуаций.

Условно структуру СУНА можно разделить на три уровня:

1. нижний (полевой) уровень – уровень непосредственного управления насосными агрегатами;
2. средний уровень – уровень ПИД-регулятора. Шкаф насосной станции, информационные и управляющие датчики;
3. верхний уровень – информационный уровень. Центральный пульт управления, переход от внутренней управляющей цифровой сети ControllerLink (CLK) в информационную сеть завода Ethernet.

Основными элементами системы контроля и управления насосными агрегатами являются контроллеры фирмы Omron, расположенные в шкафу управления, в шкафу преобразователя частоты.

Контроллеры серии CJ1 предназначены для высокоскоростных задач, требующих высокой точности, надежности и многофункциональности.



Рис. 1. Контроллер Omron CJ1

Система, снабженная такими типами промышленных контроллеров обеспечивает:

- относительную простоту программирования и последующей эксплуатации;
- надежность в условиях промышленной среды;
- облегченную процедуру изменения программы;
- повышение быстродействия системы;
- упрощение процедуры модификации программы;
- дистанционное управление.

Нижний уровень состоит из шкафов управления и управляемых ими частотных регуляторов (Uz) расположенных в шкафах преобразователя частоты. Шкафы управления являются программно-логическими устройствами, которые обеспечивают:

- работу частотных регуляторов как в составе всего комплекса СУНА, так и автономно;
- управление задвижками, расположенными на напоре насосных агрегатов;
- работу местных пультов управления насосными агрегатами.

Средний уровень СУНА – шкаф насосной станции (ШНС), его информационные и управляющие датчики. Расположен ШНС непосредственно в здании насосной станции.

Шкаф ШНС, является центральным управляющим звеном СУНА и выполняет следующие функции:

- ПИД-регулятора (ПЛК ШНС-1), т.е. выдаёт значение частот для Uz шкафов ШПЧ. Значения вычисляются в зависимости от величины отклонения текущего давления на напоре от величины уставки;
- обрабатывает информацию от датчиков (расхода, давления, температуры, затопления машинного зала)
- при аварии управляющего датчика давления, производит автоматическое переключение ПИД-регулятора на резервный датчик, подключенный к ПЛК ШНС-2;
- дублирует центральный управляющий пульт СУНА. Дублирование выполняется на терминальной панели расположенной на дверце шкафа ШНС;
- связывает управляющей сетью ControllerLink все шкафы преобразователя частоты с собственными контроллерами и центральным пультом управления щита дежурных энергетиков;
- контролирует работу контроллеров СУНА. В случае отказа любого контроллера (ПЛК ШНС-1 или ПЛК ШНС-2) шкафа ШНС, на терминальной панели в области бегущей строки появляется сообщение о неисправности (аварии) соответствующего контроллера.

К достоинствам применения промышленной автоматики можно отнести:

1. оперативный и качественный сбор/ хранение информации о технологических процессах;
2. наличие локальных модулей связи в системе для обеспечения непрерывной передачи информации для обработки в центральном компьютере;

3. локальные микропроцессоры в каждом из звеньев цепи, позволяющие управлять оборудованием даже при временном сбое работы центрального пульта.

Проектирование систем управления занимает важное место в современных технологических системах. Плюсы совершенствования систем автоматического управления в промышленности могут быть велики. Это улучшение качества изделия, уменьшение потребления энергии, минимизацию максимальных затрат, повышение уровней безопасности и сокращение загрязнения окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Теплоэнергетика и теплоснабжение: сборник научных трудов научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки» УлГТУ. Выпуск 6. – Ульяновск, 2009. – 161 с.
2. Ким, Дмитрий Петрович.: Теория автоматического управления: учебник для вузов: в 2 т. / Д. П. Ким. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Физматлит, 2007. – 166 с.
3. Теория автоматического управления: Метод. указ. по выполн. курс. раб. для студентов специальности 220301.- Томск: Изд. ТПУ, 2009. – 12 с.

Научный руководитель: Д.О. Глушков, к.ф.-м.н., инженер-исследователь кафедры АТП ЭНИН ТПУ.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В ПАРОГЕНЕРАТОРЕ ТИПА ПГВ-440 НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС

О.С. Яшутина

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5БМ53

Атомная энергетика развивается стремительно. В настоящее время атомные электрические станции Российской Федерации вырабатывают порядка 17% от общего количества производимой электроэнергии. Сейчас в России на 10 действующих АЭС с общей мощностью 23 645 МВт эксплуатируется 33 энергоблока, из них 17 водородных реакторов под давлением — 6 ВВЭР-440, 11 ВВЭР-1000; 15

кипящих канальных реакторов — РБМК-1000 и 4 ЭГП-611; 1 реактор на быстрых нейтронах — БН-600.

Нововоронежская АЭС функционирует с 1964 года. Она обеспечивает около 85% потребности Воронежской области в электрической энергии, до 90 % – потребности г. Нововоронежа в тепле.

В настоящее время в эксплуатации станции находятся три энергоблока. Энергоблок № 3 с реактором типа ВВЭР-440 был построен и введен в эксплуатацию в 1971 году.

Срок службы оборудования был установлен до 2015 года. Изначально планировалась вывести энергоблок из эксплуатации, но было принято решение продлить срок эксплуатации до 2025 года. В связи, с чем возникла необходимость провести модернизацию, в первую очередь технических средств автоматизации.

Нововоронежская АЭС полностью снабжает Воронежскую область электрической энергией, в особенности г. Нововоронеж. Это первая АЭС России с водо-водяными энергетическими реакторами (ВВЭР).

Существенным элементом АЭС с реакторами ВВЭР являются парогенераторы (ПГ), выдающие пар на турбогенератор для выработки электроэнергии.

В настоящее время на Нововоронежской АЭС в третьем и четвертом энергоблоках с ВВЭР-440 применяются парогенераторы типа ПГВ-440.

Парогенератор ПГВ-440 представляет собой рекуперативный теплообменный аппарат с погруженной поверхностью теплообмена, выполненной из горизонтально расположенных U-образных теплообменных змеевиков. Змеевики развальцованы и приварены к входному и выходному коллекторам теплоносителя, расположенным в центральной части корпуса. Питательная вода подводится в корпус парогенератора через трубку, которая расположена выше уровня воды. Подогрев, сепарация, осушка и испарение пара осуществляются внутри корпуса [1].

Основной задачей питания парогенератора является материальный баланс между подачей питательной воды, продувкой и отводом пара. Уровень воды в ПГ является необходимым параметром, характеризующим материальный баланс.

Поддержание уровня воды в ПГ в стабильности является важным условием надежной и безопасной работы всего энергоблока. Так как превышение уровня воды номинального значения приведет к затоплению и отказу работы сепарационных устройств, произойдет за-

брос воды в турбину, а снижение уровня может привести к повреждениям поверхностей нагрева.

На уровень парогенератора оказывают влияние следующие параметры: изменение расхода пара; изменение расхода продувочной воды; изменение температуры питательной воды; изменение расхода питательной воды.

Для построения АСР уровня в парогенераторе лучше использовать трехимпульсную систему регулирования, потому что она дает оптимальное качество регулирования.

В 3-х импульсной схеме сигналы по расходу питательной воды, расходу пара и уровню воды в парогенераторе, которые измеряются датчиками ИПГ, ИПД, ИПЛ, используются в качестве импульсов. При изменении одной из измеряемых величин регулятор Р вырабатывает сигнал, который изменяет расход питательной воды в сторону сохранения материального баланса и который поддерживает заданное значение уровня воды.

Были разработаны структурная, функциональная, принципиальная схемы и щит управления и автоматизации автоматической системы регулирования уровня воды в парогенераторе типа ПГВ-440. Составлена заказная спецификация выбранного оборудования, проведено метрологическое обоснование его выбора.

Функциональная схема автоматической системы регулирования уровня воды в парогенераторе типа ПГВ-440 представлена на рисунке 1.

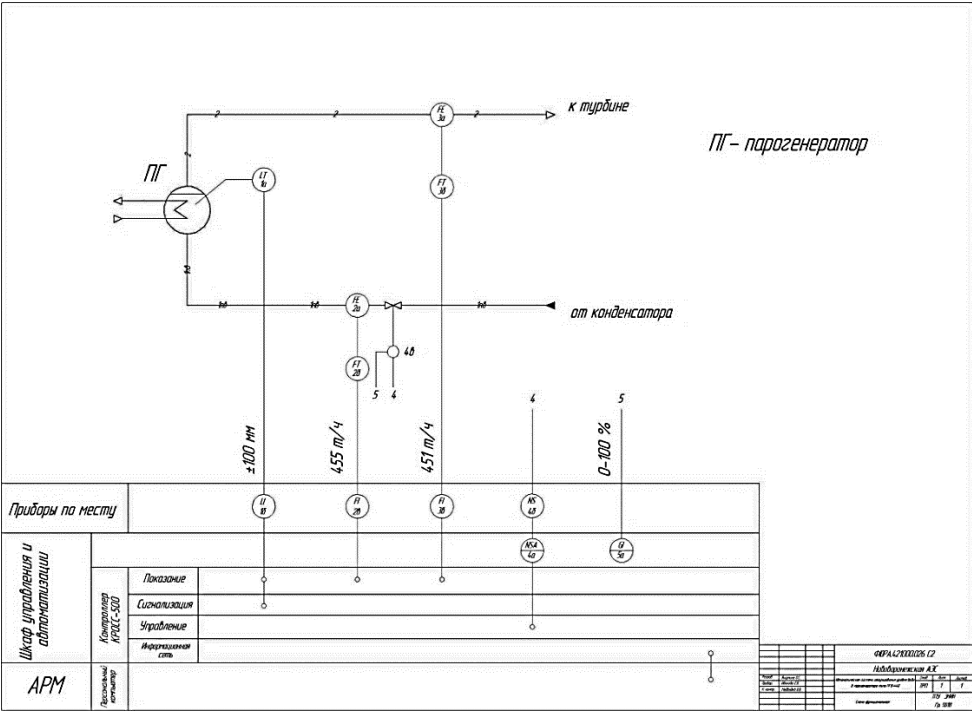


Рис. 1. Функциональная схема АСР уровня воды в парогенераторе

Уровень воды в парогенераторе измеряется гидростатическим дифманометром 1б в комплекте с уравнительным сосудом 1а. Расходы питательной воды и пара измеряются расходомерами переменного перепада давления, для чего в трубопроводе установлены диафрагмы 2а, 3а. Перепад давления до и после диафрагм передается через уравнительный 2б и конденсационный сосуды 3б на дифманометры 2в, 3в. Затем унифицированные сигналы с дифманометров 1в, 2в, 3в поступают на входные клеммы контроллера. Контроллер формирует регулирующее воздействие, которое поступает через блок ручного управления 4а на пусковое устройство 4б, предназначенное для усиления сигнала, который воздействует на ИМ 4в. С ИМ сигнал о положении выходного вала поступает на дистанционный указатель положения 5а.

Разработанная система обеспечивает качественный контроль параметров технологического процесса, отвечает необходимым требованиям безопасности и эффективно выполняет заданные операции.

Повышение безопасности и надежности парогенератора и энергоблока в целом – одно из главных направлений развития российской атомной энергетики. Разработанная модернизированная система соответствует основным требованиям безопасности и надежности, так как выбрано современное надежное оборудование, которое отвечает условиям эксплуатации на АЭС.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Втюрин В.А. Проектирование автоматизированных систем – СПб.: Изд-во Санкт-Петербург, 2009. – 39 с.
2. Волошенко А.В., Горбунов Д.Б. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования – Томск.: Изд-во ТПУ, 2011.– 103 с.
3. Андык В. С. Автоматическое управление технологическими процессами на ТЭС. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2006. – 96 с.
4. Теплоэнергетика и теплотехника / Под ред. Григорьева В. А., Зорина В. М. 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат., 1989. – 605 стр.

Научный руководитель: Е.В. Иванова, к.ф.-м.н., ст. преподаватель, кафедры АТП ЭНИН ТПУ.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА РАЗБОРНОГО КОНТАКТНОГО СОЕДИНЕНИЯ

В.В. Афанасьева

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б34

Актуальность работы:

Работа электротехнического оборудования сопровождается образованием собственных полей: теплового, электромагнитного. Целью данной работы было рассмотреть тепловое поле модели при различных условиях. Это обусловлено необходимостью повышения уровня надежности и безопасности электрического оборудования при эксплуатации. Критерием отказа контактного соединения согласно ГОСТ 17441-84 служит повышение допустимого предела температуры наиболее нагретой точки соединения.

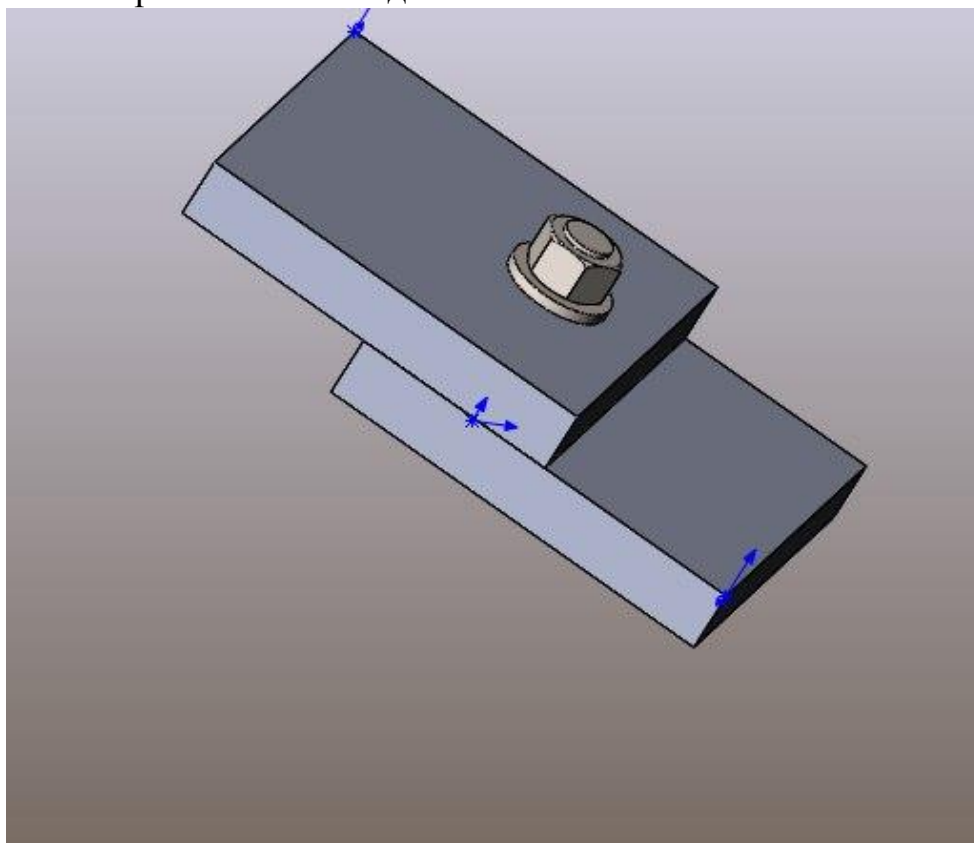


Рис. 1 Разборное контактное соединение проводника
Применение разборных контактных соединений:

- Разборные контактные соединения позволяют увеличить ремонтпригодность при эксплуатации и упростить сборку более крупных деталей.

- Разборные контактные соединения осуществляют постоянное соединение двух или нескольких токоведущих деталей.
- Контактные соединения применяют во многих производственных отраслях.

Цель работы:

Анализ интенсивностей отказов разборного контактного соединения проводника с контргайкой.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- моделирование в программе ABSPascal температурных полей модели;
- построение температурных полей;
- проведение анализа интенсивностей отказов прибора.

Объект исследования:

Объектом исследования является разборное контактное соединение проводника.

Содержание работы:

В первой части работы с помощью программы SolidWorks была построена 3D модель разборного контактного соединения проводника.

Во второй части работы с помощью мощью программы ABSPascal было смоделировано температурное поле прибора, затем с помощью программы OriginPro был построен график с заданием температурных условий.

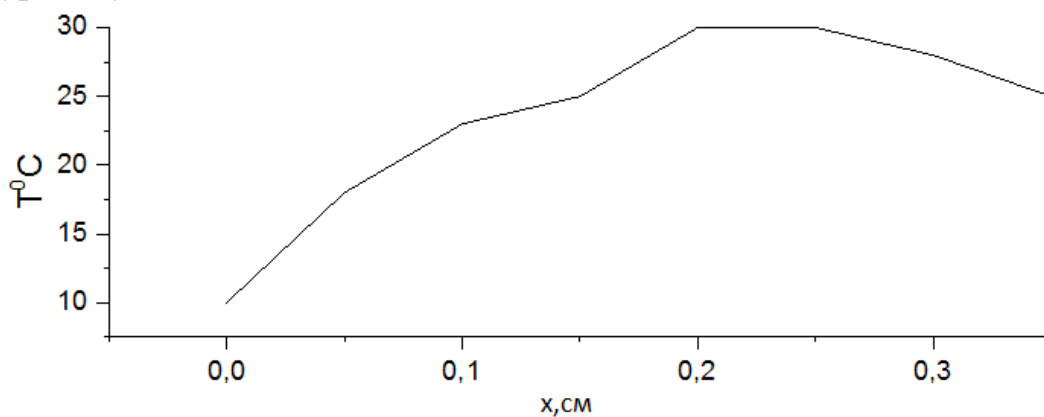


Рис. 2 Температурное поле сечения

В третьей части работы для анализа показателей надежности разборного контактного соединения проводника выбраны математические модели Аррениуса и мультипликативная модель.

Мультипликативная математическая модель оценки надежности разборного контактного соединения проводника с контргайкой:

$$\lambda_{\Sigma,x} = \lambda'_0 \times (\lambda'_0) \times K_x \times K_{tx} \times K_{ycl} \times K_{np}, \quad (1)$$

где: λ_0 - базовая интенсивность отказов силового прибора; λ'_0 - характеристика надежности; K_x - характеристика надежности; K_{tx} - коэффициент, значение которого зависит от температуры окружающей среды; K_{np} - характеристика надежности.

Модель Аррениуса для оценки надежности диодного модуля:

$$\lambda_A(T) = C \cdot \exp\left(\frac{-E}{kT}\right) \quad (2)$$

где: C-константа, E-энергия активации, k- постоянная

Поведение функции интенсивности отказов $\lambda(t)$ свидетельствует не только о значительных различиях в оценках надежности по моделям, но и о высокой степени зависимости прогностической модели Аррениуса от расчетной температуры.

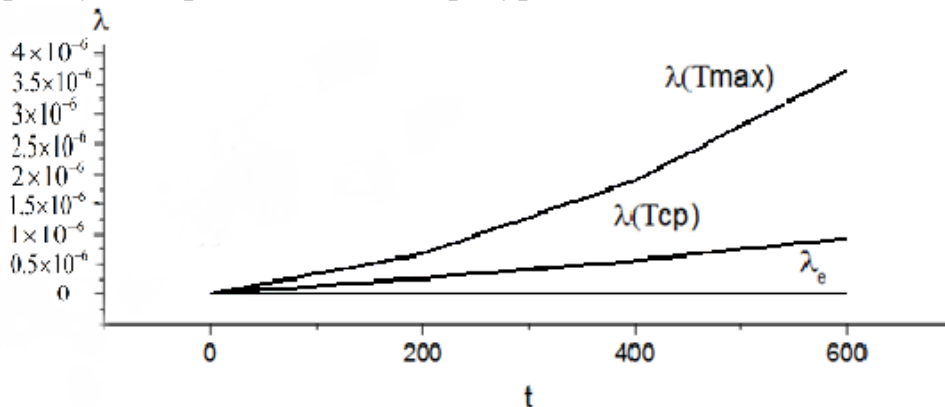


Рис. 3. Интенсивность отказов разборного контактного соединения проводника при температуре окружающей среды $T=25^{\circ}\text{C}$, $t=600$ с. (λ_e - мультипликативная модель; $\lambda(T_{cp})$ - модель Аррениуса (при T_{cp}); $\lambda(T_{max})$ - модель Аррениуса (при T_{max}).

Основные результаты работы:

В результате проведенной работы освоена программа SolidWorks, построена 3D модель разборного контактного соединения проводника. Смоделированы в программе ABC Pascal температурные поля прибора. С помощью программы OriginPro 9 построено температурное поле сечения. Проведен анализ интенсивностей отказов разборного контактного соединения проводника, и на основании полученных данных построена зависимость $\lambda(T)$.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кузнецов Г.В. , Шеремет М. А. – Разностные методы решения задач теплопроводности. Томск. [Учебное пособие] - 2007.

2. Бурмистрова А.П., Горохова И.В., Дорохин М.П. [Справочник Надежность ЭРИ] – 2002.

Научный руководитель: Е.В. Кравченко, к.т.н., доцент, каф. АТП ЭНИН ТПУ.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ «ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ
ПЛОЩАДКА №1» ОБЪЕКТА
«НОВО-ЧАСЕЛЬСКОЕ. УПН. КНС.»**

Т.В. Рябова
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

С давних времен человек стремится освободить себя от непосредственного выполнения функций управления технологическими процессам, отдавая предпочтения автоматизированным системам управления. Уже в древней Греции создавались свои автоматизированные системы управления, например, автоматическое открывание дверей в храм, движение куколок – марионеток и др.

На сегодняшний день невозможно себе представить технологические процессы без автоматизированной системы управления. Они встречаются и в быту и на производстве. С усложнением технических систем, автоматизация осуществляет не только задачи по управлению объектами, но и анализирует функционирование объекта и системы управления, а так же принимает решения по его улучшению.

Система автоматизации предназначена для реализации функций автоматизированного управления технологическим процессом, а также для эффективной защиты и своевременной остановки технологического процесса при угрозе аварии и ее локализации по заданным алгоритмам.

На каждый объект проектирования выдается свое индивидуальное задание на разработку частей проекта (ЗРЧП), в котором указана вся информация о проекте (название, шифр, ГИП), вся информация о ЗРЧП, документы, этапы рассмотрения ЗРЧП в принимающих отделах. По выданному заданию, разрабатываются и проектируются развернутые схемы автоматизации по выданному объекту.

Основной целью работы над проектом являлось изучение типовых технических решений по проектированию автоматизированных

систем управления, применение навыков в проектной разработке схем автоматизации.

Главная задача состояла в разработке схемы автоматизации для «Технологической площадки №1». Для этого было получено ЗРЧП, так же технологическая схема установки подготовки нефти (УПН).

В соответствии с ГОСТ 21.408 и ГОСТ 21.208, а так же со Стандартом компании, была разработана автоматизированная схема для «Технологической площадки №1».

Данная технологическая площадка состоит из из 2-х входных сепараторов (ВС-1,2), 2-х нефтегазовых сепараторов (НГС-1,2), 2-х газосепараторов высокого давления (ГС-1/1,2), коллектора распределения газа от ГС-1/1,2.

Рассмотрим автоматизированную систему на примере ГС-1/1,2, приведенную на рисунке 1.

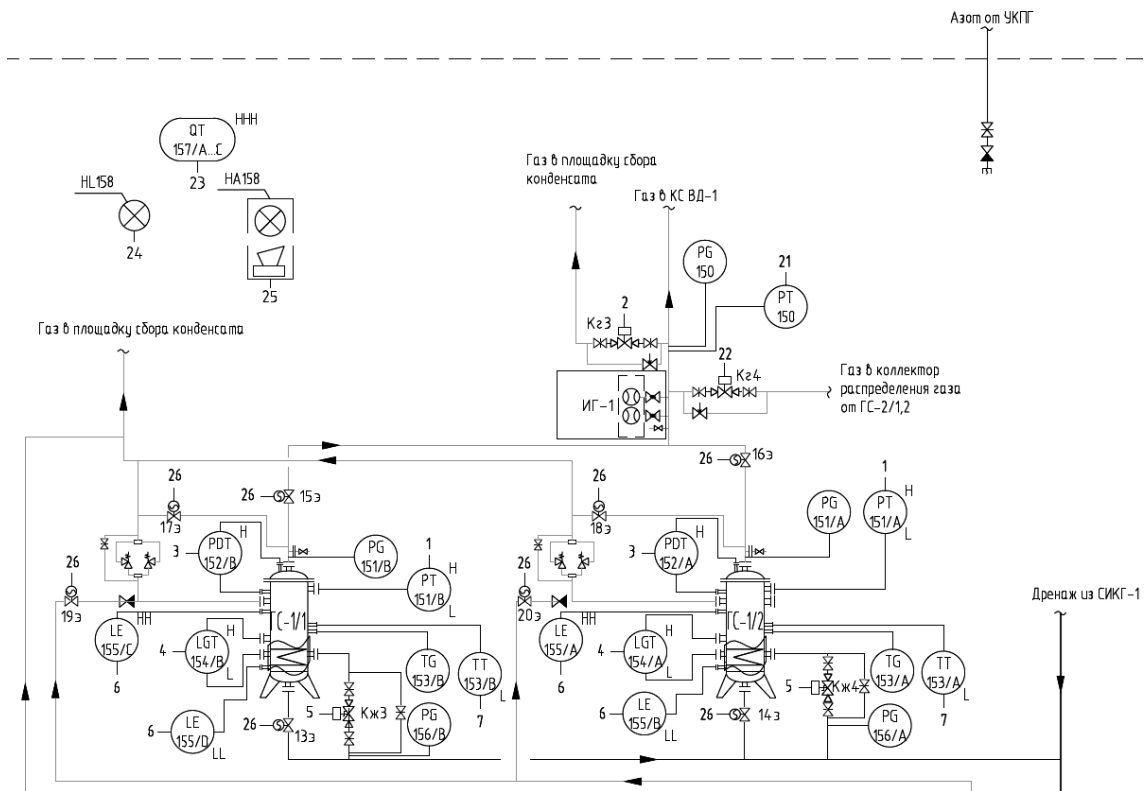


Рис. 1. Часть узла автоматизированной технологической схемы «Технологическая площадка №1»

Как видно из рисунка 1, по всему технологическому трубопроводу установлены измерительные приборы. Датчики измеряемого параметра, установленные дистанционно, позволяют увеличить количество собираемой информации для более эффективного управления технологическим процессом. С помощью приборов с дистанционной передачей сигнала оператор может анализировать текущие значения технологических параметров всего объекта (давление в технологиче-

ской линии, уровень в аппаратах объекта, состояние запорной арматуры с пневмо- или электроприводом и т.д.) и при необходимости с АРМа управлять всем технологическим процессом (пуск насосов, открытие задвижек и т.д.).

В таблице 1 указан перечень измеряемых и управляемых параметров для газосепараторов ГС-1/1,2.

Таблица 1 – Перечень измеряемых и управляемых параметров
ГС-1/1,2

№	Наименование параметра	Функции системы					
		Измерение	Сигнализация состояния	Предупредительная сигнализация	Аварийная сигнализация	Управление	Регулирование
1	Давление в аппарате	+		+			+
2	Температура жидкости	+		+			
3	Уровень жидкости	+		+	+		
4	Аварийный уровень жидкости				+		
5	Запорная арматура		+			+	+

Этот перечень составляется по уставкам, заданным в ЗРЧП, и отображается внизу чертежа в виде «подвала». В «подвале» условно отображают шкафы автоматики – на данной схеме автоматизации шкаф РСУ (распределительная система управления) и шкаф ВП. Шкафы телемеханики предназначены для сбора информации со всего оборудования. Основная его функция управление системой и механизмами. В шкафах располагаются вторичные приборы, которые преобразуют входной сигнал в токовый или сигнал типа «сухой контакт», контроллеры, блок питания, пусковая аппаратура.

В результате, было принято участие в работе над текущим объектом «Ново-Часельское. УПН, КНС», так же в разработке и проектировании различных схем автоматизации, в составлении перечня КИП на схемах автоматизации, в выдаче закладных конструкций на узлы заборной арматуры (УЗА).

В ходе разработки были изучены типовые технические решения по проектированию автоматизированных систем управления. Полученные знания будут использованы в дальнейшей работе по проекти-

рованию и исследованиях по улучшению методов автоматизации и повышения эффективности работы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 21.408-2013 Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов. – М.: Стандартинформ, 2014. – 38 с.
2. ГОСТ 21.208-2013 Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Стандартинформ, 2013. – 32 с.
3. Стандарт Компании ОАО «НК «Роснефть» № ПЗ-04 СД-0038 «Автоматизированные системы управления технологическими процессами нефтегазодобычи. Требования к функциональным характеристикам». – М.: ОАО «НК «Роснефть», 2014. – 28 с.

Научный руководитель: С.В. Шидловский, д.т.н., профессор, кафедры АТП ЭНИН ТПУ.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГОРЕЛКАМИ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА ПТВМ-50

О.Е. Ляховская

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

Пиковые источники теплоты являются важнейшим элементом современных систем теплоснабжения. Источники пиковой тепловой мощности предназначены для обеспечения расчетной тепловой нагрузки в наиболее холодные периоды года, когда основное теплофикационное оборудование полностью загружено и не может обеспечить требуемые параметры теплоносителя.

Задача обеспечения безопасной эксплуатации и повышения эффективности работы энергетических котлов актуальна для многих предприятий. Экономически верным решением этой задачи является реконструкция системы газоснабжения котла и системы управления его горелками.

Внедрение автоматизированной системы управления горелками обеспечивает:

- приведение системы газоснабжения котла в соответствие “Правилам безопасности систем газораспределения и газопотребления” ПБ12-529-03;

- плавный автоматический розжиг горелок без хлопков с проверкой герметичности газового оборудования и исключением любых неправильных действий оператора;
- безопасная штатная и аварийная остановка горелок;
- автоматическое индивидуальное управление работой горелок с выравниванием тепловой мощности, исключением локальных перегревов и минимизацией содержания NO_x в дымовых газах;
- полный компьютерный контроль работы всего оборудования (сбор, отображение и архивация данных, регистрация аварийных ситуаций), работа в автоматическом или ручном режиме.

В работе рассмотрен водогрейный котел ПТВМ-50, работающий под естественной тягой и оснащенный двенадцатью смесительными горелками. Подача воздуха к горелкам осуществляется индивидуальными вентиляторами. Горелки котла разделены на группы. Каждая группа горелок состоит из одной растопочной горелки и двух основных горелок. Растопочная горелка оснащена датчиком контроля факела и защитно-запальным устройством. Остальные горелки воспламеняются от растопочной горелки. Контроль факела основных горелок ведется по растопочной горелке.

Теплопроизводительность котла – 58 МВт, в качестве основного топлива используется природный газ, резервным топливом является мазут.

Автоматизированная система управления горелками водогрейного котла ПТВМ-50 выполнена на основе микропроцессорной техники, представляет собой систему, реализующую принцип функционально-группового управления и реализована в трёх уровнях. Структурная схема представлена на рисунке 1.

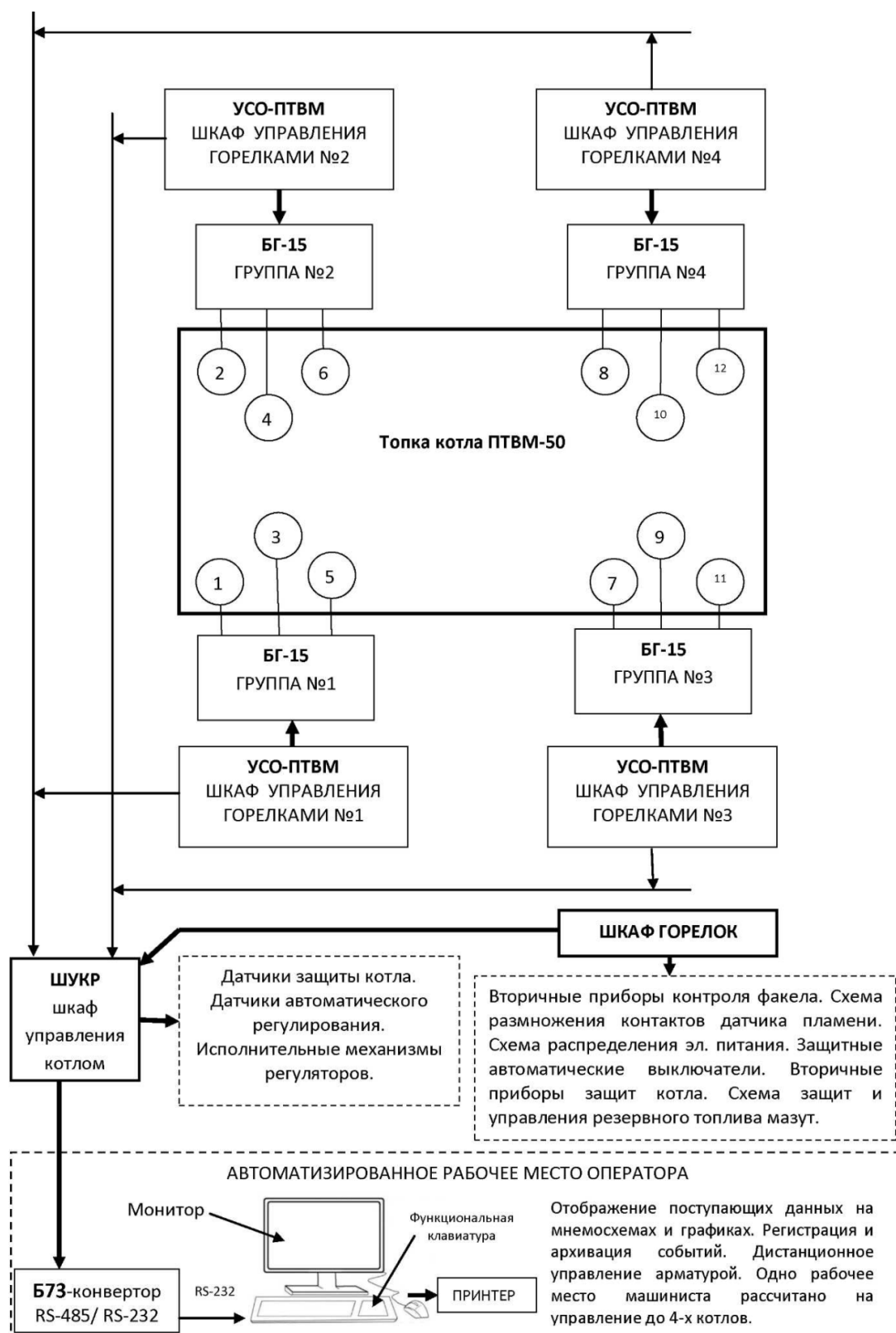


Рис. 1 .Структурная схема системы автоматического управления котлом ПТВМ-50

Нижний уровень предназначен для розжига, безопасной работы и остановки горелок.

Средний уровень предназначен для управления общекотловыми технологическими параметрами и выполнения защитных функций в соответствии с нормативными документами.

Верхний уровень (автоматизированное рабочее место) предназначен для отображения поступающих данных на мнемосхемах и графиках; передача команд оператора системе управления среднего уровня; регистрация и архивация текущих событий (что позволяет исключить комплект самопишущих регистраторов). С одного рабочего места может управляться до четырех котлов.

Система управления нижнего уровня состоит из блока газооборудования БГ-15, представлен на рисунке 2.

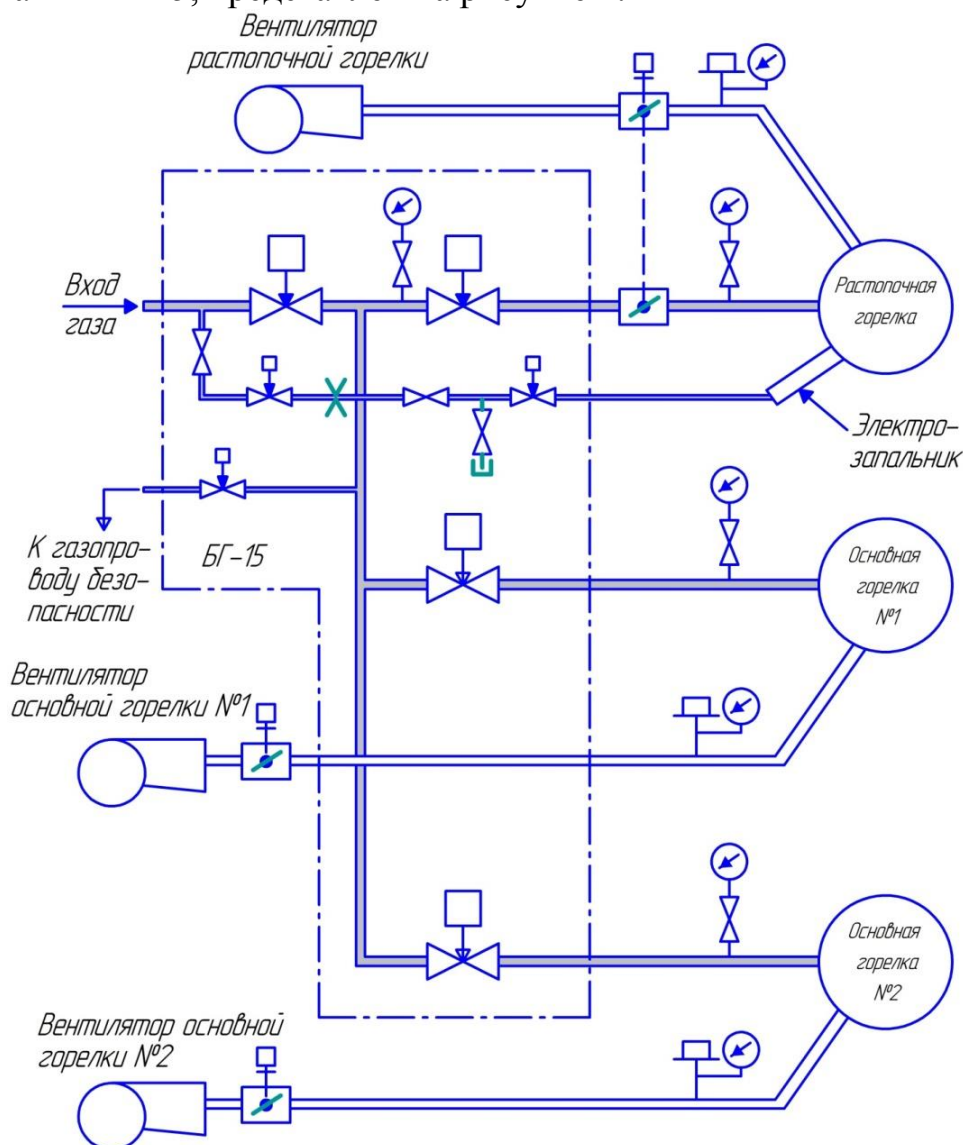


Рис. 2. Схема подвода газа и воздуха к группе горелок

Блок газооборудования обеспечивает подачу газа на группу горелок и прекращение подачи в случае возникновения аварийной ситуации. Установлены блоки на подводе газа к горелкам.

На газопроводе отводе от существующего коллектора к котлу последовательно по ходу газа установлены: задвижка с электрифицированным приводом, связанная с блокировками и защитами котла; поворотная заглушка (кольцо); диафрагма измерительная; заслонка регулирующая. Общая разводка газа к запальникам в схеме отсутствует, так как подвод газа к ним выполнен в газовых блоках. Растопочные горелки оснащены газовыми заслонками.

Передача данных в автоматизированной системе управления обеспечивается с помощью резервированной кольцевой информационной сети на базе интерфейса RS-845.

Шкафы УСО решают задачи контроля и управления оборудованием газовых горелок и являются функционально полными изделиями. Они могут работать как автономно, так и с внешним управлением. Контроллеры в шкафах УСО работают в режиме резервирования.

В настоящее время в большинстве случаев управление горелками производится вручную при визуальном контроле факела горелок. Вследствие этого из-за высокой скорости процессов, приводящих к возникновению взрывоопасных концентраций газовой смеси в ограниченном пространстве топок котлов и газоходах котла, возможно возникновение ситуации, которая может привести к взрыву. Чтобы предотвратить возникновение аварий при розжиге горелок необходимо соблюдать технологию розжига, для этого следует максимально автоматизировать процесс розжига горелок.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Автоматизированные системы управления объектами тепловых электростанций: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 1995. – 352 с.
2. Дядик В.Ф., Байдали С.А., Криницын Н.С.: Теория автоматического управления: учебное пособие/ Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 196 с.
3. Принципиальные схемы паровых котлов и топливоподачи: учебное пособие/ А.В. Волощенко, В.В. Медведев, И.П. Озерова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 100 с.

Научный руководитель: Д.О. Глушков, к. ф.-м. н., инженер-исследователь каф. АТП ЭНИН ТПУ.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО РАСПРЕДЕЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ЗДАНИЯ

Т.С. Бабеева
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

Целью данной работы является модернизация системы управления микроклиматом в офисных помещениях компании ЭлеСи (г. Томск). В настоящее время здесь функционирует система вентиляции, которой можно управлять только с щита управления, расположенного на четвертом этаже, где находится непосредственно система охлаждения и распределения воздуха, поступающего с улицы. Охлажденный поток воздуха направляется в рабочие помещения, в которых имеются вытяжки и вентиляционные отверстия. Недостаток данного метода автоматизации заключается в том, что на температуру в кабинетах влияют различные факторы (площадь помещения, число работников и расположение Солнца относительно окон), а на этаже считывает данные лишь один датчик температуры. Основываясь на его показаниях, оператор через щит управления может регулировать скорость вращения преобразователя частоты вентилятора, который отвечает за охлаждение и циркуляцию воздуха. Следовательно, независимо от сторонних условий, все помещения охлаждаются/нагреваются с одинаковой интенсивностью.

Для усовершенствования системы микроклимата было решено поставить автоматически регулируемые заслонки на трубах притока и оттока воздуха, а также разместить датчики температуры в каждом кабинете.

Первым делом произведен предварительный подбор и поиск требуемого оборудования. В соответствии со схемой и диаметрами труб были выбраны наиболее удобные и качественные заслонки с электроприводами. Для считывания показаний температуры было предложено два варианта передачи информации с датчиков: через проводную сеть и по беспроводной сети Wi-Fi. Первый вариант подразумевает проложение кабелей от датчиков, находящихся в рабочих помещениях, до контроллера, что влечет за собой дополнительную трудоемкость и затраты на кабели. Однако, во втором варианте беспроводные датчики температуры обойдутся намного дороже и для соединения с контроллером нужно будет приобретать дополнительные модули.

Что касается существующих на данный момент средств автоматизации, то основой регулирования и управления является многофункциональный контроллер REGIN Corrigo C30, предназначенный для систем вентиляции. Контроллер расположен на боковой панели щита управления и оснащен дисплеем, на котором в нормальном рабочем режиме отображаются наиболее важные значения рабочих параметров: установленное и действующее значение параметров, состояние регулирующего выхода, время/дата/версия. Данная модель контроллера имеет функции управления температурой, влажностью, рекуперации холода, ночного охлаждения, индикации рабочего, аварийного режимов, одно- и двухскоростной режим приточной и вытяжной вентиляции, отдельный пуск/стоп приточного и вытяжного вентиляторов, испытательный режим противопожарной автоматической заслонки с аварийным сигналом при несрабатывании, аварийный сигнал засорения фильтра или реле давления, активную защиту от обмерзания с остаточным тепловыделением калорифера, автоматическую остановку насоса с испытательным режимом, память 48 часов. Corrigo C30 оснащен следующей системой ввода/вывода: 7 цифровых выходов, 4 аналоговых выхода (0...10 В), 10 цифровых входов, 4 аналоговых входа (PT1000), 2 аналоговых входа (0...10 В) [1].

Из приведенных характеристик видно, что для осуществления проекта по дистанционному распределенному управлению микроклиматом такого контроллера недостаточно. Поэтому принято решение оставить его для управления существующей системой, а на него уже будут подаваться сигналы с дополнительных контроллеров (вероятнее всего, ЭЛСИ-ТМ), к которым будут подсоединены датчики температуры и электроприводы заслонок.

Для удобства управления и регулирования системой микроклимата потребовалась разработка человеко-машинного интерфейса с помощью программного продукта Infinity HMI.

Сначала были спроектированы графические элементы для будущего приложения (заслонка, клапан, контроллер, датчик температуры, вентилятор, вентиляционные отверстия), затем по примеру стандартного дизайна интерфейса для подобных приложений от ЭлеСи, разработан интерфейс, в который включены такие динамические показания, как давление и температура наружного воздуха и воздуха на выходе из системы охлаждения, текущие время и дата, а в пункте «Предупреждение» выводятся мгновенные сообщения об аварии или о превышении каких-либо установленных пределов.

Для того, чтобы размер схемы не был мелким, было принято решение разделить схему системы микроклимата на две части (левое

и правое крыло), которые легко переключаются нажатием соответствующего флажка на экране (Рис. 1). На чертежах схемы присутствуют все планируемые термодатчики и заслонки, а также контроллер, трубопровод, вентилятор и вентили на входящем с улицы и выходящем из системы охлаждения потоках. На данном этапе возможно только отслеживание показаний всех необходимых параметров.

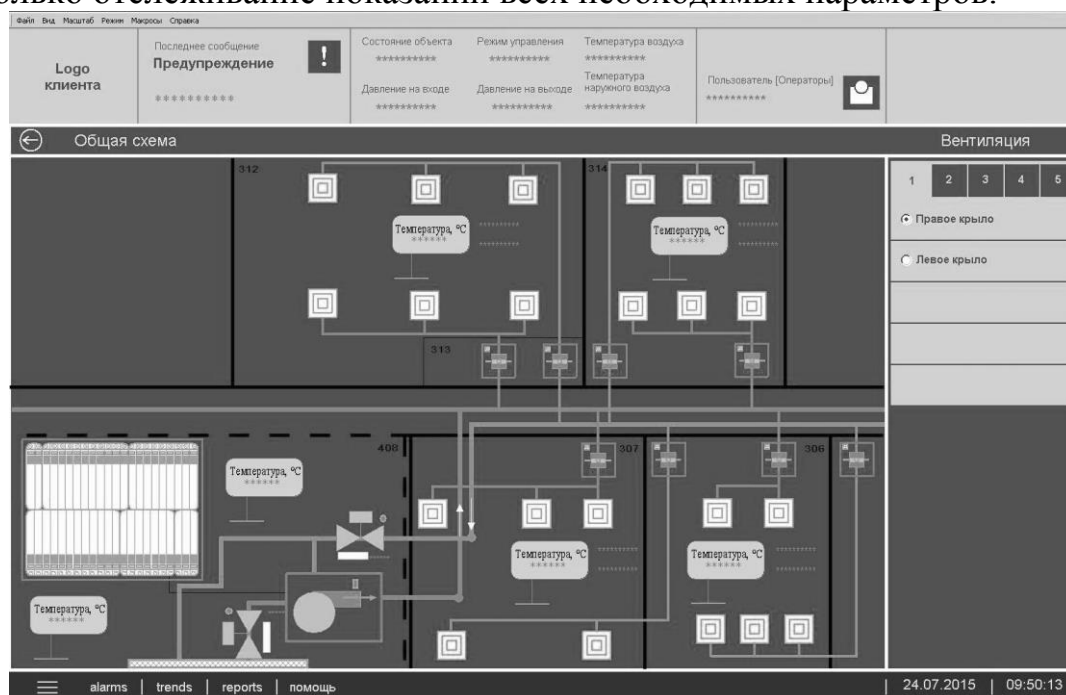


Рис. 1. Схема системы микроклимата правого крыла третьего этажа здания

На нижней панели управления расположены кнопки, вызывающие соответствующие приложения для подробного отслеживания системы управления микроклиматом: *alarms* — сообщения, *trends* — графики, *reports* — отчеты. Также при нажатии на левую иконку на этой панели появляется всплывающее меню, включающее в себя пункты «Управление» и «Установка», при нажатии на которые открываются соответствующие всплывающие окна. В окне «Управление» появляется возможность изменять и отслеживать температуру и угол открытия заслонки в любом из кабинетов третьего этажа (Рис. 2). В окне «Установка» можно управлять частотой установки системы микроклимата (изменять скорость вращения преобразователя частоты, передвигая рычаг) и изменять угол открытия вентили на входящем и выходящем потоках (Рис. 3).

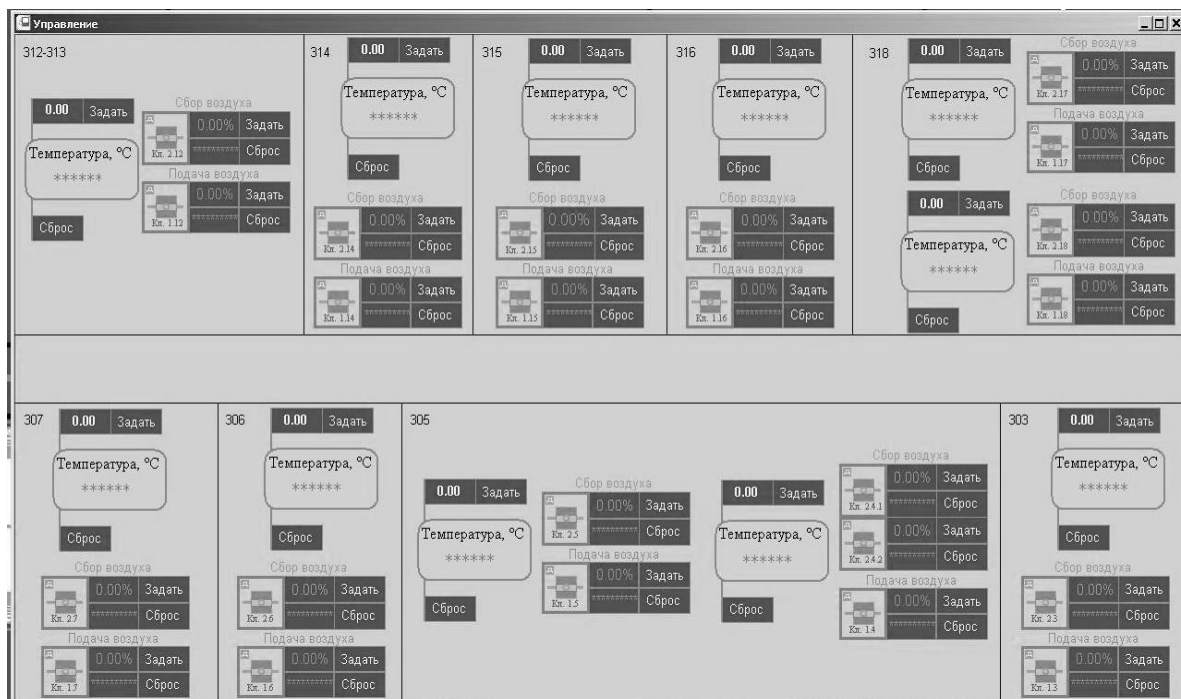


Рис. 2. Окно «Управление»

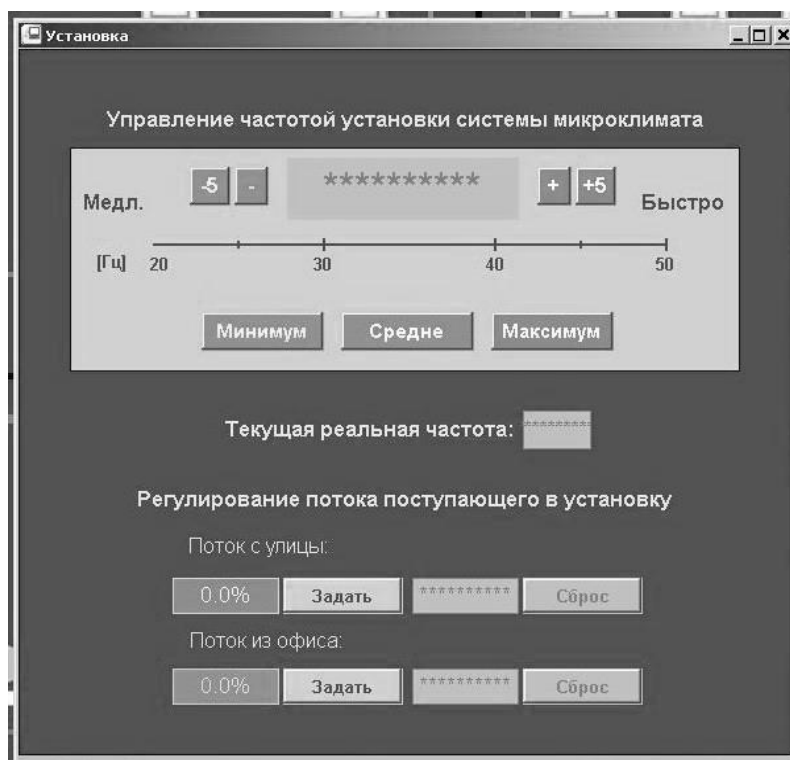


Рис. 3. Окно «Установка»

Каждому динамическому действию привязан свой источник данных в соответствии с конфигурацией Infinity Server. Связь с сервером пока не была установлена, поэтому на иллюстрациях видно некорректное отображение данных.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Regin Corrigo Модели серии С. Руководство по эксплуатации. – 2000 г. – 57 с.

Научный руководитель: П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., профессор, зав. каф. АТП ЭНИН ТПУ.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА

Д.П. Шабардин
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5БМ53

Технология вакуумной формовки основана на оптимальной степени нагрева пластмасс и перевода их в высокопластичное или вязкотекучее состояние. Необходимо соблюдать оптимальную степень нагрева, так как даже небольшие отклонения от установленных температур нагрева приводят к размягчению или структурному изменению материала. Из-за этого изделия могут получаться хрупкими, недолговечными, не держащими форму, иметь пригары, провалы, выпуклости, трещины и уплотнения, что абсолютно недопустимо [1].

Установив температуру в 100 °С, соответствующую температуре технологического процесса при параметрах ПИД-регулятора заданных заводом-изготовителем ($K_P = 30$ $T_H = 0,2$ $T_D = 0,01$) была получена кривая разгона, представленная на рисунке 1.

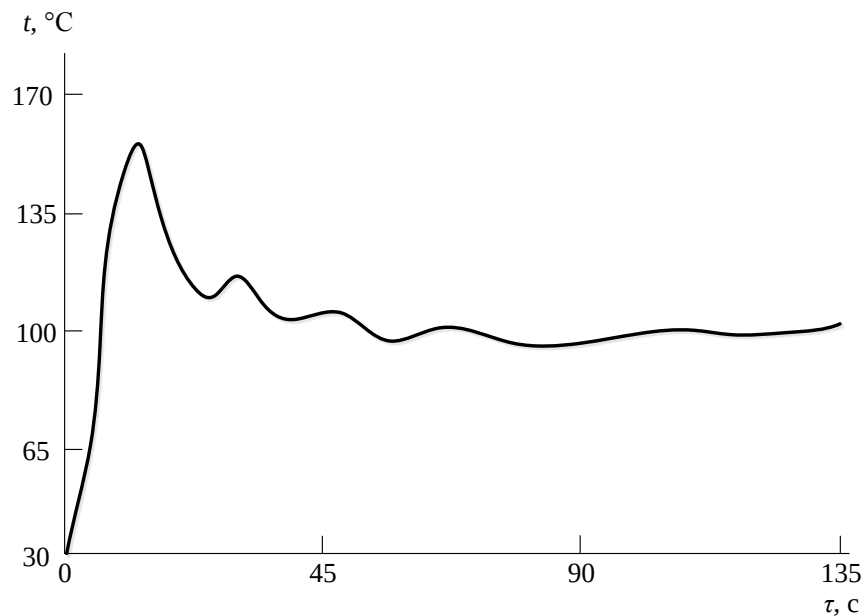


Рис. 1. Кривая разгона

Данный переходный процесс имеет перерегулирование 53 % и время регулирования 135 с., что не соответствует требованиям, предъявленным к АСР (степень затухания $\psi = 0,998$, перерегулирование 0 %). Поэтому необходимо определить, какие требуется установить настроечные параметры регулятора, чтобы осуществляемый при помощи регулятора процесс регулирования был оптимальным.

Структурная схема автоматической системы регулирования температуры установки вакуумного формования полимерных изделий представлена на рисунке 2. В нее входят передаточные функции регулятора нагревательного элемента и объекта регулирования [2].

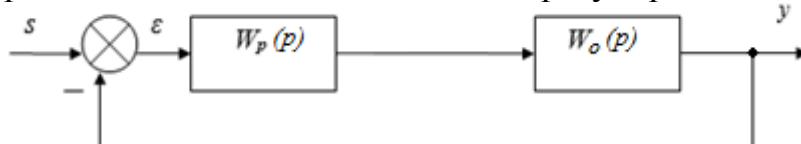


Рис. 2. Структурная схема автоматической системы регулирования температуры

Определим передаточную функцию объекта регулирования. Для этого при отключенном регуляторе проведем эксперимент по снятию кривой разгона объекта. Полученная кривая разгона представлена на рисунке 3.

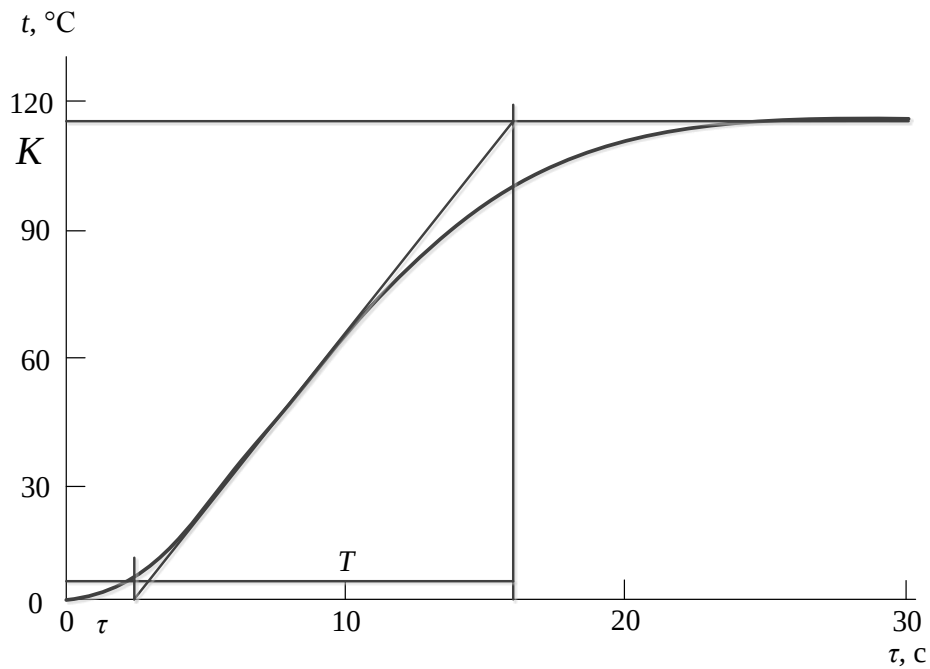


Рис. 3. Кривая разгона

Параметры объекта имеют следующие значения:

1. коэффициент передачи $K_{об} = 115$;
2. постоянная времени $T_{об} = 13,5$ с;
3. время запаздывания $\tau_{об} = 2,5$ с.

Проверим правильность определенных параметров, построив переходный процесс и сравнив его с кривой разгона замкнутой системы АСР. Используем найденные параметры объекта и заводские настройки ПИД регулятора: $K_p = 30$, $T_u = 0,2$ с., $T_d = 0,01$ с.

Определим передаточную функцию замкнутой АСР:

$$W_{АСР}(p) = \frac{W_{об}(p) \cdot W_p(p)}{1 + W_{об}(p) \cdot W_p(p)}. \quad (1)$$

Передаточная функция объекта регулирования:

$$W_{об}(p) = \frac{115 \cdot e^{-2,5p}}{13,5 \cdot p + 1}, \quad (2)$$

передаточная функция ПИД-регулятора:

$$W_p(p) = K_p + \frac{K_p}{T_u \cdot p} + T_d \cdot p. \quad (3)$$

Используя математический пакет Mathcad рассчитываем вещественную частотную характеристику замкнутой АСР $Re_{з.с.}(\omega)$. Зная вещественную частотную характеристику замкнутой АСР, можно рассчитать переходный процесс в замкнутой АСР используя связь переходной характеристики какой-нибудь системы $y(t)$ и вещественной ча-

стотной характеристики этой системы $Re(\omega)$. Связь выражается при помощи формулы:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (4)$$

где t – время переходного процесса в замкнутой АСР.

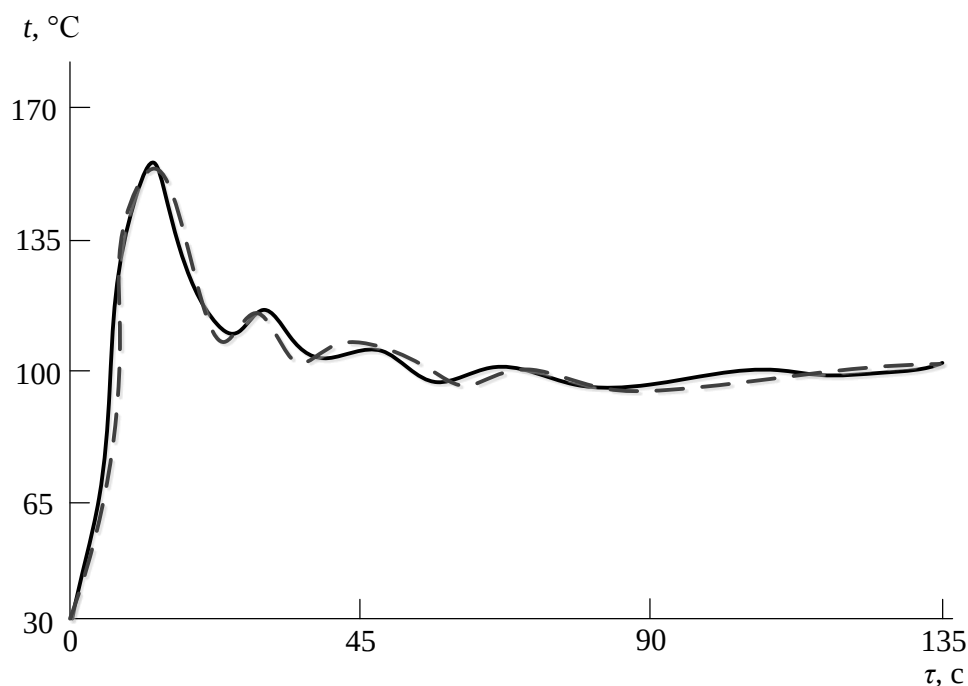


Рис. 4. Исходный (сплошная линия) и рассчитанный (штриховая линия) переходные процессы

Задав диапазон изменения времени переходного процесса $t=0-1000$ с шагом $\Delta t=10$ с в программе Mathcad рассчитываем переходный процесс в замкнутой АСР построим переходный процесс, который представлен на рисунке 4 (штриховая линия).

Как видно на графике (Рисунок 4) полученный переходный процесс не сильно отличается от кривой разгона замкнутой АСР, значит параметры объекта определены верно. Теперь, зная параметры объекта можно будет рассчитать оптимальные параметры регулятора.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-03-31304 мол_а).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Магергут В.З., Игнатенко В.А. Оптимальная степень нагрева пластмасс // Инновационные материалы и технологии (XX

научные чтения). – М.: Международная научно-практическая конференция, 2010. – С. 6–8.

2. Денисенко В.В., Измерение температуры с помощью термопар // Современные технологии автоматизации (СТА). – М.: Международная научно-практическая конференция, 2008. – С. 90-99

Научный руководитель: Д.О. Глушков, к.ф.-м.н., инженер-исследователь каф. АТП, ЭНИН, ТПУ.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ

А.М. Сафин

Трехгорный технологический институт-филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

Введение

В последнее время автоматизация производственных процессов становится одним из основных направлений технического прогресса.

Основная функция автоматизированных систем управления - получение и переработка информации о параметрах технологического процесса с последующим использованием полученных результатов для воздействия на технологический процесс.[3]

Данное требование свойственно для средств, использующих неразрушающие методы контроля (НМК). Один из МНК – метод вихревых токов (МВТ), который «решает» широкий круг задач (дефектоскопия, структуроскопия, толщинометрия, положение и перемещение электропроводящих объектов). [2]

Микроминиатюризация средств вихретокового контроля.

Не заслуженно, всё реже и реже в разработках проглядывается простой структурно способ получения измерительной информации поля вихревых токов с применением автогенератора на параметрическом преобразователе.

Техническая реализация устройства, для проверки измерительных возможностей приведена на рис. 1.

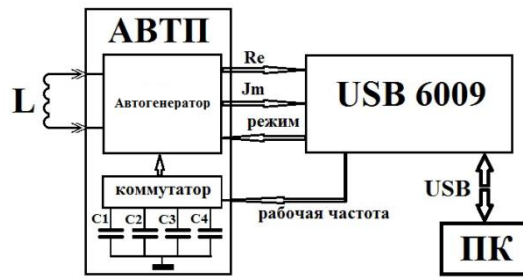


Рис. 1. Техническая реализация устройства.

Активный вихретоковый преобразователь (АВТП) представляет собой автогенераторную схему с применением LC колебательного контура. Резонансная частота колебательного контура определяется значением индуктивности параметрического датчика и подключаемого одного из конденсаторов $C1 - C4$. Модуль ввода\вывода USB6009 выполняет функции управления режимом, рабочей частотой и интерфейсные функции связи с персональным компьютером (ПК).

Конструктивно узел АВТП реализуем размером 20x15x20 мм.

На ПК в среде визуального графического программирования LabVIEW протоколируются результаты измерений Re и Im составляющих, рассчитываются значения контролируемых параметров ОК.

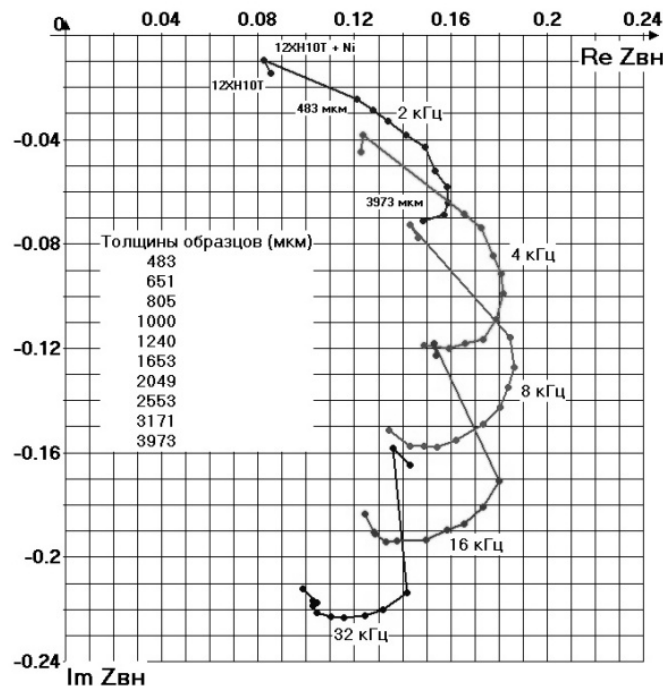


Рис. 3. Годографы Re и Im составляющих на 5-ти частотах.

Пример получения измерительных данных (годографы) Re и Im составляющих, при установке измерительного преобразователя на ОК в виде Pb пластин различной толщины (483; 651; 805; 1000; 1240; 1653; 2049; 2553; 3171; 3973 мкм), прикатанных к плоскому основа-

нию из стали 12X18H10T приведен на рис. 3. Измерения проводились на 5^{-ти} частотах (2; 4; 8; 16; 32 кГц).

Разрешающая способность (инструментальная погрешность) узла АВТП в любой точке плоскости годографов составляет $\pm 0,001$ по Re и $\pm 0,0005$ по Im составляющим, что позволяет при многочастотном контроле получить измерение толщины покрытия Pb на 12X18H10T с точностью не хуже 2,5%.

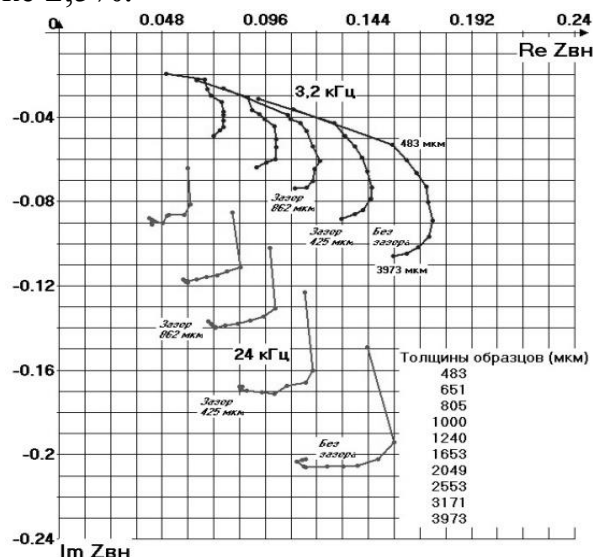


Рис. 4. Годографы с применением диэлектрических зазоров.

Пример измерений с применением диэлектрических зазоров толщиной 425, 862, 1282, 2115 мкм. между преобразователем и ОК на частоте 3,2 и 24 кГц приведены на рис. 4.

Применение средств вычислительной техники при многопараметровом контроле.

Рассмотренная выше задача (исключение влияния мешающего фактора) для контроля двух параметров может быть решена с применением метода регрессионного анализа.

Имея измерительные данные Re и Im составляющих на мерах толщины с различными зазорами, выберем вид функциональной зависимости толщины покрытия в виде (1) усечённого полинома второй степени:

$$T(\text{Re}, \text{Im}) = a_1 \cdot \text{Re}^2 + a_2 \cdot \text{Im}^2 + a_3 \cdot \text{Re} \cdot \text{Im} + a_4 \cdot \text{Re} + a_5 \cdot \text{Im} + a_6 \quad (1)$$

Используя метод наименьших квадратов составим систему линейных уравнений как частные производные по каждому коэффициенту ($a_1 - a_6$). Решим эту систему уравнений и получим значения коэффициентов. При выполнении измерений на ОК, получаемые данные Re и Im составляющих подставляются в уравнение (1) с известными коэффициентами $a_1 - a_6$, и рассчитывается измеренное значение тол-

4. Шишмарев В.Ю.Ш657 Автоматика: учебник для студ. Сред. Проф. Образования/ В.Ю. Шишмарев. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 288 с.

Научный руководитель: А.Е. Вебер, старший преподаватель, ТТИ НИЯУ МИФИ.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕМ ЖИЛОГО МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА

А.В. Абрамова

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

Узел учета тепловой энергии представляет собой комплекс устройств, обеспечивающих измерение количества тепловой энергии, объема теплоносителя, выполняющих контроль и регистрацию параметров последнего. В узел входят следующие приборы: вычислитель количества теплоты, устройства индикации температуры и давления, преобразователи расхода, давления и температуры, запорная арматура.

При проектировании систем учета теплоснабжения задаются исходные характеристики системы теплоснабжения здания. Исходные данные для рассматриваемого объекта приведены в таблице 1.

Табл. 1. Заданные исходные данные при разработке системы учета и регулирования здания

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1	Расчётная температура наружного воздуха для проектирования систем теплоснабжения	–40 °С
2	Температура теплоносителя в подающем/обратном трубопроводе	105/70 °С
3	Давление теплоносителя в подающем/обратном трубопроводе	5,2/4 кгс/см ²
4	Схема присоединения системы отопления/ГВС здания к наружным тепловым сетям	Зависимая схема/ закрытая схема
5	Расход тепловой энергии всего, в т.ч. - на нужды отопления - на нужды ГВС	0,0132 Гкал/ч 0,0072 Гкал/ч 0,0060 Гкал/ч

Согласно, Правилам учета тепловой энергии и теплоносителя, утвержденных постановлением Правительства РФ от 18 ноября 2013 г. № 1034 [1], в открытых и закрытых системах теплоснабжения на узле учета тепловой энергии и теплоносителя с помощью прибора (приборов) определяются:

а) масса (объем) теплоносителя, полученного по подающему трубопроводу и возвращенного по обратному трубопроводу;

б) масса (объем) теплоносителя, полученного по подающему трубопроводу и возвращенного по обратному трубопроводу за каждый час;

в) среднечасовая и среднесуточная температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах узла учета.

В состав узла учёта входят приборы: вычислитель количества теплоты ВКТ-7-04, термопреобразователи сопротивления КТС-Б, преобразователи расхода электромагнитные ПРЭМ-20, преобразователь давления MBS 4003.

Вычислитель количества теплоты ВКТ-7-04 предназначены для измерений выходных сигналов измерительных преобразователей параметров теплоносителя и вычислений, по результатам измерений, количества теплоты (тепловой энергии), т.е. обеспечивают измерение параметров теплоносителя и учет тепловой энергии по данным об измеренных параметрах теплоносителя [2].

Комплекты термопреобразователей сопротивления платиновых КТС-Б (далее комплекты КТС-Б), предназначены для измерения разности температур и значений температур в подающем и обратном трубопроводах системы теплоснабжения [3].

Схема установки измерительных приборов узла учета тепловой энергии показана на рис. 1.

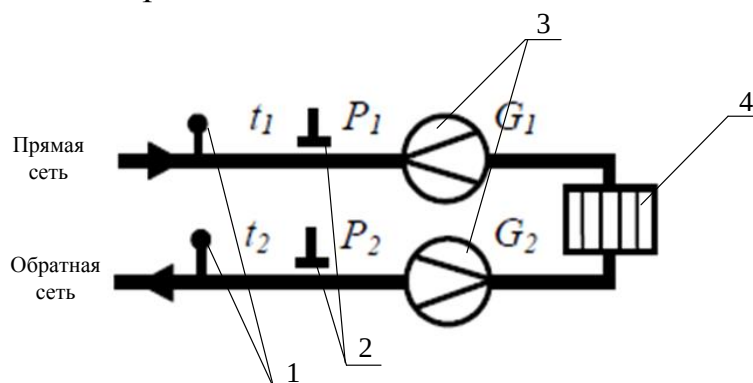


Рис. 1. Схема размещения измерительных устройств: t_1 , t_2 — температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе; P_1 , P_2 — давления в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети на вводе в дом; G_1 , G_2 — расходы теплоносителя в подающем и обратном

трубопроводе; 1 – преобразователь давления, 2 – термометр сопротивления, 3 – преобразователь расхода, 4 – система отопления.

Преобразователи расхода электромагнитные типа ПРЭМ-20 используются для измерений и преобразований в выходные электрические сигналы объемного расхода теплоносителя [4].

Помимо учета тепловой энергии, в здании выполняется регулирование количества потребляемой тепловой энергии.

Система автоматического регулирования выполняет в этом случае следующие функции:

- система автоматизации тепловых пунктов предназначена для контроля и автоматического управления значениями параметров теплоносителя, подаваемого в системы отопления и горячего водоснабжения с целью оптимизации теплопотребления и создания комфортных условий внутри помещений;
- средства автоматизации и контроля должны обеспечивать работу тепловых пунктов без постоянного обслуживающего персонала, т.е. автоматически.

Под системой автоматизации теплового пункта понимается комплектная система, включающая в себя следующие компоненты:

- контроллер (или контроллеры) для регулирования систем отопления, вентиляции и ГВС;
- регулирующие клапаны;
- преобразователи температуры;
- преобразователи давления;
- клемные соединители, блоки электропитания, автоматические выключатели, соединительные электрические кабели и другие электроустановочные изделия в составе щитов электроуправления;
- контакторы, пускатели, преобразователи частоты (для управления насосами);
- предохранительные устройства: предохранительные клапаны, расширительные баки и т. п.;
- средства связи с диспетчерским пунктом для дистанционного контроля за параметрами теплоносителя и режимами работы оборудования теплового пункта, нештатными и аварийными ситуациями.

В состав автоматизированного теплового узла заданного объекта входят приборы: контроллер ТРМ 32-щ4.01, датчик температуры наружного воздуха, ДТС-125, датчики температуры погружные ДТС-105 для измерения температур теплоносителя, насос сетевой, UPS 32-

80, насос GBC, UPS 25-60, редукторные электроприводы, SAX 31.00, SAX 31.03.

В тепловом узле для регулирования количества потребляемого тепла предусмотрены регулирующий клапан и смесительный насос, установленные на подающем трубопроводе, и регулятор перепада давления, установленный на обратном трубопроводе.

Водоподогреватель горячего водоснабжения присоединяется к тепловым сетям по двухступенчатой смешанной схеме, через регулирующий клапан, установленный на подающем трубопроводе. Регулирование температуры теплоносителя на отопление осуществляется в прямом трубопроводе, в зависимости от температуры наружного воздуха по введённому тепловому графику с коррекцией по температуре обратного теплоносителя отопления.

Циркуляционные насосы системы отопления могут иметь два режима управления – «Ручной» и «Автоматический». В автоматическом режиме осуществляется:

- попеременная работа насосов по сигналу таймера;
- включение резервного насоса при аварии рабочего;
- защита насосов от «сухого хода».

Разработанные системы учета и регулирования теплопотреблением здания позволяют получить рациональное использование энергоресурсов, что повышает экономическую эффективность и соответствующую реконструкцию тепловых узлов, и внедрение данных систем контроля и управления теплопотреблением.

Исходя из всего выше сказанного видно, что работа является актуальной, были изучены методы автоматического контроля и управления теплопотребления, разработаны соответствующие функциональные схемы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Правила коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя (утв. постановлением Правительства РФ от 18 ноября 2013 г. № 1034).
2. Вычислители количества теплоты ВКТ-7. Руководство по эксплуатации. – РБЯК.400880.036 РЭ, Редакция 5.4. Закрытое акционерное общество «НПФ Теплоком». – 67 С.
3. Комплекты термопреобразователей сопротивления платиновых КТС-Б. Инструкция по эксплуатации. – Полоцк: "Поинт", 2009 г. –13 С.

4. Преобразователи расхода электромагнитные. Руководство по эксплуатации. – РБЯК.407111.039РЭ, редакция 5.16. Холдинг «Теплоком». – 24 С.

Научный руководитель: Ю.К. Атрошенко, ассистент каф. АТП ЭНИН ТПУ.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПИТАНИЯ ВОДОЙ КОТЛА ТИПА Е-160-24

С.И. Суханов
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б2В

Паровым котлом называют технологический агрегат для выработки пара с давлением выше атмосферного за счет теплоты сжигаемого топлива. В паровом котле энергия топлива преобразуется в потенциальную энергию пара[1].

Целью выполненной работы являлось изучение системы автоматического регулирования питания котла водой.

Основными целями автоматической системы регулирования питания котла водой являются:

- повышение безопасности объекта при питании водой
- защита барабана котла от перепитки и упуска воды
- повышение эффективности управления объектом на основе роста производительности труда.

В рамках выполнения работы рассматривалась разработка системы автоматического регулирования питания барабанного котла типа Е-160-24. Котел однокорпусный, номинальная паропроизводительность – 160 т/час, давление перегретого пара на выходе 24 кгс/см², температура свежего пара – 540 °С. В качестве основного топлива котла используется природный газ, в качестве резервного – топочный мазут.

Система автоматизированного контроля и управления паровым котлом предусматривает:

- контроль за основными параметрами технологических процессов;
- сигнализацию при выходе параметров за уставки;
- систему защит и блокировок;
- автоматическое/ ручное управление технологическими процессами.

Система автоматического контроля и регулирования питания котла включает в первичные измерительные преобразователи и показывающие приборы, регуляторы, задающие устройства, блоки ручного управления, пусковые устройства, исполнительные механизмы, регулирующие органы.

Каждая система автоматического регулирования предусматривает: автоматическое поддержание заданного параметра; ручное изменение задания каждому регулятору с помощью задатчика; дистанционное управление с группового щита управления каждым регулирующим органом; контроль положения регулирующего органа. Регуляторы построены на базе электрических средств регулирования «АКЭСР-2» и электрических исполнительных механизмов (МЭО). Система автоматического регулирования котла включает в себя следующие регуляторы: главный регулятор, тепловой нагрузки, общего воздуха, разрежение в топке, температуры среды после мельницы, питания котла водой, температура перегретого пара, непрерывной продувки.

Система автоматического регулирования питания котла водой предназначена для поддержания уровня воды в барабане котла. Поддержание постоянного уровня воды в барабане котла необходимо для нормальной работы агрегата, а также для сохранения баланса между расходом пара от котла, воды на продувку, потерями от утечек и подачей питательной воды в котел.

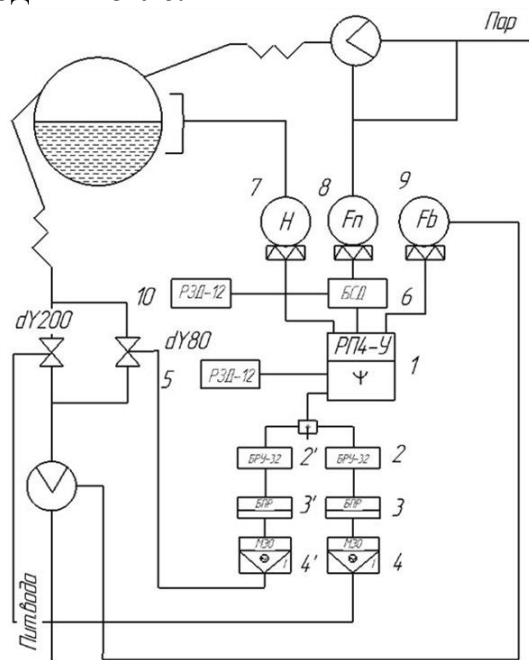


Рис. 1. Функциональная схема регуляторов питания котла

Рассматриваемая система автоматического регулирования относится к разряду стабилизирующих. АСР питания котла трехимпульсная (рисунок 1): регулятор получает импульс по расходу пара от кот-

ла, по уровню воды в барабане и по поступлению воды в котел, после чего вырабатывается регулирующее воздействие, поступающее на регулирующий клапан на питательной воде к котлу.

На регулирующее устройство подаются измерительные сигналы по уровню в барабане котла, расходу питательной воды на котел и расходу пара от котла. Сигнал от датчика уровня 7 поступает на вход устройства 7. На входы 9, 8 соответственно поступают сигналы от датчика расхода питательной воды 9 и датчика расхода пара 8. Сигналы по расходу питательной воды и расходу пара должны компенсировать друг друга, и поэтому включены противофазно. При увеличении расхода пара регулятор вырабатывает сигнал на увеличение расхода питательной воды и наоборот. Сигнал по уровню в барабане котла является корректирующим. Он должен компенсировать разницу между расходом пара и питательной воды. Устройство является общим для двух клапанов на трубопроводе питательной воды: основного (диаметром 200 мм) и на байпасной линии (диаметром 30 мм). Последний работает при нагрузке котла менее 100 т/ч. Перевод управляющего воздействия с устройства на тот или другой клапан осуществляется при помощи ключа второго.

В состав регулятора питания входят следующие элементы:

1. РЗД-12 – задатчик ручной для изменения задания регулятору;
2. РП4-У – устройство для суммирования сигналов от датчиков с учетом фазы и величин сравнения стой суммы с заданием выработки управляющего сигнала и воздействия на исполнительный механизм по необходимому закону регулирования;
3. БРУ-32 – блок ручного управления переключения с автоматического режима управления на ручной и обратно и для индикации положения клапана;
4. ПБР – пускатель реверсивный для управления силовыми цепями исполнительного механизма;
5. БСД – блок суммирования и демпфирования;
6. МЭО – исполнительный механизм для управления регулирующим клапаном.

Питание приборов напряжением 220 В осуществляется от панели Н-12. Питание панели Н-12 выполнено напряжением 380/220 В 50 ГЦ двумя независимыми вводами от РУСН 0,4 кВ в электротехнической части. Общая потребляемая мощность 28 кВА. Питание цепей технологических защит и аварийного отключения механизмов предусмотрено выпрямленными токами 220 В от панелей БПНС двумя вводами. Питание цепей технологической сигнализации выполнено выпрямленным током 110 В.

В работе рассмотрена система автоматического регулирования питания водой барабанного котла Томской ТЭЦ-3 типа Е-160-24. Приведено описание оборудования систем управления, подробное описание систем электрического питания рассматриваемой системы регулирования. Результаты работы могут быть использованы при проектировании систем регулирования питания паровых барабанных котлов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дядик В.Ф., Байдали С.А., Криницын Н.С.: Теория автоматического управления: учебное пособие/ Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 196 с.
2. Волощенко А.В., Горбунов Д. Б.: Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования: учебное пособие/ Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 109 с.
3. АО «Томская генерация» ИНТЕР РАО [Электронный ресурс] URL: <http://www.energo.tom.ru>, свободный. – Загл.с экрана. – Яз. Рус, англ. Дата обращения: 27.07.2015г.

Научный руководитель: Д.О. Глушков, к.ф.-м.н., инженер-исследователь каф. АТП ЭНИН ТПУ.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ УЧАСТКОВ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Д.Ю. Ивлева
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5БМ53

Как в Томской области, так и в России в целом процент износа тепловых сетей очень высок. Плохое состояние тепловых сетей ведёт к частым авариям, что связано с затратами на ремонт, нарушением целостности почвенного покрова (при подземной прокладке ТС), выбросом в окружающую среду горячей воды, отключение потребителей от горячего водоснабжения и т.д.

Ежегодно перед началом отопительного сезона ведётся проверка состояния тепловых сетей. В основном такая проверка производится

опрессовкой. Опрессовка – это разрушающий способ контроля состояния ТС, при котором разрушаются ослабленные участки трубы, а сильные участки становятся слабее.

Также существует много неразрушающих методов контроля состояния ТС, но ни один из них не является автоматизированным.

Все существующие способы диагностики состояния тепловых сетей являются единовременными и не автоматизированными. Они позволяют с той или иной точностью определить место повреждения трубопровода или выявить его слабые места не без человеческих трудовых затрат.

Автоматизация технологических процессов является одним из решающих факторов повышения производительности и улучшения условий труда, поэтому создание модели автоматизированного контроля состояния ТС вполне оправдано и уместно.

Аварийные ситуации на тепловых сетях влекут за собой такие сложности, как: поиска места аварий, высокие материальные и трудовые затраты при устранении аварийных ситуаций, временное отключение потребителей от горячего водоснабжения в холодный период года и прочее. Все эти сложности, а также особенности русского менталитета, не направленные на энергосбережение и сохранение технических объектов, говорят о необходимости автоматизированного контроля состояния тепловых сетей.

Целью данной работы является проектирование и разработка прототипа прибора, позволяющего контролировать состояние тепловых сетей. Данный прибор должен измерять, обрабатывать и передавать значения параметров (влажности и температуры) оператору в наглядном виде (мнемосхему). Это необходимо для того, чтобы оператор, видя все данные, мог быстро и правильно отреагировать на изменения состояния ТС и принять необходимое решение.

Контролю подлежит температура и влажность на различных участках тепловой сети. Предполагается, что датчики температуры и влажности будут устанавливаться в 1-м месте участка трубы – в его середине. Допустимым значением на поверхности изоляции ТС является 30-55 С°, в зависимости от материала, из которого изготовлена труба и изоляция.

Модель, рассматриваемую в данной работе можно реализовать 2-мя способами – с помощью набора из обычных датчиков, контроллеров, преобразователей и т.д. или с использованием интеллектуальных датчиков. Данная модель была реализована с помощью следующих элементов:

1. ПЛК Simatic S7-200 (CPU 222);
2. модуль аналоговых входов EM 231 фирмы Siemens;
3. блок питания Sitop Smart производства Siemens;
4. нормирующий преобразователь 2000H-22 производства ООО "Теплоприбор-Сенсор";
5. ТСМ 50М производства ООО «Саранские приборы»;
6. ТС-1088/1 фирмы ЭЛЕМЕР.

Контроллер Simatic S7-200 (CPU 222) был запрограммирован в специальной программе Step 7 - Micro/WIN с помощью задатчика. В роли задатчика в данной ВКР выступал ноутбук. Контроллер соединяется с ноутбуком с помощью интерфейса RS-485. В программе Step 7 - Micro/WIN доступно 3 языка программирования: LAD, STL, FBD. Для программирования ПЛК использовался язык LAD – язык лестничных схем. Этот язык основывается на элементах контактно-релейной логики.

Контроллер был запрограммирован таким образом, что он получал данные от двух датчиков температуры, масштабировал их и переводил в наглядный вид. Так же эти данные сравниваются с уставкой, которую можно менять. Уставка соответствует максимальной допустимой температуре на поверхности изоляционного покрытия трубопровода.

Эта программа связана с SCADA системой, что позволяет оператору контролировать состояние тепловых сетей. Данная система осуществлялась в программе Simple Scada. В данной системе было создано 2 трубопровода, на каждом из которых 2 участка. Чтобы создать модель распределённой системы контроля состояния ТС, значение температуры с каждого датчика посылается на 2 участка. Предполагается, что трубопроводы выполнены из разных материалов, поэтому для них действуют различные уставки. На каждом участке трубопроводов производится контроль температуры. 1.

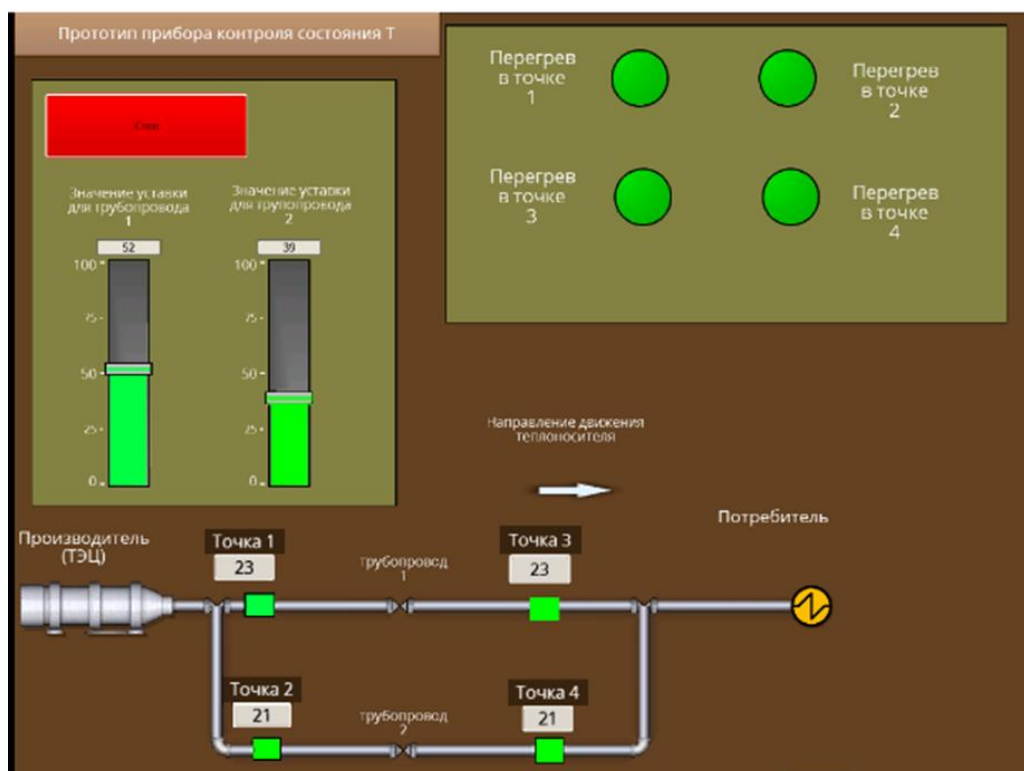


Рис. 1.

На основе данной модели можно создать систему автоматизированного неразрушающего контроля состояния тепловых сетей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Обосновывающие материалы к схеме теплоснабжения города Томска до 2030 года. Книга 10. Оценка надежности теплоснабжения.: Томск ТПУ, 2013г.
2. Государственная система обеспечения средств измерений. Измерительные каналы контроллеров, измерительно-вычислительных вычислительных, управляющих, программно-технических комплексов. Методика поверки. МИ 2539-99.: Рекомендация. – Я.: Изд-во. ВНИМС, 1999г. – 10 с.
3. Строительные нормы и правила Российской Федерации отопление, вентиляция и кондиционирование СНиП 41-01-2003. – М: Госстрой России. Изд. стандартов: 2004г..

Научный руководитель: Е. В. Кравченко, к.т.н., доцент каф. АТП ЭНИН ТПУ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ВРЕМЕН ПОДАВЛЕНИЯ РЕАКЦИИ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ЛЕСНОГО ГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПОМОЩИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

М.М. Осмоловская, В.М. Гумеров
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б3В

Лесные пожары наносят значительный ущерб экологии и экономике многих стран [1, 2]. Лесные пожары, являясь источником чрезвычайных экологических ситуаций, всегда наносят вред окружающей среде – от выбросов продуктов горения в атмосферу до полного уничтожения растительного покрова на значительной площади. В настоящее время задача охраны лесов от пожаров является весьма актуальной во всем мире [3].

Для тушения крупных лесных пожаров традиционно применяют авиационные методы тушения [4, 5]. Однако локальное воздействие не всегда является оправданным, поскольку водой заливается малый по площади участок лесного массива. «Тонкораспыленная вода», «паровые завесы» получили большую известность. Полная ликвидация очага горения возможна только при прекращении реакции термического разложения в приповерхностных слоях лесных горючих материалов (ЛГМ). Представляет интерес определение времен, в течение которых необходимо воздействовать на термически разлагающийся материал паровым облаком, для полного подавления реакции термического разложения в нем.

При проведении экспериментальных исследований использовался стенд, схема которого представлена на рис. 1.

Образец ЛГМ при помощи источника локального нагрева нагревался до температуры, при которой начиналось его термическое разложение ($T=500$ К). После достижения температуры начала пиролиза, запускалась подача воды в канал 9. В ходе проведения экспериментов, над образцом ЛГМ (использовались листья березы) создавалась парогазовая смесь. Температура парогазовой смеси контролировалась хромель-алюмелевой термопарой 7. Фиксировалось время, в течение которого температура на нижней поверхности ЛГМ станет ниже температуры начала его термического разложения. Температура образца ЛГМ контролировалась термопарой 7.

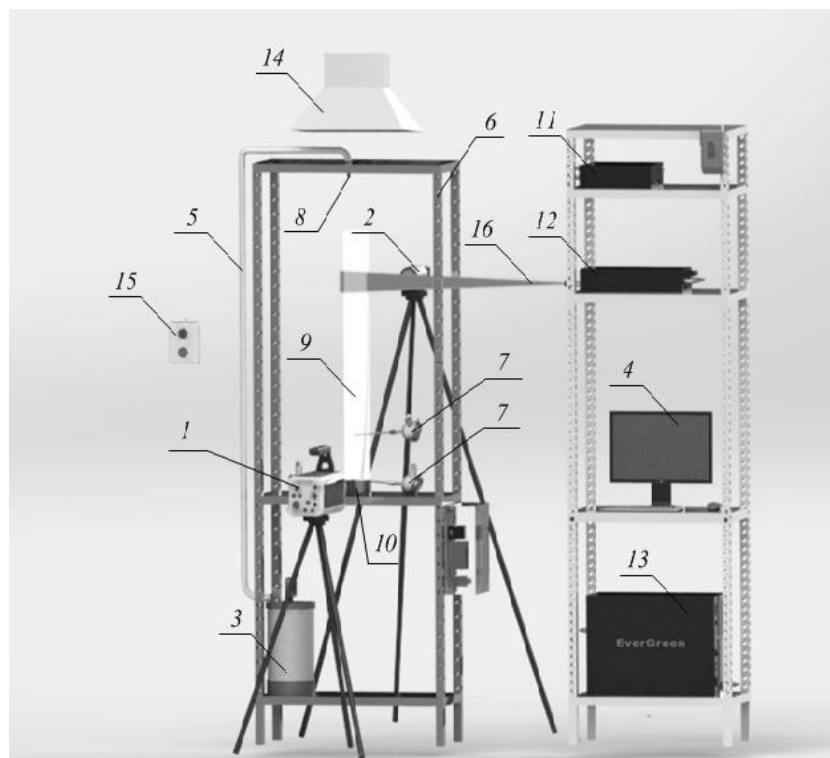


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1 – высокоскоростная видеокамера; 2 – кросскорреляционная камера; 3 – емкость с водой; 4 – ПК; 5 – канал подачи воды; 6 – штатив; 7 – термопары; 8 – распылитель; 9 – полый канал цилиндра; 10 – подложка; 11– синхронизатор ПК, кросскорреляционной камеры и лазера; 12 – двойной твердотельный импульсный лазер; 13– генератор лазерного излучения; 14– нагнетательная система; 15– пульт управления нагнетательной системы; 16 – световой «нож» лазера

На рис. 2 представлена видеोगрамма эксперимента с подавлением реакции термического разложения листьев березы парогазовой смесью.

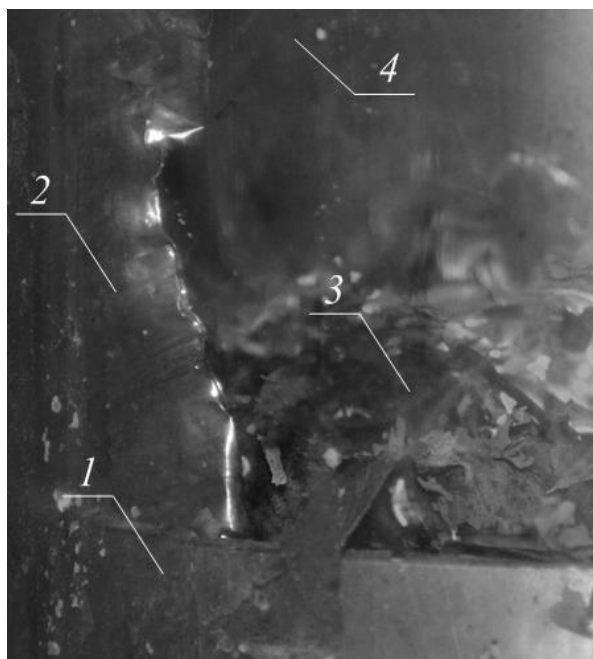


Рис. 2. Видеограмма эксперимента с подавлением реакции термического разложения ЛГМ (листьев березы) пароводяной смесью: 1 – металлическая подложка; 2 – полый цилиндр; 3 – лесной горючий материал; 4 – пароводяная смесь

На рис. 3 приведены характерные времена (t_d) подавления реакции термического разложения ЛГМ (листьев березы) от толщины прореагировавшего слоя ЛГМ (L_f).

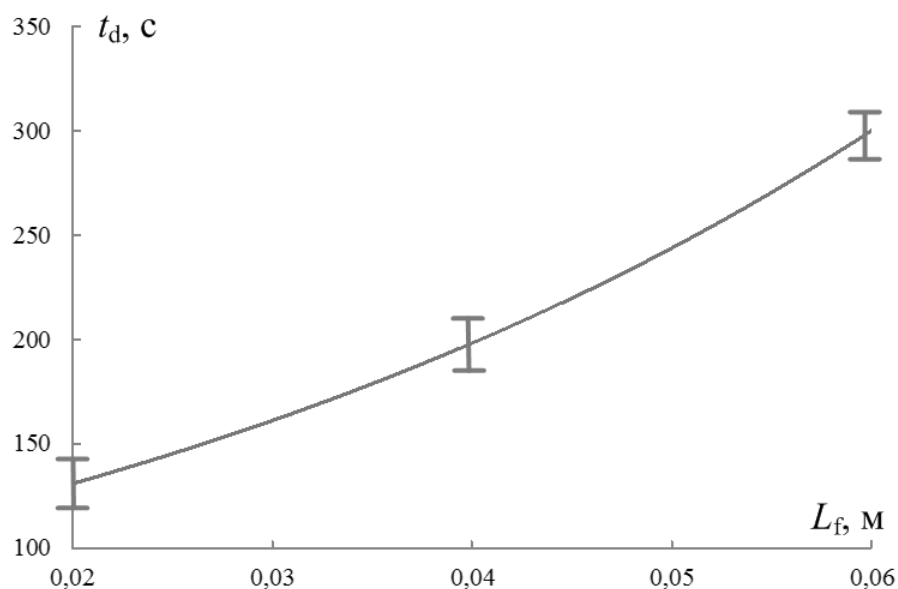


Рис. 3. Характерные времена подавления реакции термического разложения ЛГМ (листьев березы) при воздействии парокапельной смесью

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что реакция термического разложения ЛГМ прекращает-

ся в течение времен, не превышающих 350 с при толщине прореагировавшего слоя до 0,06 м. Поскольку в реальных условиях низового пожара выгорает лесная подстилка толщиной, не превышающей 0,05 м, то полученные значения можно считать предельными.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о нецелесообразности сброса больших по массе объемов водяных снарядов при тушении лесных пожаров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. – 301 с.
2. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – Новосибирск: Наука, 1992. – 408 с.
3. Олейник Е.Б. О необходимости комплексного преобразования системы охраны лесов от пожаров // Актуальные вопросы современной науки. – 2011. – № 18. – С. 324–332.
4. Пиджаков А.Ю., Решецкий Ф.Н., Гаврилова О.В. Применение авиации МЧС России при тушении лесных пожаров // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2011. – №1. – С. 68–71.
5. Горшков В.С., Москвлин Е.А., Хасанов И.Р. Оценка параметров тушения лесных пожаров авиационными средствами // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их источников: сборник тезисов научно-практической конференции. – Москва: ИИЦ ВНИИ ГОЧС, 2001. – С. 34–35.

Научный руководитель: А.О. Жданова, ассистент каф. АТП ЭНИН ТПУ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ЧУВСТВИТЕЛЬНОМ ЭЛЕМЕНТЕ РТУТНОГО МАНОМЕТРИЧЕСКОГО ТЕРМОМЕТРА

Л.Е. Валиева, А.А. Горлова, А.В. Полянская
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5Б42

Измерение температуры является важным компонентом систем контроля качества и безопасности многих промышленных производств, а также важной составляющей большинства прикладных научных исследований, связанных с температурными влияниями. В зависимости от объекта и условий выполнения измерений используются контактные и бесконтактные средства измерений. Среди контактных средств измерения широкое применение получили термопреобразователи (термометры сопротивления, термопары), а также манометрические термометры [1–4].

Манометрические термометры используются для измерения температуры газов и жидкостей в диапазоне от -50 до $+600$ °С. Принцип действия манометрических термометров основан на зависимости давления рабочего тела (газа или жидкости) от измеряемой температуры.

Манометрические термометры получили достаточно широкое распространение: они используются в системах контроля и управления технологическими процессами в энергетике, металлургической, пищевой и других видах промышленности [1–3].

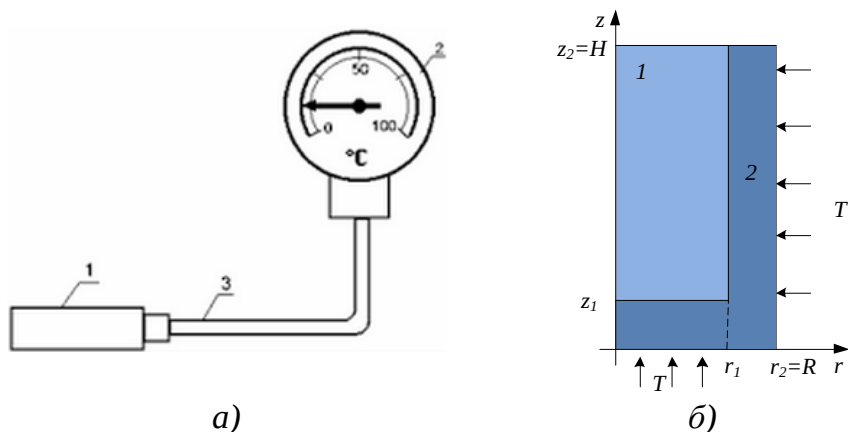


Рис. 1. Конструкция манометрического термометра (а) и схема области решения задачи (б)

Конструкция чувствительного элемента манометрического термометра (рис. 1, а), как правило, включает термобаллон 1, шкалу 2 и капилляр 3.

Целью настоящего исследования является моделирование чувствительного элемента манометрического термометра (термобаллона) и исследование интегральных характеристик нестационарного процесса теплопереноса в типичном чувствительном элементе манометрического термометра.

При моделировании рассматривается задача теплопроводности для области, представляющей неоднородную систему, включающую защитный чехол и рабочее вещество (рис. 1, б).

Нестационарный процесс переноса тепла в чувствительном элементе описывается системой дифференциальных уравнений:

$$c_1 \cdot \rho_1 \cdot \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right), \quad 0 < r < r_1, z_1 < z < H;$$

$$c_2 \cdot \rho_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right), \quad 0 < r < R, 0 < z < z_1; r_1 < r < R, z_1 < z < H;$$

где ρ_i – плотность материала, c_i – удельная теплоемкость материала, λ_i – коэффициент теплопроводности материала

Математическая модель включает следующие граничные и краевые условия.

$$\begin{aligned} T_1(r_1, z) &= T_2(r_1, z) \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} \Big|_{r=r_1} &= -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} \Big|_{r=r_1} & r=r_1; z_1 < z < H \\ T_1(r, z_1) &= T_2(r, z_1) \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} \Big|_{z=z_1} &= -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} \Big|_{z=z_1} & z=z_1; r_1 < r < R \\ \frac{\partial T}{\partial z} &= 0; \quad \frac{\partial T}{\partial r} = 0 & z=H; r=0 \\ T &= T_r & z=0; r=R \end{aligned}$$

Начальная температура чувствительного элемента манометрического термометра составляла 293 K.

Моделирование выполнено с учетом теплофизических характеристик материалов, изменяющихся с изменением температуры:

$$\begin{aligned} c(T) &= 2 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 - 0,0002 \cdot T^2 + 0,0375 \cdot T + 138, \\ \rho(T) &= -7 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 + 0,0009 \cdot T^2 - 0,2733 \cdot T + 121, \\ \lambda(T) &= 2 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 - 0,0003 \cdot T^2 + 0,1333 \cdot T - 14. \end{aligned}$$

Приведенные зависимости получены с помощью метода наименьших квадратов на основании справочных данных [5]. Диаметр термобаллона принят равным 16 мм, длина термобаллона составляет 110 мм.

Одной из определяемых характеристик является минимально необходимая длительность нагревания термометра. Длительность нагрева определялась как продолжительность нагревания, необходимая для того, чтобы температура рабочего вещества отличалась от измеряемой температуры на величину, не превышающую допускаемую погрешность измерения [6].

Зависимость длительности нагревания от измеряемой температуры для ртутных манометрических термометров приведена на рис. 2.

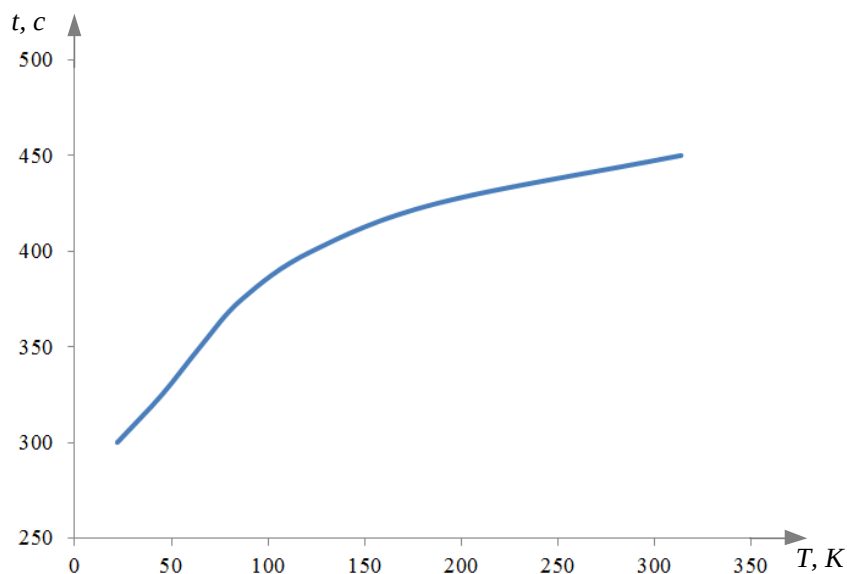


Рис. 2. Зависимость длительности нагревания от измеряемой температуры

Из представленных данных видно, что зависимость минимально необходимой длительности нагревания от измеряемой температуры не линейна. Определение температурного поля в чувствительном элементе выполнено при двух значениях расчетного шага по времени (0,001 секунда и 0,01 секунда) с целью определения влияния указанного параметра на результаты расчетов. Полученные температурные поля показаны на рис. 3.

Распределение температуры в чувствительном элементе манометрического термометра свидетельствует об интенсивном нагреве защитного металлического чехла, и о более длительном нагреве рабочего вещества.

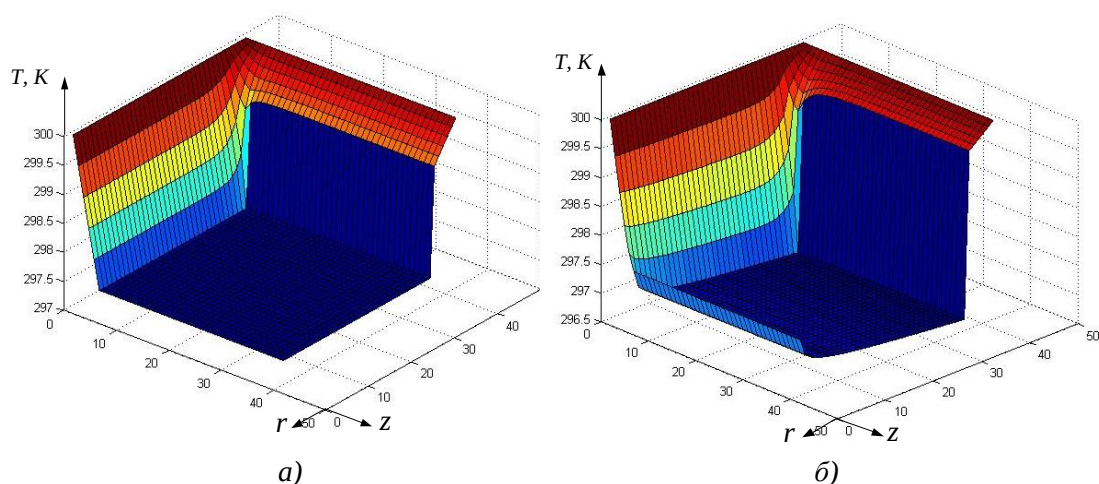


Рис. 3. Температурное поле в термобаллоне: *а* – расчетный шаг по времени $\tau=0,001$ с; *б* – расчетный шаг по времени $\tau=0,01$ с

Сравнительный анализ рис. 1, а и рис. 1, б показывает, что при шаге по времени $\tau=0,01$ секунда наблюдаются значительные неточности расчета: завышенные значения температуры на оси z . Приведенные данные позволяют сделать вывод о том, что использование шага по времени $\tau=0,01$ с не приемлемо при выполнении численных исследований процесса теплопереноса в чувствительном элементе манометрических термометров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Childs, P.R.N. Advances in temperature measurement // Advances in Heat Transfer. – 2003. – № 36. – 111–116 p.
2. Схиртладзе А.Г., Быков С.Ю., Схиртладзе С.А. Восстановление работоспособности манометрических термометров // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – № 7 (110), 58–60 с.
3. Practical Temperature Measurement // Peter R.N. Childs, B.Sc. (Hons), D.Phil., C.Eng., F.I.Mech.E. - Butterworth-Heinemann, 2001. – 368 p.
4. Atroshenko Y. K., Strizhak P. A. and Yashutina O. S. Determination of necessary time of measurements of surface thermocouples depending on conditions of technological processes (Article number 01061) // EPJ Web of Conferences 82, 2015.
5. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам жидкостей и газов. – М.: Альянс. – 2014. – 720 с.

6. ГОСТ 16920-83. Термометры и преобразователи температуры манометрические. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов. – 1984. – 14 с.

Научный руководитель: Ю.К. Атрошенко, ассистент каф. АТП ЭНИН ТПУ.

УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫМИ РЕЖИМАМИ УДАЛЕННЫХ МАЛООБСЛУЖИВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

М.Н. Морозов, П.А. Стрижак
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП

В настоящее время проблема повышения энергоэффективности остро стоит для многочисленных объектов, расположенных в северных районах России. К таким объектам относятся метеостанции, научные станции, объекты нефтегазотранспортной системы и др. Проблема нерационального использования энергии напрямую влияет на развитие промышленной инфраструктуры, строительство новых нефте- и газопроводов, вызывая дефицит генерирующих мощностей. Учитывая удаленность большей части таких объектов от централизованных источников энергоснабжения, а также относительно высокую стоимость тарифов на энергию, крайне важно обеспечить повышение энергетической эффективности. Известно, что весомая часть энергии расходуется на поддержание климата [3] в производственных помещениях. Учитывая расположение большинства удаленных объектов в суровых климатических условиях, имеется значительный потенциал энергосбережения.

Цель работы заключается в исследовании определенного класса удаленных объектов для определения наиболее оптимальных мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности объектов, а также для оценки потенциального энергосберегающего эффекта. В качестве объекта исследования выбран блок-контейнер, как наиболее распространенная мобильная платформа для размещения широкого класса оборудования: автоматические метеостанции, системы связи, сепарационные и компрессорные установки для добычи газа, системы измерений количества и показателей качества нефти, утилизация попутного нефтяного газа, автономные источники энергии и т.д. Для исследования тепловых процессов указанного объекта разработана имитационная модель (рисунок 1), позволяющая минимизиро-

вать риски, связанные с исследованием реального объекта [2]. В качестве программной платформы выбрано приложение Simulink [4]. Использование библиотеки Simscape позволило применить концепцию «акаузального» моделирования [1].

Исследования большинства решений на базе блок-контейнеров позволили выявить значительный потенциал энергосбережения: наиболее проблемным местом является тепловой режим объекта. Большинство объектов спроектированы при условии эксплуатации при избыточных для производственного процесса параметрах климата (базовый вариант): системы обогрева поддерживают постоянную температуру в помещениях на уровне $T_{in\ set} = 16-20\ ^\circ\text{C}$ в зависимости от назначения помещений.

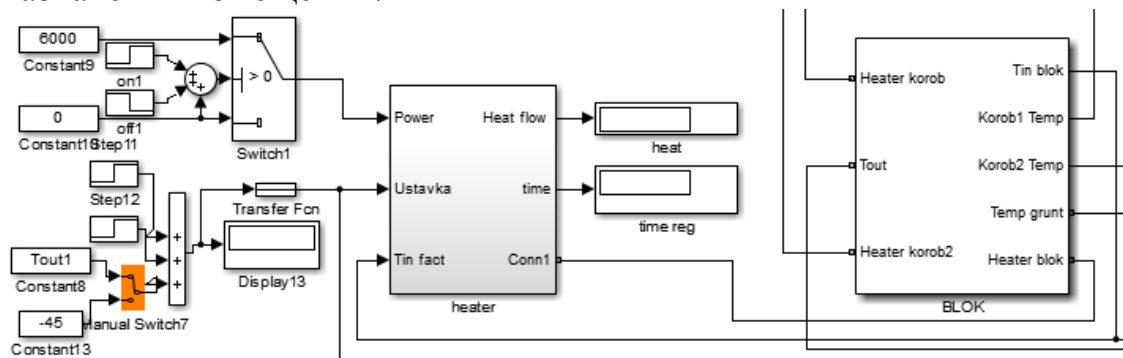


Рис. 1. Фрагмент имитационной модели удаленного объекта в Matlab

Для достижения целей данной работы рассмотрены следующие варианты оптимизации тепловых режимов:

1. вариант №1 – внедрение специализированного энергосберегающего режима объекта, позволяющего поддерживать относительно низкую температуру воздуха в помещении $T_{in\ block} = 4\ ^\circ\text{C}$ (для конкретных объектов значение необходимо корректировать с учетом допустимых климатических условий эксплуатации оборудования, расположенного в блок-контейнере);
2. вариант №2 – отказ от постоянного обогрева всего объема блок-контейнера в пользу локальных объектов, например: шкаф автоматики и контакторов, шкаф аккумуляторных батарей и др.

Исходные данные:

- состав оборудования блок-контейнера: 5 шкафов электроники, размерами дл.0,6 м, шир. 0,6 м, выс. 1,8 м; блок-контейнер имеет размеры: дл. 12 м, шир. 3,05 м, выс. 2,5 м;
- характеристики тепловой изоляции: материал – пенополиуретан, теплопроводность $0,045\ \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$, теплоемкость $840\ \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$;
- температура наружного воздуха $T_{ext} = -45\ ^\circ\text{C}$;
- отопительная система: электрические конвекторы.

Результаты исследований представлены на рисунках 2 и 3. Согласно полученным данным суточное потребление электроэнергии на обогрев составило 73,8 кВт·ч (базовый вариант), 59,2 кВт·ч (вариант №1), 24,7 кВт·ч (вариант №2). При этом наблюдается энергосбережение для 1-го варианта оптимизации на уровне 14,2 кВт·ч. Переход к локальному обогреву полезного внутрищитового пространства (вариант №2) позволяет сократить энергопотребление на 49,1 кВт·ч или на 298,8 %.

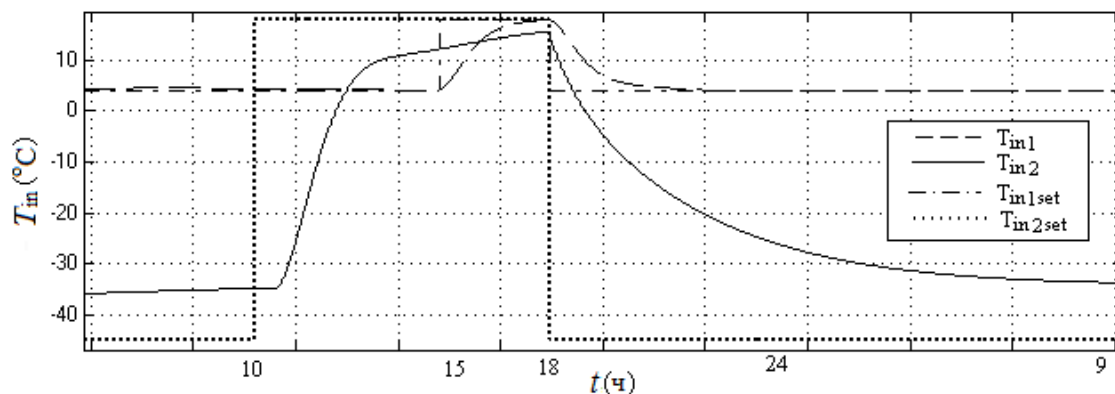


Рис. 2. Температура воздуха: T_{in1} , T_{in1set} – фактическая и заданная температуры воздуха в блок-контейнере согласно варианту оптимизации №1, T_{in2} , T_{in2set} – фактическая и заданная температуры воздуха согласно варианту №2

Тем не менее, вариант с локальным обогревом требует более тщательного обсуждения на предмет удобства эксплуатации, монтажа и др. Также в этом случае затруднено управление тепловыми режимами из-за значительного температурного перепада (-49 °C) между температурой шкафного пространства и окружающей средой.

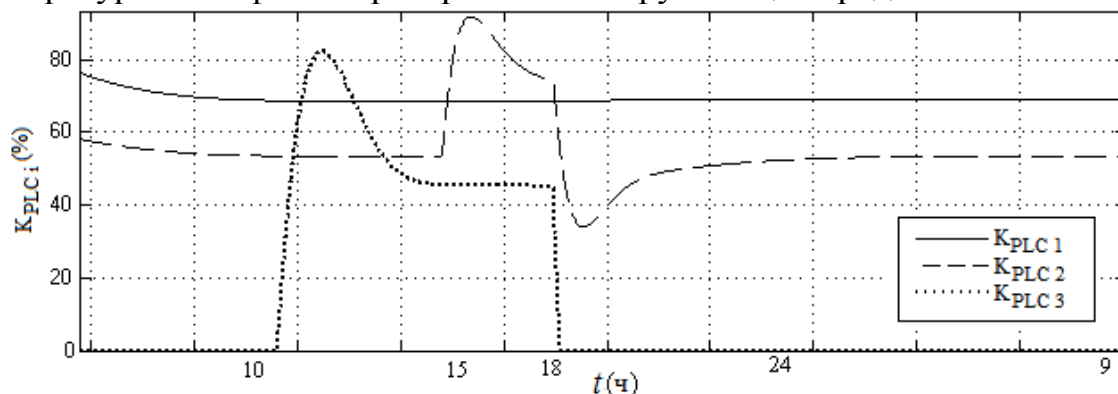


Рис. 3. Выходной сигнал контроллера системы регулирования климата K_{PLCi} : K_{PLC1} – базовый вариант (без оптимизации энергопотребления); K_{PLC2} – согласно варианту оптимизации №1; K_{PLC3} – согласно варианту оптимизации №2

Согласно проведенным исследованиям (рисунок 2), для проведения обслуживания объекта с локальным обогревом, необходимо за-

ранее подать команду в систему управления объектом для включения электроконвекторов общего обогрева. Процесс прогрева помещения блок-контейнера занимает до 5-7 часов при экстремальных температурах окружающей среды.

Таким образом, оптимизация тепловых режимов существующих удаленных объектов может сократить энергопотребление до трех раз при условии перехода на локальный обогрев внутрищитового пространства.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект 14-08-00057).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Broman D., Fritzson P. Higher-order acausal models // Proceedings of the 2-nd International workshop on equation-based object-oriented languages and tools. – Paphos, Cyprus, 2008. – P. 59 – 69.
2. Kim J. B., Jeong W. S., Clayton M. J., Haberl J. S., Yan W. Developing a physical BIM library for building thermal energy simulation // Automation in construction. – 2015. – V. 50. – № 2. – P. 16 – 26.
3. Oldewurtel F., Sturzenegger D., Morari M. Importance of occupancy information for building climate control // Applied energy. – 2013. – V. 101. – № 1. – P. 521 – 532.
4. Добротин С.А., Прокопчук Е.Л. Синтез системы упреждающего управления процессом подачи тепла на отопление здания // Проблемы региональной энергетики. – 2011. – № 2. – С. 53 – 65.

Научный руководитель: П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., профессор, зав. каф. АТП ЭНИН ТПУ.

CONTROL OF CATALYTIC HEATER FOR SMART HOUSE TECHNOLOGY

T.N. Kruglova, D. Sayfeddine

South Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russia

Introduction

Heating is one of the essential needs for living. Human has realized the importance of this factor and its influence on his survival since his existence. Maintaining the heat source was one of the essential tasks the human trying to achieve. Until now, this issue pertaining as the quest for a reliable, pollution-free, inexpensive and reusable heat source still actual tech-

nological and ecological topic. As the definition of heat is changing with the new scientific development, human keeps trying to perfect an invention of heat generating source. Relatively, he has succeeded in this especially with the discovery of the oil. Due to the financial perturbation, economic crises and wars the supply chain of the oil product is always affected, which creates difficulties in satisfying the criterion price-logistics management. Countries unwilling to rely on the oil as primary heat source started exploration of new horizons such as green energy. In relation with the construction field, buildings nowadays are equipped with solar water heaters to maintain smooth flow of service around the clock. Talking about the developing and poor countries, solar energy-based systems are not affordable. Charcoal and animal oil are used. Chemical substance such as sodium acetate can be used to generate heat as well [1]. The average price of a metric ton is about 350 dollars, which is an affordable price. The concept of heat generation from such substance is based on super cooled fluid concept. The inconvenience of such solution is the melting process of the crystals so they can be reused. The following paragraphs will discuss this issue in details. The aim of the paper is to design an automated concept achieving the reusing cycle of the crystals thus to be integrated in the HVAC systems of buildings.

Heating and control concepts

Following the principles of the super cooled fluids; the heating source has a high freezing temperature in comparison to the water. For instance, the sodium acetate stored in thermal pads freezes at 54C. Eventually, the generated heat is not continuous and the temperature drops over time. The sodium acetate can be reused by allowing it to melt. In this case, it needs to be boiled. The sodium acetate is packed in a special isolative container (1) fixed to the wall through the enveloping container (4). The boiling temperature is achieved using electric heating elements (3) separated with isolator (2) from the chemical substance as shown in fig.1.

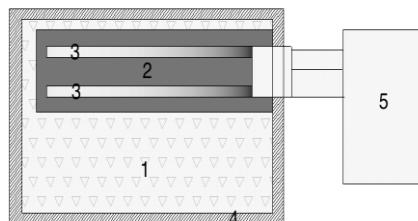


Fig.1. Heating concept

An observer (5), receiving information about emitted temperature, and strain of the enveloping container, gives control signal to generate input voltage to the electric elements (3). The latter, in their turn, generate temperature enough to melt the sodium acetate crystals so they can be reused. Obviously, this process should be maintained periodically with refer-

ence to the chemical substance quantity in use. Feedback signals are provided using temperature and strain sensors. The temperature sensors measure the heat emitted to the living area. In general, temperature between 18-22 degrees is maintained in a room. The strain sensor detects the volume increment of the enveloping container. This is necessary because sodium acetate occupies bigger volume in crystal stage then in melting stage. A triggering value is observed. Once, reached, the observer launches the melting process by allowing generation of input voltage for the electric elements. The step response of the electric element with reference to desired temperature is given in fig.2.

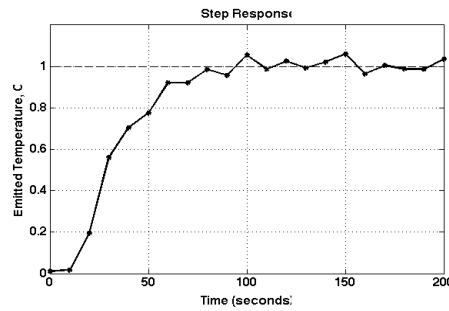


Fig.2. Step response of the electric element

The simulation results show that the observer was able to track the desired input. This permits the electric elements to generate melting temperature of the sodium acetate crystals theoretically. Practically, the sodium acetate enters in so-called inhibition time, where it does not generate any more temperature and cool down. This is the crystallization phase. Hence, the electric elements should work periodically and not as shown by the aperiodic step response curve. In order to obtain better simulation, it is necessary to simulate the room also [2,4]. Room temperature model (Fig.3.) is described using the following terms: t_R is the room temperature, C_R is the room heat capacity, Q_{SA} is the heat flow generated by the sodium acetate, Q_o is the heat flow generated by other heat source (i.e. sun, television etc.), Q_L is the lost heat due the construction materials and room dimensions and t_A is the ambient temperature [3].

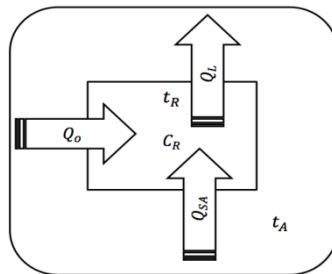


Fig.3. Room temperature model

The two equations governing the heat transfer are the heat balance and the heat loss laws. They are given as follows:

$$Q_{SA} + Q_o - Q_L = C_R \frac{d}{dt} t_R; \quad (1)$$

$$Q_L = K(t_R - t_A); \quad (2)$$

Where, equation (1) is the heat balance law, equation (2) is the heat loss and K is the heat loss coefficient.

Simulation results for the room temperature model without control is illustrated in fig.4. As it is seen, the value of the lost heat flow changes proportionally with the room temperature, which validates the heat loss law given in equation (2). The curves are obtained with a degree of randomization for smoothing purposes. Now it is possible to compile all the models together in order to achieve temperature control. The desired temperature is 20 degrees. Ideally, the heat flow generated by other heat source can be neglected. But it plays essential role to bring the model more to reality.

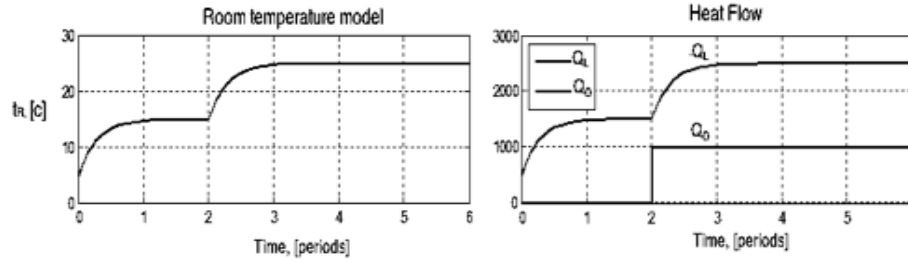


Fig.4. Temperature and heat flow with no control

The curve shows that the room temperature was maintained around 20 degrees. The perturbations are due to periodic switch on process. As it can be seen, the value of the room temperature depends of the Q_o value indicated in fig.4. The results in fig.5 endorse those obtained earlier. Another factor to consider while reading the curves is the purity of the sodium acetate molecules. In our presented work, the crystals were considered ideal with infinite reusing cycle and identical heat generation capability. The enveloping container is considered to be ideal and it does not block heat transfer. In practice, the container is more resistive and absorbs a proportion of the generated heat.

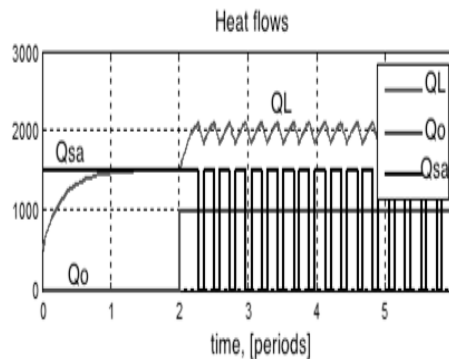


Fig.5. Heat control using room model

Our future work is concentrating on studying the effect of the free heat value generated from other sources on the control algorithm. For in-

stance, a camera will be fixed inside the room to study the hemodynamic activity in order to estimate generated heat from other source. This can be done by infrared and thermal imaging studies. These methods are most likely for static and zero movements inside the room. In order to study dynamic free flow intelligent systems based on fuzzy logic or neural network can serve the purpose of adaptive temperature control.

REFERENCES:

1. Hans Bauer et al. Thermal management of closed coupled catalysts. Society of automotive engineers, Inc. 1999. 12 pages.
2. Egidijus Kazanavicius et al. The heat balance model of residential house. Information technology and control 2006. Vol 35. pp- 391-396.
3. Bjarne Olsen. Control of floor heating and cooling systems. Clima 2000. Napoli world congress 2001. 15 pages.
4. Jae-ki Byun et al. Study on the development of an optimal heat supply control algorithm for group energy apartment buildings according to the variation of outdoor temperature. Energies 2012. 1686-1704.

МУЛЬТИКОПТЕРНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

И.И. Юнусов

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП, группа 5БМ53

В наше время беспилотные летательные аппараты являются достаточно сложными объектами управления, которые выполняют поставленные задачи в трехмерном пространстве с постоянно действующими силами гравитации и внешними возмущениями [1]. Воздушные мобильные роботы ориентированы на решение задач к которым можно отнести мониторинг больших площадей или определенных территорий. Их используют для снятия показаний температуры и атмосферного давления в непосредственной близости от объекта регулирования [2]. Немаловажным является применение беспилотных летательных аппаратов в теплоэнергетических расчетах, имеющих в своем распоряжении тепловизоры, и способных выполнять мониторинг объектов для фиксации утечек тепла [3].

Для осуществления наблюдения в условия ограниченного пространства были созданы мультикоптеры [4]. Мультикоптеры представляют собой разновидность летательных аппаратов, оснащенных четырьмя винтами [5] (так же имеются модели с шестью несущими винтами). Полёт мультикоптера осуществляется за счет подъемной силы которую создают несущие винты. Как правило винты расположены на крест-накрест пересекающихся балках и вращаются диагонально в противоположных направлениях, причем каждый винт приводится в движение отдельным двигателем.

Все основное оборудование устанавливается на платформе, которая состоит из рамы. На раме монтируется основная плата управления и приемо-передатчик для связи с наземным комплексом. На «лучах» рамы монтируются бесколлекторные двигатели, каждым из которых управляет отдельный регулятор. На платформе расположен специализированный процессор, который обрабатывает команды, полученные от операторской аппаратуры радиосвязи, и управляет стабилизацией платформы в горизонтальной плоскости. Стабилизация мультикоптера осуществляется за счет получения данных об углах наклона с трех гироскопов и акселерометров.

Устойчивый полет обеспечивает контроллер (microcontroller), главная задача которого состоит в стабилизации летающей платформы в воздухе в горизонтальном положении путем подачи управляющих сигналов двигателям. Он использует данные от гироскопических датчиков (gyros) и вычисляет скорость для каждого отдельного пропеллера. Контроллер также компенсирует влияние внешних воздействий, таких, например, как ветер.

Для того чтобы обеспечивался устойчивый полет необходимо оптимально настроить параметры контроллера беспилотного летательного аппарата. Система автоматического управления полетом беспилотного летательного аппарата представляет систему регулирования по трём осям XYZ, схема которой представлена на рисунке 1.

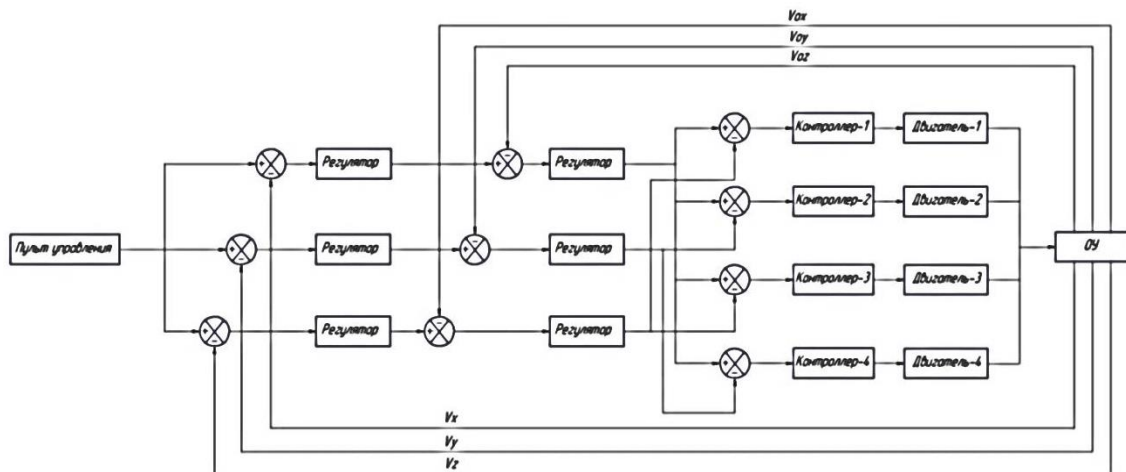


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического управления

Полет беспилотного летательного аппарата осуществляется за счет вращения четырех винтов, расположенных диагонально относительно платформы. Каждый винт имеет свой собственный двигатель, который приводит его в движение. Управление мультикоптером осуществляется путём изменения скорости вращения винтов.

В качестве регулирующего устройства используется микроконтроллер, на вход которого поступают сигналы с пульта управления и сигналы с датчиков, измеряющих скорость изменения координаты и углов относительно оси.

Работа контроллеров, подключенных к каждому двигателю, заключается в том, чтобы регулировать число оборотов и передавать двигателю энергию батареи. Для передачи энергии в контроллере используются силовые ключи, которые могут закрываться и открываться за долю секунды.

Оптимальные параметры регуляторов получены с помощью программного комплекса MatLab R2014. Для выполнения качественного регулирования необходимо знать о динамическом поведении объекта в пространстве. Синтез, т.е. процесс получения математического описания аппарата управления на основе экспериментальных данных на входе и выходе системы называется идентификацией объекта [6]. Результатом идентификации является графики импульсной или переходной характеристики объекта управления.

С помощью приложения PID Tuner, в которой проводилась идентификация, была получена переходная характеристика объекта (Рисунок 2). По данной переходной характеристике определяются параметры ПИД-регулятора

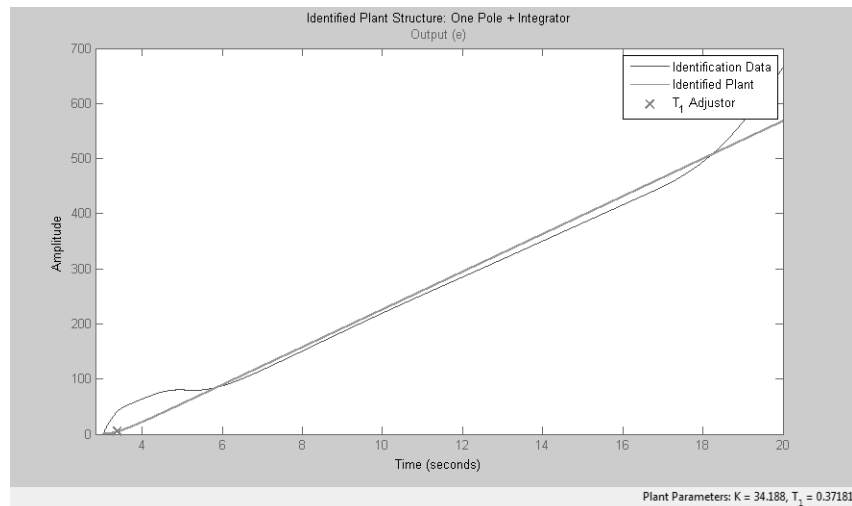


Рис. 2. Кривая разгона объекта управления

По полученной переходной характеристике с помощью программы matlab определяются коэффициенты настройки регулятора и его переходный процесс. Переходный процесс регулирования представлен на рисунке 3. Сплошная линия – это настроенный регулятор с оптимальными коэффициентами. Штриховая линия – ненастроенный регулятор с исходными параметрами.

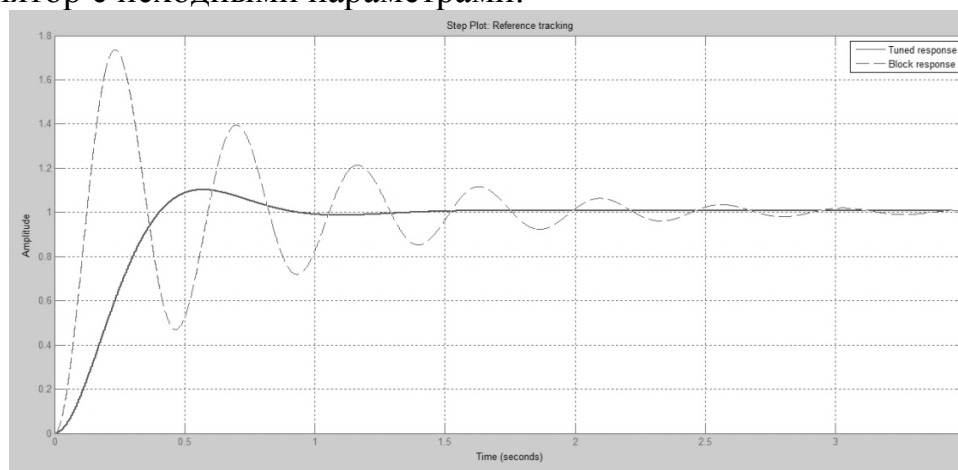


Рис. 3. Переходный процесс регулирования

Полученные коэффициенты регулятора представлены в таблице

1.

Табл. 1. Оптимальные коэффициенты настройки регулятора

Регулятор	K_P	T_I	T_D
ПИД	0,15757	0,0067143	0,045169

С помощью программного комплекса MatLab можно быстро и наиболее точно настроить параметры регуляторов различных сложных систем, таких как беспилотные летательные аппараты мультикоптерного типа. По итогам расчета получены оптимальные параметры для ПИД-регулятора системы автоматического управления.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Браверман А.С., Вайнтруб А.П. Динамика вертолета. Предельные режимы полета. М.: Машиностроение, 1988.
2. Hendrickx Marijn, Gheyle Wouter, Bonne Johan, Bourgeois Jean, Wulf Alain De, Goossens Rudi. The use of stereoscopic images taken from a microdrone for the documentation of heritage An example from the Tuekta burial mounds in the Russian Altay//Journal of Archaeological Science. 2011. Vol. 38. P. 2968 2978.
3. Braunl Thomas. Embedded Robotics. Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
4. Castillo Pedro, Lozano Rogelio, Dzul Alejandro E. Modelling and Control of Mini-Flying Machines. London: Springer, 2005.
5. Beji L., Abichou A., Slim R. Stabilization with Motion Planning of a Four Rotor Mini-rotorcraft for Terrain Missins//Fourth Int. Conf. on Intelligent Systems Desing and Applications (ISDA). 2004. P. 335 340.
6. Андык В.С. Теория автоматического управления: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 108 с.

Научный руководитель: С.В. Шидловский, д.т.н., профессор каф. АТП ЭНИН ТПУ.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕЧЕТКОЙ И ТРАДИЦИОННОЙ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА

А.М. Джамбеков

Астраханский государственный технический университет, кафедра автоматики и управления

На сегодняшний день важнейшим процессом нефтепереработки и нефтехимии является каталитический риформинг. Основной проблемой при математическом моделировании и управлении процесса каталитического риформинга является наличие большого количества информации о процессе, которую нельзя формализовать традиционным математическим аппаратом (информация о компонентном составе газосырьевой смеси, состоянии оборудования и пр.).

Математическое описание на основе теории нечетких множеств [1] позволяет представить качественную информацию в формализо-

ванном виде. Представляется возможным построение нечеткой системы регулирования на основе информации, сформулированной в виде правил типа: «если давление высоко и температура мала или очень мала, то управляющее воздействие большое положительное» [2].

Объектом исследования в данной работе является стабилизационная колонна установки каталитического риформинга. Целью данной работы является сравнительный анализ переходных процессов в системах регулирования температурой низа стабилизационной колонны с нечетким регулятором (НР) и ПИД-регулятором.

Структура системы управления температурой низа стабилизационной колонны К-2 с нечетким регулятором (НР) приведена на рис.1.



Рис. 1. Система управления с цифровым НР

Моделирование НР произведем с использованием пакета нечеткой логики (Fuzzy Logic Toolbox) интерактивной системы MATLAB. Выбрана система нечеткого вывода Мамдани, дефаззификация лингвистических переменных (ЛП) производится методом центра тяжести [3]. Примем число термов, с помощью которых оцениваются ЛП (входные и выходные параметры НР) ошибка регулирования температуры θ , скорость изменения (первая производная) ошибки $\dot{\theta}$, ускорение (вторая производная) ошибки $\ddot{\theta}$, управляющее воздействие на объект m , равным 3. Для входных и выходных переменных были использованы треугольные ФП.

Отобразим диапазоны изменения входных и выходного параметров НР $[\theta_{\min}; \theta_{\max}] = [-10; 10]$, $[\dot{\theta}_{\min}; \dot{\theta}_{\max}] = [-0,15; 0,15]$, $[\ddot{\theta}_{\min}; \ddot{\theta}_{\max}] = [-0,006; 0,006]$ и $[m_{\min}; m_{\max}] = [3; 11]$ на единое универсальное множество $U = [0, 1]$.

Имеем следующие аналитические выражения для каждой ЛП:

$$\begin{cases} \mu_1(u) = 1 - u, u \in [0, 1]; \mu_2(u) = u, u \in [0, 1]; \\ \mu_3(u) = \begin{cases} 2u, u \in [0, 1/2] \\ 2(1 - u), u \in [1/2, 1] \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

При поступлении на нечеткий регулятор (НР) значений входных переменных θ^* , $\dot{\theta}^*$ и $\ddot{\theta}^*$ осуществляется расчет величин u_1^* , u_2^* и u_3^* по формулам [4]:

$$\begin{cases} u_1^* = (\theta^* - \theta_{\min}) / (\theta_{\max} - \theta_{\min}) = (\theta^* + 10) / 20 \\ u_2^* = (\dot{\theta}^* - \dot{\theta}_{\min}) / (\dot{\theta}_{\max} - \dot{\theta}_{\min}) = (\dot{\theta}^* + 0,15) / 0,3 \\ u_3^* = (\ddot{\theta}^* - \ddot{\theta}_{\min}) / (\ddot{\theta}_{\max} - \ddot{\theta}_{\min}) = (\ddot{\theta}^* + 0,006) / 0,012 \end{cases} \quad (2)$$

и ФП $\mu^j(u)$, $j = \overline{1,3}$, по формулам (1).

Сформируем лингвистическое правило управления (рабочее правило) НР в виде:

$$\text{Если } (\theta^* = a_1^j) \text{ и } (\dot{\theta}^* = a_2^j) \text{ и } (\ddot{\theta}^* = a_3^j), \text{ то } (m^* = a_c^j), j = \overline{1,3}, \quad (3)$$

где a_1^j , a_2^j и a_3^j - лингвистические оценки ошибки, скорости изменения (первой производной) ошибки и второй производной ошибки, рассматриваемые как нечеткие множества, определенные на универсальном множестве, $j = \overline{1,3}$; a_c^j - лингвистические оценки управляющего воздействия на объект, выбираемые из терм-множества переменной m . Лингвистические оценки выбираются из терм-множества ЛП θ^* , $\dot{\theta}^*$, $\ddot{\theta}^*$ и m^* :

$$a_i^j \in \{\text{отрицательная}(1), \text{положительная}(2), \text{близкая к нулю} - \text{нулевая}(3)\} \quad (4).$$

Предложено получение данных правил управления на основе оценки конкретных значений ошибки регулирования температуры e , скорости изменения ошибки $e1$, ускорения ошибки $e2$ и управляющего воздействия на объект m путем фиксации данных величин в конкретные моменты времени и присвоения им оценки из терм-множества ЛП:

$$\begin{aligned} \theta^* &\in \{\text{отрицательная}(N), \text{положительная}(P), \text{нулевая}(Z)\} \\ \dot{\theta}^* &\in \{\text{отрицательная}(N), \text{положительная}(P), \text{нулевая}(Z)\} \\ \ddot{\theta}^* &\in \{\text{отрицательная}(N), \text{положительная}(P), \text{нулевая}(Z)\} \\ m^* &\in \{\text{отрицательное}(N), \text{положительное}(P), \text{нулевое}(Z)\} \end{aligned} \quad (5).$$

В результате полученных оценок была сформирована база знаний НР (рис.2).

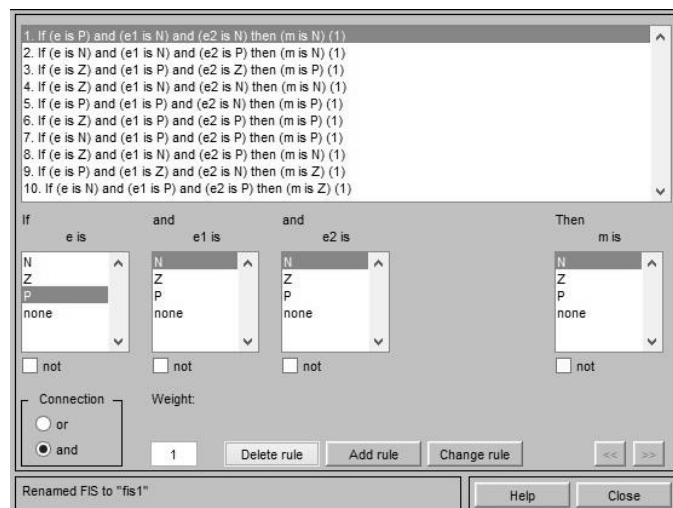


Рис. 2. База знаний НР

В результате проведенных оценок, формирующих вышеприведенную базу знаний, получаем систему регулирования температуры низа колонны К-2 с НР (рис.3).

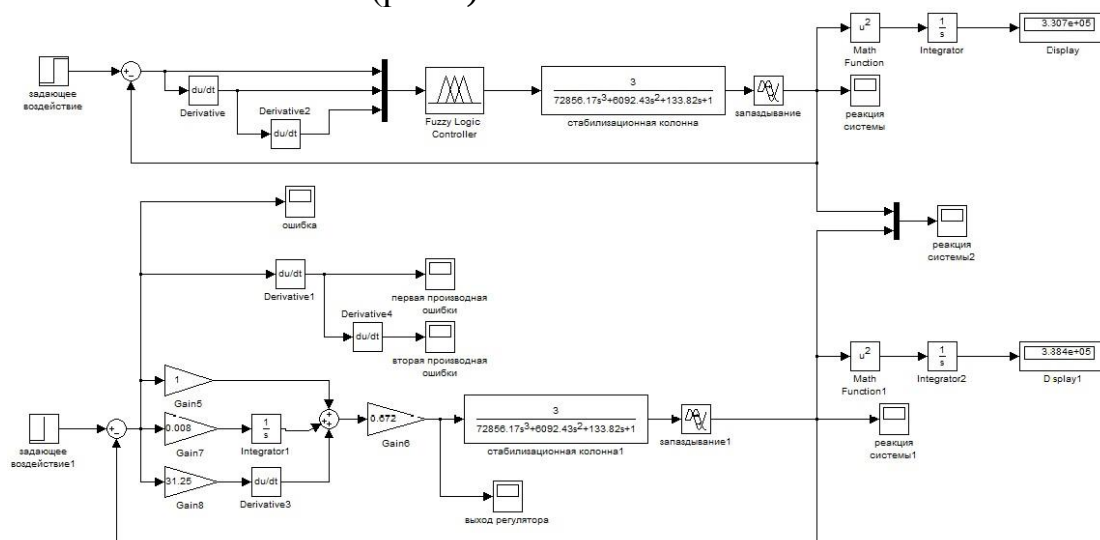


Рис. 3. Структурные схемы систем регулирования температурой низа колонны К-2

На рис.4 представлены переходные процессы в системах регулирования температурой низа стабилизационной колонны с НР и ПИД-регулятором.

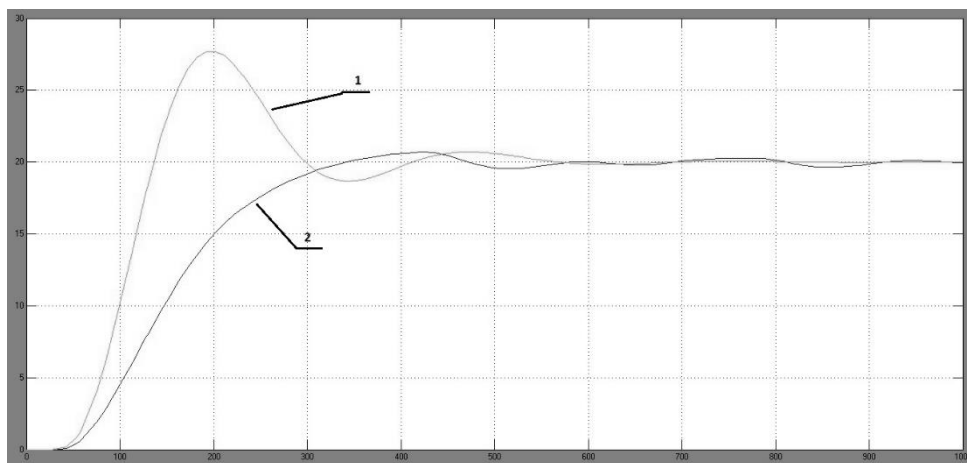


Рис. 4. Переходные процессы в системах: 1 – с ПИД-регулятором; 2 – с НР

По характеристикам переходного процесса система с НР превосходит систему регулирования с ПИД-регулятором. В частности, значение квадратичного интегрального критерия качества в системе с НР превосходит в примерно 1,17 раза соответствующее значение в системе с ПИД-регулятором. Величина перерегулирования в системе с НР примерно в 9 раз ниже соответствующей величины в системе с ПИД-регулятором. Таким образом, полученная система управления с НР позволяет получать переходные процессы с высокими показателями качества и может быть применена для разработки комплекса системы управления процессом каталитического риформинга.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Щербатов И.А., Проталинский О.М. Система поддержки принятия решений для операторов слабоформализуемых ТП // Автоматизация в промышленности. - 2009. - № 7. - С. 41.
2. Проталинский О.М., Щербатов И.А., Беляев И.О. Гибридный метод обучения нейронных сетей для классификации каталитической стадии процесса Клауса // Вестник Саратовского государственного технического университета. - 2010. - Т. 4, № 2. - С. 38-43.
3. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 288 с.
4. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. - 416 с.

Научный руководитель: И.А. Щербатов, к.т.н., доцент АГТУ.

MODELING OF A COMPLEX CONTROL SYSTEM OF DIGGING AND CONSTRUCTION CARS

T.V. Golubeva

Almaty University of Power Engineering & Telecommunications, Aerospace and Information Technologies faculty, Department of "ELECTRONICS"

Keywords: earth-moving machine, construction machine, 3D leveling systems, GPS, GLONASS, DDoS attacks to the management server.

Abstract. In article the problems arising with the creation of complex earth-moving and construction machine control systems are designated. These issues will have to deal in future.

Introduction

Today the manufacturers of road-building equipment exhibit high level of competition as well as toughening of requirements to quality and speed of projects' realization. An Equipment is upgraded and manual operations are replaced by automatic control systems (ACS), which leads to improvement of quality and increasing of productivity.

The road-building equipment's control systems (systems of levelling) are the equipment with which control is made in automatic or manual mode of the position of the operating part of building equipment (dump of grader or bulldozer). These systems are robust, compact and easy to use, they are easily upgraded, allow to solve various problems of any complexity, and meet all the requirements for operation in severe conditions of the construction site. The block diagram of the developed complex earth-moving and construction machine control system we see on Fig. 1

The basic purpose of the ACS is a definition of the position of the machine's operating part and management by it during the earth work for the purpose of copying of the project on the ground with extreme precision. [1]

In addition, when placed the additional sensors on the machines and upgrading the control software, the system will allow controlling the fuel consumption of each unit of equipment as well as operating time and idle time. When the on-board computer integrated with engine control system you can adjust the power of engine's work depending on the type of soil and weather conditions. Taking into account operating time, the software will be able to plan the time of the equipment's technical inspection and prevent idle time due to the failure.

The laser receiver mounted on a bulldozer was the first physical implementation of control systems. This system allows you to control only

one parameter - the direction of movement. Respectively, such systems were designated as 1D. In the future, 2D systems was widespread. The sensor that detects gradient has been connected. Herewith preparation of earth bed is provided in accordance with a specified heights and gradients. Both of these systems require a high level of professionalism from the excavator's operator.

Therefore development in the field of 3D levelling systems was initiated to further automate the process and relieving the load from the machine's operator. The principle of the implementation is based on the positioning the machine in space based on the data of GPS and GLONASS satellites, that allows in real-time define the position and velocity of each vehicle with sufficient accuracy . Coordinates, speed as well as other digital information that shows the required parameters of the state of equipment components (such as load of dump truck bodies) are automatically transferred to the control center using radio companies (dot server) and local area network to the control station. The server, equipped with radio equipment, means of computer technology and special software, automatically receives and processes incoming information. [2]

An digital project of required works is plotted on the map of the area and then transferred to the on-board computer considering the landscape in the existing software package, such as Autodesk AutoCAD Civil 3D. The operator of excavating machine will be able bypass the obstacles of various kinds that are usually are on the construction site, such as pipelines, power lines and drainage ditches. All of these objects can be specified in the project. When the excavating machine comes nearer to these areas, the sound warning is given to the operator in advance. [3]

Management of the operating part of the machine is made by means of the on-board computer based on digital project of area. To ensure the relevance of the data, the base station must have an additional channel of communication with the management server using the local features. In case of the remoteness of work place from cell communication towers, you can use the radio transmitters. However, taking into account the coverage area of cellular communication services, you can use a cheaper channel with the ability of remoteness of work places from a remote location management server and eliminate the time and cost for a permit to use frequencies that in densely populated areas may be impossible in general [4].

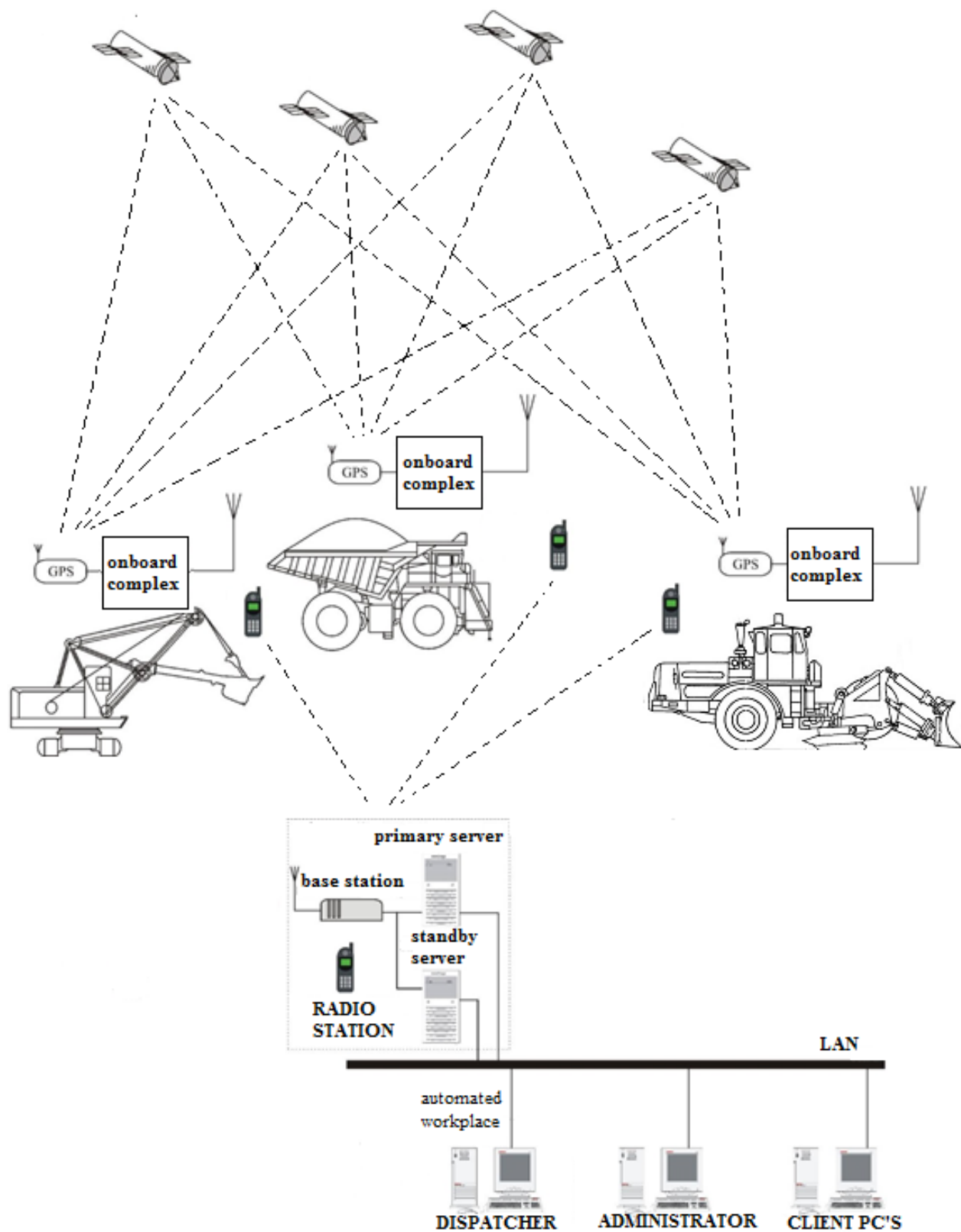


Fig. 1 - Block diagram of the developed complex earth-moving and construction machine control system

However, gaining the positive effect of the use of mobile networks for the control channel, it is necessary to think about its negative sides. Using of open Internet channel leads to certain risks. There is a probability of DDoS attacks to the management server, unauthorized change of data on the server or their losses. In addition, the channel of the mobile Internet is not always stable and depends on the load of the base station of telecom operator[5]. In this regard, it is necessary to take additional measures to protect and ensure the relevance of the data in digital project and data transfer rates and their changes to the on-board computers of working machines. It requires installation additional software to ensure encryption of transmitted data and its compression. It will avoid mistakes at the loss of data packets during transmission and imposing of data from different projects at work on several projects simultaneously[6,7].

There is a block diagram of the developed complex earth-moving and construction machine control system on Fig. 1. As a result of the conducted complex research the mathematical model of a complex earth-moving and construction machine control system will be developed. Then the software on modeling of all work of this system on the basis of which it is possible to investigate emergence of emergencies, both regular and supernumerary, will be developed. It will help to get rid of emergence of emergency or emergency situations from a human factor or considerably to reduce risk of it.

REFERENCES:

1. Information on <http://www.zeppelin.ru/> .
2. Information on <http://bilmard.ru>
3. Information on <http://www.gsi.ru/>
4. Kaimova G. T., Kaimov A., Kaimov S. Dispatching vehicles in remote areas using satellite technology. THE Bulletin of L.N.Gumilyov Eurasian National University (2012), № 4, p.196-199
5. Information on <http://dorazioenterprises.com/>
6. Information on <http://www.forconstructionpros.com/>
7. Information on <http://www.cat.com>

Research supervisor: Nikolay Sabirovich Adigamov, Dr. Phys-Math Sci, Professor, Kyrgyz-Russian Slavic University named after B.N. Yeltsin, Department of Mechanics

2-nd supervisor: Talgat Tatyshovich Kayim, Doctor of Technical Sciences, Professor, Almaty University of Power Engineering & Telecommunications

СЕКЦИЯ 3. РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ТОПЛИВОСЖИГАЮЩИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЛОАГРЕГАТА ЭЧМ-60-2 УМЕНЬШЕНИЕМ ТОНИНЫ ПОМОЛА УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

А.В. Кучеренко, А.В. Жуйков
Сибирский федеральный университет

Известно [1-2], что в котлоагрегатах интенсификация процесса пылесжигания возможна:

1. Разделением воздуха в топке котла на первичный и вторичный.
2. Выбором конструкции и компоновки горелок (обеспечивает развитую поверхность струй первичной смеси и организует приток высокотемпературных топочных газов).
3. Подогревом воздуха (повышает температурный уровень процесса горения и уменьшает количество тепла необходимого для нагревания смеси до воспламенения).
4. Тонким помолом пыли (за счет увеличения развитой поверхности реагирования ускоряется горение твердых частиц, повышается тепловыделение, сокращается время, необходимое для сгорания частиц пыли).

Цель работы: разработка технических решений по снижению повышенного недожога топлива и устранению причин смещения факела в топке котла ЭЧМ-60-2 на ООО «КраМЗЭнерго».

Пылеугольный водогрейный котел ЭЧМ-60-2 (рис. 1), установленный в промышленно-отопительной котельной ООО «КраМЗЭнерго», работает на ирша-бородинских углях

Котлоагрегат оснащен двумя молотковыми тангенциальными мельницами (рис.1) (тип ММТ-1500/1910/740, производительность 23,4 т/ч, число оборотов 740 об/мин) с сепаратором инерционного типа (рис. 2а).

По результатам измерений тонкости помола бурого угля до реконструкции сепаратора установлено, что топливная пыль характеризуется остатком $R_{90}=80-85\%$, $R_{500}=1-2,5\%$. При размоле бурых углей в молотковых мельницах тонкость помола рекомендуется [3] остатком $R_{90}=50-60\%$. Не соответствие нормам последнего привело к повышенному недожогу топлива и смещению факела в топке.

По результатам пусконаладочных работ установлено, что отрегулировать факел можно при тонкости остатком $R_{90}=60\%$. Однако это требует уменьшить подачу первичного воздуха на мельницу. Определено, что при подаче первичного воздуха на мельницу в количестве 30000 м³/ч средняя скорость в пылепроводе будет равна 1,5-3 м/с. При данных параметрах работы угольная пыль оседает на горизонтальных участках пылепроводов. Последнее является причиной загорания топлива внутри горелки или пылепровода с распространением огня по сепарационной шахте, деформацией и разрушением металлоконструкций.

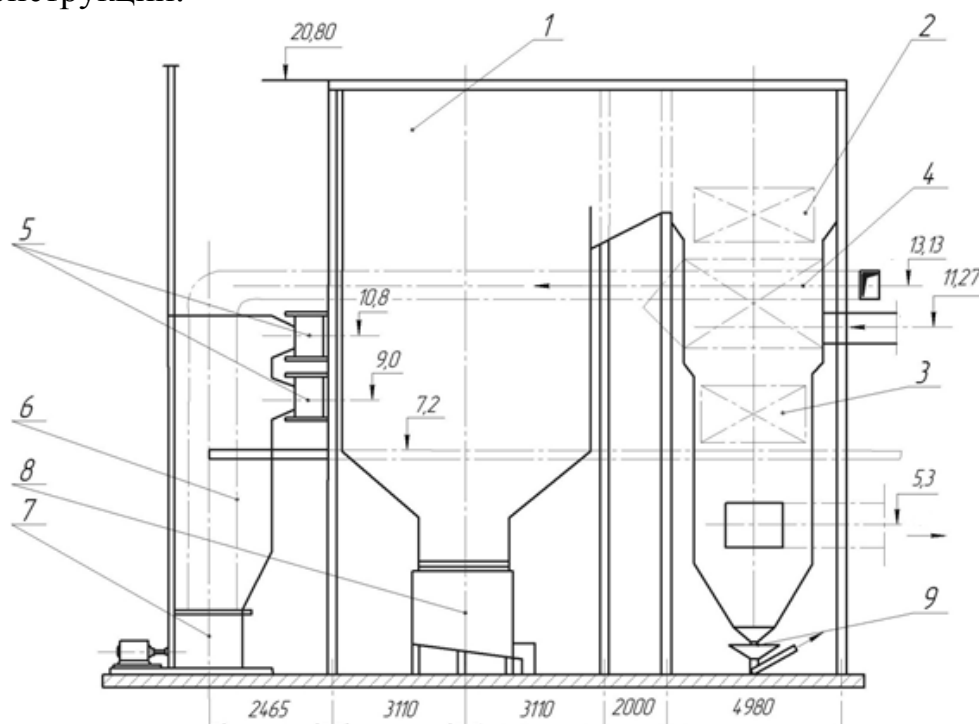


Рис. 1. Продольный разрез пылеугольного водогрейного котлоагрегата ЭЧМ-60-2: 1 – топочная камера; 2 – верхний конвективный пучок; 3 – экономайзер; 4 – воздухоподогреватель; 5 – пылеугольные горелки; 6 – шахтный сепаратор молотковой мельницы; 7 – молотковая мельница; 8 – камера гидравлического шлакоудаления; 9 – эжектирующее дробеструйное устройство.

После проведения реконструкции сепаратора (в соответствии с разработанными техническими решениями рис.2б) котлоагрегат работал более 6000 часов с нагрузкой 60 т/ч. По результатам измерений установлено, что частицы пыли, выбрасываемые ротором мельницы (рис.2б), делятся по ярусам сепарирующими вставками. В результате столкновения запыленного потока с ними (рис.2б) крупные частицы отскакивают от них и направляются на возврат, а мелкие вместе с воздухом выносятся из сепаратора. Достигнув передней стенки (рис.2б),

поток поднимается вверх и козырьком отклоняется к центру сепаратора. При этом часть крупных пылинок дополнительно выделяется из потока и возвращается в мельницу.

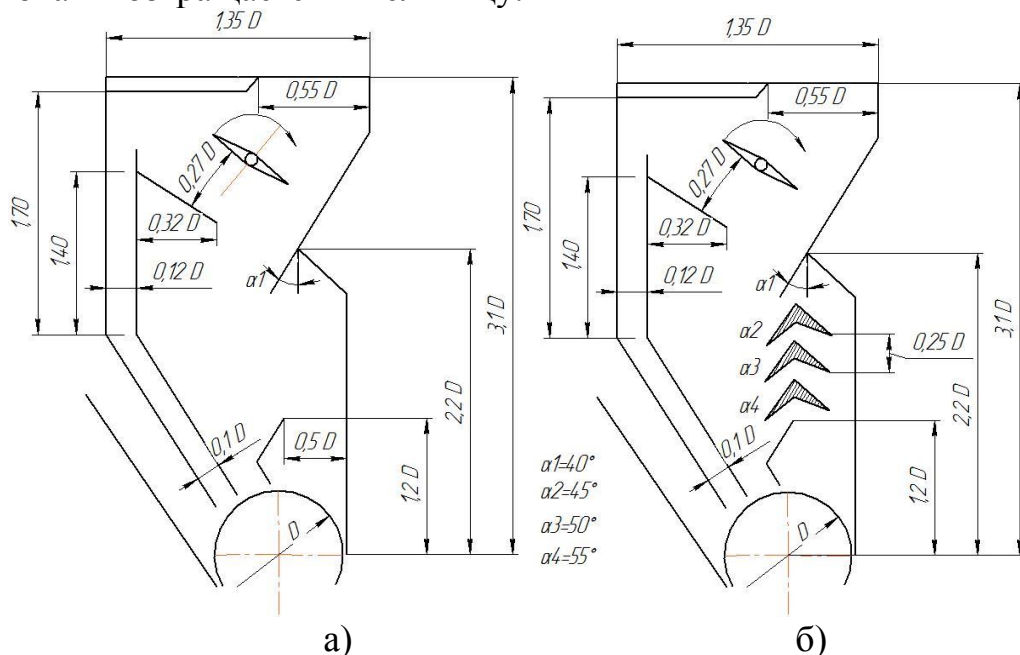


Рис. 2. Инерционный сепаратор угольной пыли: а) – до реконструкции; б) – после реконструкции, с рассредоточенным потоком.

Результаты режимно-наладочных испытаний при нагрузке 60 т/ч сведены в таблицу 1.

Табл. 1. Результаты испытаний котла до и после реконструкции

	КПДбрутто, % ($\pm 2-3\%$)	Q4, %	Q2, %
До реконструкции	87,4	4,1	8,5
После реконструкции	88,9	3,2	7,9

По результатам измерений после реконструкции топливная пыль характеризуется остатком $R_{90}=46-50\%$, $R_{500}=0,6-1,2\%$. Установлено, что аэродинамическое сопротивление в сепараторе снижено на 30%, кратность циркуляции уменьшена с $R_{ц}=2,7-3,3$ до 1,8-2,0. Потери с механическим недожегом снизились на 0,9%. Выравнивание факела в топке котла повлияло на температурный режим в топочной камере, что привело к снижению потерь с уходящими газами на 0,6%, вырос КПД брутто котла на 1,5%.

Выводы:

1. Не соответствие нормам размола бурых углей в молотковых мельницах является причиной повышенного недожога топлива и смещения факела в топке.

2. Внедрение в промышленно-отопительной котельной ООО «КраМЗЭнерго» разработанных технических решений по реконструкции сепаратора с рассредоточенным потоком позволило снизить аэродинамическое сопротивление в сепараторе на 30%, уменьшить кратность циркуляции с $R_{ц}=2,7-3,3$ до $1,8-2,0$. Потери с механическим недожегом снизить на 0,9% с уходящими газами на 0,6%.
3. Предложенная реконструкция сепаратора может быть использована на котлах средней мощности, работающих на бурых углях и оснащенные пылесистемой с прямым вдуванием.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лисейкин И.Д. Новые водогрейные котлы для систем теплоснабжения // Теплоэнергетика.- 2011.- №12. -С. 33-41.
2. Померанцев В.В. Основы практической теории горения - Л.: Энергия, 1973.- 264 с.
3. Хзмалян, Д.М., Коган Я. А. Теория горения и топочные устройства -М.: Энергия, 1996.-488 с
4. Тепловой расчёт котлов (нормативный метод), издание 3-е, переработанное и дополненное, НПО ЦКТИ-ВТИ, С-П., 1998.
5. Вербовицкого Э.Х., Жмерика Н.Г. Методические указания по проектированию топочных устройств энергетических котлов - НПО ЦКТИ-ВТИ, С-П., 1996 – 96с.
6. Трембовля В.И. и др., Фигнер Е.Д., Авдеева А.А. Теплотехнические испытания котельных установок / В.И.Трембовля и др., Е.Д. Фигнер, А.А Авдеева.- М: Энергоатомиздат,1991 – 153 с.

Научный руководитель: А.В. Жуйков, к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории «Биогеохимии экосистем», доцент кафедры «Теплотехника и гидрогазодинамика» СФУ.

ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА НИЗКОСОРТНОГО СЫРЬЯ: АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ЗАТРАТ

Р.Б. Табакаев¹, А.В. Астафьев², А.В. Казаков²

^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, ПГС и ПГУ, ²группа 5В21

Введение

Одной из основных проблем региональной энергетики Российской Федерации является низкая вовлеченность в энергетическое использование местных ресурсов органического сырья, как правило, низкосортного. Доля привозных энергоресурсов в региональных топливно-энергетических балансах в настоящее время составляет более 45% [1]. Учитывая большую протяженность территории нашей страны, затраты на транспортировку топлива увеличивают его стоимость в несколько раз, что неизбежно отражается и на величине тарифов тепло- и электроснабжения. В связи с этим поиск и разработка способов эффективного использования местного низкосортного сырья (НС) для нужд энергетики является актуальным направлением научных исследований.

Одним из перспективных и распространенных направлений является теплотехнологическая переработка НС в энергетические продукты для последующего изготовления на их основе твердого композитного топлива (ТКТ) – топливных брикетов и пеллет. Однако одним из главных аргументов противников данного направления является мнение [2], что теплотехнологическая переработка характеризуется крупномасштабным и расточительным потреблением топливно-энергетических ресурсов, сырья и мощным выбросом экологически вредных отходов.

Целью данной работы ставится анализ тепловых затрат производства ТКТ из низкосортного сырья на примере разработанной авторами теплотехнологии.

Основные аспекты теплотехнологии

Теплотехнология [3] включает предварительную термическую переработку НС в энергетически ценные продукты (углеродистый остаток и пиролизный конденсат) и последующее формование на их основе ТКТ (рис. 1). В качестве способа термической переработки НС выбран процесс пиролиза, температура которого не превышает 450°C .

Побочный продукт термической переработки – газ, сжигается для покрытия тепловых издержек теплотехнологии.

Формование ТКТ осуществляют на основе связующего вещества, полученного растворением декстрина в пиролизном конденсате в соотношении 1:10, и углеродистого остатка. Для этого углеродистый остаток смешивают со связующим в соотношении 2:3, формируют ТКТ и сушат полученный сырец от 20 до 80°C .

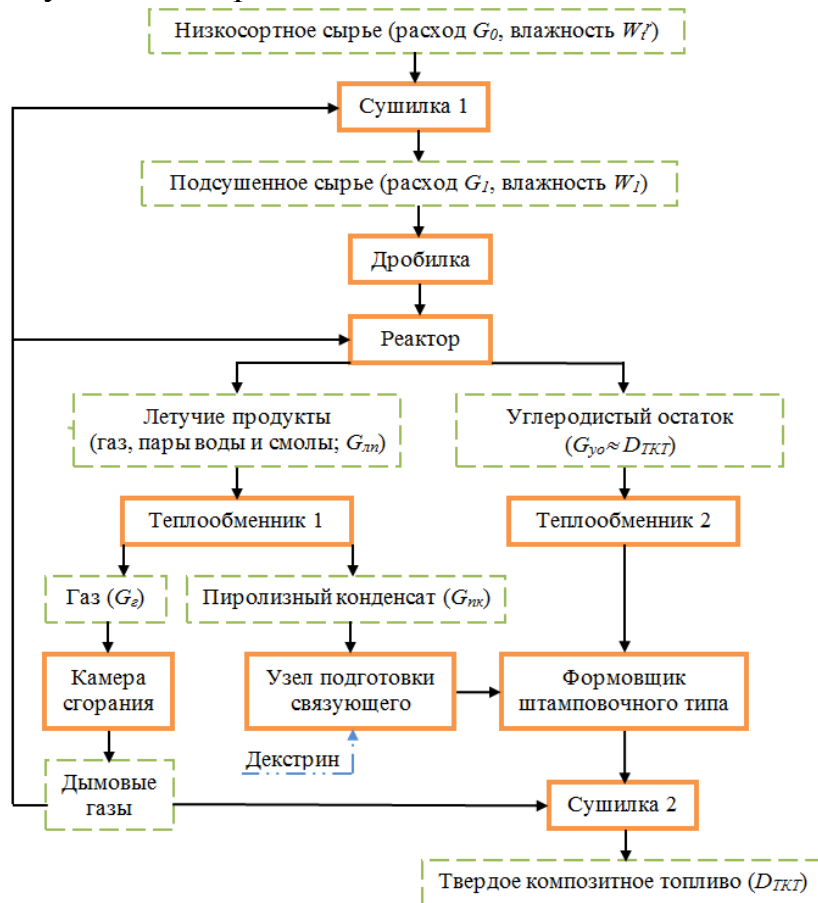


Рис. 1. Схема производства ТКТ: G_0 – расход НС, кг/с; W_t^r – влажность НС, %; G_1 – расход НС после подсушивания в сушилке 1, кг/с; W_1 – влажность НС после подсушивания, %; $G_{лп}$ – расход летучих продуктов, выделяемых в процессе пиролиза, кг/с; G_{yo} – расход углеродистого остатка, получаемого при пиролизе, кг/с; $D_{ТКТ}$ – производительность ТКТ, кг/с; G_r – расход газа, кг/с; $G_{пк}$ – расход пиролизного конденсата, кг/с

Анализ тепловых затрат теплотехнологии

Возможность получения ТКТ была исследована на нескольких видах НС Томской области: торф Кандинского месторождения, бурый уголь Таловского месторождения, опилки различных древесных пород, озерный сапропель Карасевского месторождения.

В процессе термической переработки высушенного НС наблюдалось положительное тепловыделение 0,33-3,69 МДж/кг [4]. При сжигании газа, побочного продукта теплотехнологии, возможно получение от 2,70 до 6,67 МДж тепловой энергии с каждого килограмма сухого перерабатываемого сырья. Таким образом, в процессе термической переработки 26-38 % от потенциально возможного тепловыделения НС может быть направлено на покрытие собственных тепловых нужд производства ТКТ.

При производстве ТКТ тепловая энергия необходима для осуществления сушки исходного сырья, его термической переработки и сушки сырца. Приблизительно оценить необходимые тепловые затраты возможно следующим образом.

Тепло на сушку НС:

$$Q_{c1} = (G_0 - G_1) \cdot r, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где r – теплота парообразования, кДж/кг.

Тепло на сушку сырца ТКТ (при соотношении углеродистого остатка и связующего вещества – 2:3):

$$Q_{c2} = \frac{3}{2} \cdot G_{y0} \cdot r, \text{ кВт}. \quad (2)$$

Тепло на термическую переработку НС можно разбить на несколько составляющих: испарение остаточной влаги ($Q_{тп1}$), нагрев сырья до температуры начала термического разложения ($Q_{тп2}$), осуществление пиролиза ($Q_{тп3}$), потерю с физическим теплом летучих продуктов ($Q_{тп4}$). При расчете необходимо учитывать выделение теплоты разложения органической массы НС ($Q_{разл}$) и тепловые потери в окружающую среду (Q_5). Соответственно формула для определения тепла, необходимого для осуществления термической переработки, примет вид:

$$Q_{тп} = Q_{тп1} + Q_{тп2} + Q_{тп3} + Q_{тп4} + Q_5 - Q_{разл}, \text{ кВт}, \quad (3)$$

где $Q_{тп1} = G_1 \cdot W_1 \cdot r$, кВт; $Q_{тп2} = C_p^{нс} \cdot G_1 \cdot (1 - W_1) \cdot (t_{нтр} - 20)$, кВт; $C_p^{нс}$ – теплоемкость НС, кДж/(кг·°С); $t_{нтр}$ – температура начала термического разложения НС, °С; $Q_{тп3} = C_p^{yo} \cdot \left(\frac{G_1 \cdot (1 - W_1) + G_{y0}}{2} \right) \cdot (450 - t_{нтр})$, кВт; $Q_{тп4} = C_p^{пк} \cdot (G_1 \cdot (1 - W_1) - G_{y0}) \cdot (450 - t_{нтр})$, кВт; Q_5 – потери в окружающую среду, кВт; $Q_{разл} = G_1 \cdot$

$(1 - W_1) \cdot Q_{\text{разл}}^{\text{НС}}$, кВт; $Q_{\text{разл}}^{\text{НС}}$ – теплота разложения органической массы НС (определяется по [5]).

Источником тепловой энергии помимо теплоты разложения органической массы для рассматриваемой теплотехнологии является тепло ($Q_{\text{Г}}$), полученное при сжигании газа. Результаты теплового расчета малотоннажного производства ТКТ (45 т/сутки) показаны в табл. 2. При этом принято, что благодаря длительному хранению на воздухе после добычи исходное НС поступает в сушилку 1 со значением влажности 45 % [5].

Табл. 2. Оценка тепловых затрат и тепловыделения производства ТКТ (45 т/сутки)

Низко- сортное сырье	Q_{c1}	Q_{c2}	$Q_{\text{ТП}}$					$Q_{\text{разл}}$	$Q_{\text{Г}}$	Сумма теп- ловых затрат и тепловы- деления
			$Q_{\text{ТП1}}$	$Q_{\text{ТП2}}$	$Q_{\text{ТП3}}$	$Q_{\text{ТП4}}$	Q_5			
	κBm									
торф	-301	- 1760	-1444	-149	-207	-1080	-29	2604	5497	3131
уголь	0		-2310	-322	-229	-385	-32	3247	2609	818
сапропель	- 1421		0	-257	-192	-332	-8	254	2043	-1673
опилки	-341		-2188	-496	-396	-913	-40	3991	$\frac{1119}{5}$	10812

Проведенный расчет показал, что при переработке торфа, бурого угля и опилок в ТКТ тепла, выделяющегося при разложении органической массы и сжигании газа, будет достаточно для покрытия тепловых нужд теплотехнологии. Для получения ТКТ из сапропеля необходимо покрытие около 1700 кВт за счет внешних ресурсов.

Выводы

Использование теплоты разложения органической массы топлива и теплоты сжигания побочных продуктов термической переработки позволяет полностью покрыть тепловые нужды производства твердого композитного топлива из торфа, бурого угля и древесных опилок. Производство топлива из сапропеля требует покрытия части тепловых затрат за счет внешних ресурсов.

Работа выполнена в рамках ГЗ НИР № 2069 (2.1322.2014).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» от 13 ноября 2009 г.
2. Клименко А. В., Зорин В. М. Теплоэнергетика и теплотехника: общие вопросы. – М.: МЭИ, 1999. – 528 с.

3. Пат. 2484125 Россия. МПК C10L5/44; C10L5/14; C10L5/26; C10F7/06. Способ изготовления топливных брикетов из биомассы / Р.Б. Табакаев, А.С. Заворин, А.В. Казаков и др.; заяв. 16.04.2012; опубл. 10.06.2013. – 7 с.: ил.
4. Табакаев Р.Б., Казаков А.В., Заворин А.С. Термическое обогащение низкосортного твердого топлива // Химия твердого топлива. – 2015. – № 5. – С. 3–9.
5. Колотушкин В.И. Справочная книжка торфяника. – М.: Недра, 1973. – 208 с.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ФАКЕЛЬНОМ СЖИГАНИИ КУЗНЕЦКОГО УГЛЯ В ТОПКЕ КОТЛА Е-420-140

А.А. Иванцов

Томский политехнический университет
ЭНИН, ПГС и ПГУ, группа 5В21

Одна из важных задач энергетики – обеспечить надёжную и экономичную работу котлоагрегатов, на которую влияет большое количество факторов. Одним из этих факторов является организация процесса горения топлива в топочной камере котельного агрегата. Важность процесса горения в технических устройствах способствует созданию различных моделей сжигания топлива. Одной из таких моделей является использование закрученных турбулентных струй. В топочной технике, где они получили особенно большое распространение. Закрученные струи применяются для повышения устойчивости воспламенения и интенсификации горения.

Целью данной работы является численное исследование влияния параметра крутки на топочные процессы при сжигании непроектного топлива в топке котла Е-420-140.

В данной работе рассмотрено влияние параметра крутки на процесс горения при замене проектного непроектным видом топлива. В качестве замещающего проектного топлива экибастузский уголь рассматривается непроектное топливо Кузнецкий каменный марки Д.

Численное исследование проводится с помощью программного комплекса FIRE 3D, состоящего из трёх основных приложений: Mesh Creator, Flow Searcher, Data Vision.

Кузнецкий уголь существенно отличается по теплотехническим свойствам от базового экибастузского угля, несмотря на это численное моделирование топочных процессов проводилось в базовой ком-

поновке с использованием вихревых горелочных устройств [1]. Аэро-смесь подавалась через канал с максимальной скоростью $W_a=17$ м/с, вторичный воздух с $W_a=22,5$ м/с.

На рисунке 1 представлены поля температур в вертикальном и горизонтальном сечениях при параметрах крутки 1- $n_1=0,8$, $n_2=1,5$, 2- $n_1=1,2$, $n_2=2,2$, 3- $n_1=1,5$, $n_2=3,4$.

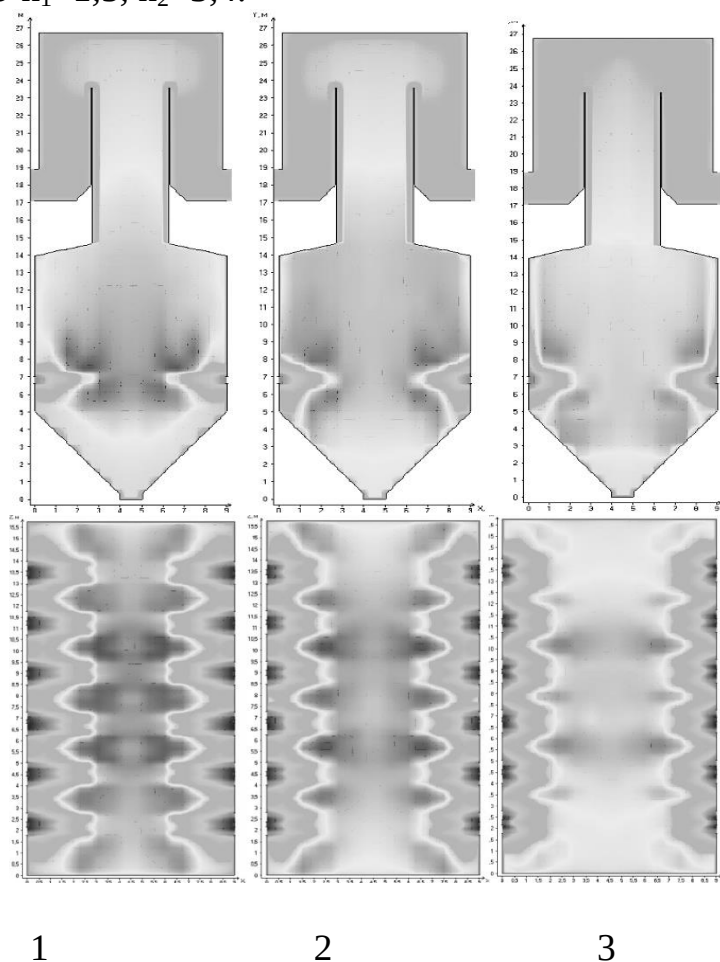


Рис. 1. Температурные поля при сжигании кузнецкого угля марки Д при различных параметрах крутки.

Поскольку данный уголь имеет большой выход летучих веществ на сухую беззольную массу (40,5%), который способствует воспламенению и интенсифицирует процесс горения, то температура первичного воздуха понижена до 140 °С, температура вторичного воздуха составила 370 °С. При сжигании кузнецкого угля наблюдаются большие теплонапряжения сечений топочной камеры, также видны зоны более высоких температур в сечении близком к пережигу топки при параметрах $n_1=1,2$, $n_2=2,2$ (рис. 1).

При $n_1=0,8$, $n_2=1,5$ заметна большая удаленность ядра факела от стен топочной камеры, при $n_1=1,2$, $n_2=2,2$ образуются более равномерные температурные зоны расположенные на расстоянии 1,5 – 3 м от

стен топки со средней температурой 1450 – 1550 К, также в нижней части топочной камеры при $n_1=1,2$, $n_2=2,2$ в области холодной воронки наблюдаются более высокие температуры по сравнению с температурами при меньших параметрах n . При $n_1=1,5$, $n_2=3,4$ ядро факела теряет свои четкие границы, в вертикальном сечении наблюдается наброс высокотемпературного потока на поверхности нагрева, значения температур превышают температуру начала плавления минеральной части данного угля, что имеет крайне негативные последствия.

Изменение средней и максимальной температуры по высоте топочной камеры при различных параметрах крутки показано на рисунке 2, по данным диаграммам видно, что при увеличении параметра n происходит увеличение температурного уровня в области холодной воронки, что объясняется большим углом раскрытия струи.

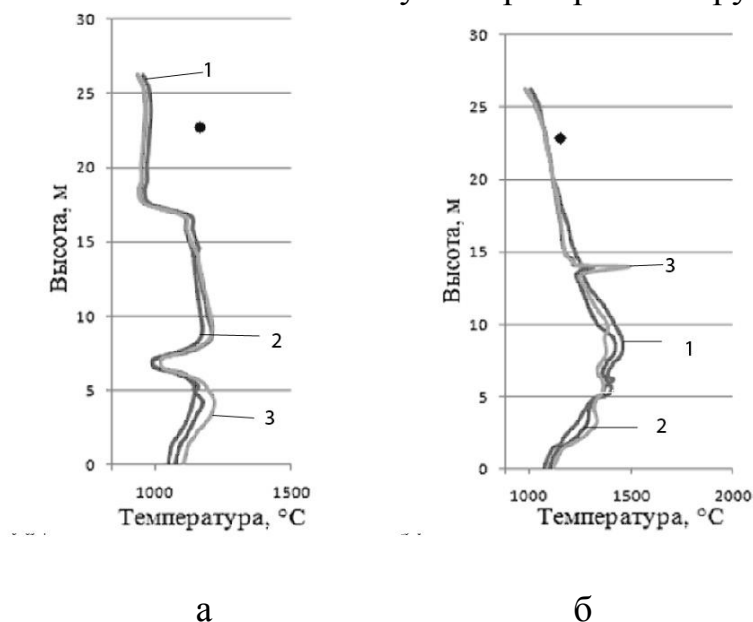


Рис. 2. Изменение температуры по высоте топочной камеры: а) изменение средн. температуры, б) макс. температуры

В вертикальных и горизонтальных сечениях топочной камеры при $n_1=0,8$; $n_2=1,5$ зоны концентрации кислорода достаточно крупные, обладают протяженностью по глубине топочной камеры, наблюдаются скопления кислорода в углах топки близких к пережигу. С увеличением параметра n происходит приближение зон концентрации кислорода к стенам топочной камеры, данный процесс также наблюдался при сжигании экибастузского угля, отсюда можно сделать вывод, что топливо не оказывает значительного влияния на зоны концентраций кислорода, решающую роль играет параметр n . На высоте 10 – 15 м величины концентраций O_2 при $n_1=0,8$, $n_2=1,5$ и при $n_1=1,2$, $n_2=2,2$ имеет практически одинаковые значения (3,9 %), а при $n_1=0,8$, $n_2=1,5$ величина концентрации на данном участке составляет 2,6–3,1%. Мак-

симальное значение концентрация частиц имеет на уровне горелочных устройств. При $n_1=0,8$, $n_2=1,5$ – $1,82 \text{ кг/м}^3$, при $n_1=1,2$, $n_2=2,2$ и при $n_1=1,5$, $n_2=3,4$ величина концентрации составила $1,6$ – $1,83 \text{ кг/м}^3$. В нижней части холодной воронки с ростом параметра n происходит уменьшение концентрации, так при $n_1=0,8$, $n_2=1,5$ – $0,48 \text{ кг/м}^3$, при $n_1=1,2$, $n_2=2,2$ – $0,21 \text{ кг/м}^3$, при $n_1=1,5$, $n_2=3,4$ – $0,04 \text{ кг/м}^3$.

Следует отметить, что при сжигании кузнецкого угля марки Д концентрации частиц в топочной камере значительно меньше, чем при сжигании борлинского или экибастузского углей, не наблюдается крупных локальных зон скоплений частиц, это объясняется элементарным составом данного топлива, его зольность на 25,2 % ниже, чем зольность борлинского угля. Концентрация частиц в различных точках по высоте топочной камеры при сжигании кузнецкого угля значительно меньше чем при сжигании экибастузского угля, что сокращает количество выбросов твёрдых частиц в атмосферу с дымовыми газами.

Концентрация частиц в различных точках по высоте топочной камеры при сжигании кузнецкого угля значительно меньше, чем при сжигании экибастузского угля, что сокращает количество выбросов твёрдых частиц в атмосферу с дымовыми газами.

Анализируя полученные результаты численного моделирования можно сделать вывод, что при сжигании кузнецкого угля марки Д наблюдались наименьшие теплонапряжения топочной камеры на уровне горелочных устройств. Расчетная температура газов на выходе из топки соответствует расчетным значениям.

Сжигание кузнецкого угля следует организовывать при малых параметрах крутки ($n_1=0,8$, $n_2=1,5$), вследствие опасности наброса высокотемпературных потоков на поверхности нагрева и их шлакования, количество выбросов твердых частиц при сжигании кузнецкого угля минимально.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гиль А.В., Старченко А.В., Заворин А.С. Применение численного моделирования топочных процессов для практики перевода котлов на непроектное топливо: монография. – Томск: 2011. – 184 с.

Научный руководитель: А.В. Гиль, к.т.н., доцент каф. ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.

СКОРОСТЬ РЕАКЦИИ ГАЗИФИКАЦИИ УГОЛЬНОГО КОКСА В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ

А.Г. Коротких¹, К.В. Слюсарский¹, И.В. Сорокин²

^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС, ²группа 5БМ51

Термохимический процесс газификации твердого угольного топлива, проводимый с целью получения горючих газов (H_2 , CO , C_nH_m) и уменьшения вредных выбросов в окружающую среду на тепловых электростанциях [1], осуществляется при взаимодействии углерода топлива с различными газообразными окислителями. В газогенерирующей установке протекают основные гетерогенные химические реакции углерода с кислородом и водяным паром с образованием моно- и диоксида углерода, а также реакция углерода с углекислым газом [2]:



В данной работе представлены данные термического анализа в среде CO_2 для трех образцов угольного топлива с различным содержанием углерода, размер частиц которых составлял менее 80 мкм. Содержание углерода в исходных образцах твердого топлива определялось по методике, изложенной в ИСО 1171-97. Удельная и насыпная плотности исследуемых образцов топлив, измеренные пикнометрическим методом, представлены в табл. 1.

Табл. 1. Плотность и содержание углерода исследуемых образцов
твердого топлива

Образец твердого топлива	Удельная плотность, $кг/м^3$	Насыпная плотность, $кг/м^3$	Содержание углерода в исходном угле, масс. %
Антрацит	1753±56	339±2	89
Каменный уголь	1927±15	340±6	74
Бурый уголь	1425±10	347±13	66

Образцы кокса получали путем нагрева исходного угольного топлива в аргоне [2]. Термический анализ полученных образцов угольного кокса массой ~20 мг проводился с использованием совмещенного ТГ-ДСК анализатора Netzsch STA 449 F3 Jupiter. Исследуемые образцы угольного кокса сначала нагревались в печи со скоростью 50 °С/мин до температуры 900, 1000, 1100 или 1200 °С в аргоне. При достижении заданной температуры нагрева инертная газовая среда менялась на смесь диоксида углерода с аргонном в соотношении 24/1.

Проведено три параллельных измерения ДТА анализа для каждого образца угольного кокса при различных значениях температур нагрева в печи. Типичный вид ТГ-кривых исследуемых образцов твердых топлив представлен на рис. 1а. По измеренным данным ДТА определена скорость реакции газификации исследуемых образцов в углекислом газе (рис. 1б).

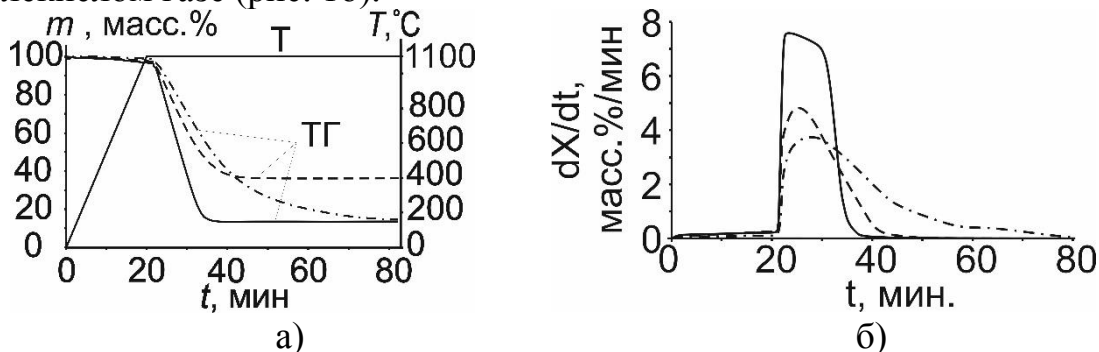


Рис. 1. Данные ДТА (а) и скорость газификации от времени (б) образцов угольного кокса в CO_2 при температуре 1100°C

При подаче углекислого газа в нагретую до 1100°C печь скорость реакции окисления кокса антрацита резко увеличивается до $7,6$ масс. %/мин., затем наблюдается плавное уменьшение скорости реакции до $7,3$ масс. %/мин. Для образцов кокса каменного и бурого углей максимальная скорость реакции составляет $4,8$ и $3,7$ масс. %/мин., соответственно. При температуре печи 1200°C максимальная скорость реакции для образцов кокса антрацита, каменного и бурового углей составляет $16,6$, $7,3$ и $5,4$ масс. %/мин., при 900°C – $2,4$, $0,4$ и $0,3$ соответственно.

При обработке результатов исследования и определении кинетических констант реакции окисления углерода было принято, что при подаче углекислого газа в нагретую печь имеет место единственная химическая реакция (1). В таком случае, общее кинетическое уравнение может быть записано в следующем виде [3]:

$$dX/dt = k(T) \cdot f(X), \quad (2)$$

где X – степень конверсии угольного кокса, масс.%; t – время, с; T – температура протекания процесса, К; $k(T)$ – эффективная скорость реакции, $1/\text{с}$; $f(X)$ – функция распределения скорости реакции, учитывающая изменение свойств и структуры частиц топлива в процессе газификации (зависит от X).

Степень конверсии угольного кокса в произвольный момент времени определяется выражением:

$$X(t) = (m(0) - m(t)) / (m(0) - m_g) \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $m(0)$, $m(t)$ и m_g – масса образца в начальный момент времени, в момент времени t и после окончания процесса газификации,

соответственно. Для упрощения записи, в будущем $X(t)$ будем обозначать символом X .

Функция изменения скорости реакции в процессе газификации частиц топлива может быть описана с помощью трех наиболее распространенных моделей: объемной VM (Volumetric Model, уравнение (4)), сжимающегося ядра SCM (Shrinking Core Model, уравнение (5)) и произвольного расположения пор RPM (Random Pore Model, уравнение (6)):

$$f(X) = (1 - X), \quad (4)$$

$$f(X) = (1 - X)^{2/3}, \quad (5)$$

$$f(X) = (1 - X) \cdot \sqrt{1 - \Psi \cdot \ln(1 - X)}. \quad (6)$$

где Ψ – параметр, связанный со структурой пор частиц, б/р.

Для определения энергии активации, использовалось уравнение Аррениуса первого порядка:

$$k(T) = A_0 \exp(-E_a/(R \cdot T)) \quad (7)$$

где A_0 – предэкспонент, 1/с; E_a – энергия активации, кДж/моль; R – универсальная газовая постоянная, кДж/(кмоль К).

Расчетные значения кинетических констант уравнений (4)–(7) представлены в табл. 2.

Табл. 2. Значения кинетических констант реакции окисления образцов угольного кокса в CO_2

Образец топлива	Использованная модель		Эффективная скорость реакции, масс. % /с при температуре, °С				E_a , кДж/моль	A_0 , 1/с
			1200	1100	1000	900		
Антрацит	VM	$k(t)$	23,4	11,1	6,4	2,5	104	1862
	SCM		21,4	10,2	5,7	2,1	108	2291
	RP		16,3	8,2	4,5	2,2	96	632
	M	Ψ	1,2	1,2	1,2	0,4		
Каменный уголь	VM	$k(t)$	9,3	6,4	2,1	0,4	156	7062
	SCM		8,2	5,7	1,8	0,4	155	55418
	RP		6,7	4,5	1,7	0,4	140	12452
	M	Ψ	1,3	1,1	0,6	0		
Бурый уголь	VM	$k(t)$	7,9	6,2	1,6	–	126	4446
	SCM		6,6	4,5	1,4	–	124	3174
	RP		5,8	5,1	1,6	–	105	597
	M	Ψ	0,7	0,3	0,1	–		

ВЫВОДЫ:

1. В результате проведенных исследований процессов газификации образцов кокса антрацита, каменного и бурого углей в среде углекислого газа в диапазоне температур от 900 до 1200 °С установлено, что максимальная скорость реакции окисления образцов кокса антрацита составляет 16,6 масс. %/мин., каменного угля – 7,3 масс. %/мин., бурого угля – 5,4 масс. %/мин. при температуре углекислого газа 1200 °С.
2. Определены кинетические константы реакции окисления углерода в углекислом газе с использованием трех пространственных моделей изменения скорости реакции частиц топлива: объемной модели VM, моделей сжимающегося ядра SCM и произвольного расположения пор RPM. Полученные значения констант хорошо согласуются с данными представленными в литературе для близких по содержанию углерода твердых топлив. Наилучшую сходимость расчетных данных с экспериментальными результатами по скорости реакции показывает произвольного расположения пор RPM для исследуемых образцов топлив с коэффициентом корреляции 0,90–0,99.

Работа выполнена за счет средств субсидии в рамках реализации Программы повышения конкурентоспособности ТПУ

ЛИТЕРАТУРА:

1. Siefert N.S., Chang B.Y., Litster S. Exergy and economic analysis of a CaO-looping gasifier for IGFC–CCS and IGCC–CCS // *Applied Energy*. – 2014. – Vol. 128. – P. 230–245.
2. Korotkikh A.G., Slyusarskiy K.V. Kinetic study of coals gasification into carbon dioxide atmosphere // *MATEC Web of Conferences – EDP Sciences*. – 2015. – Vol. 23. – P. 01020-1–6.
3. López-González D., Fernandez-Lopez M., Valverde J.L., Sanchez-Silva L. Comparison of the steam gasification performance of three species of microalgae by thermogravimetric–mass spectrometric analysis // *Fuel*. – 2014. – Vol. 134. – P. 1–10.

Научный руководитель: А.Г. Коротких, д.ф.-м.н., доцент, кафедры АТЭС ЭНИН ТПУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРЕНИЯ ВЫСОКОВЛАЖНОГО БУРОГО УГЛЯ В ТОПКЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОТЛА

В.П. Сёмушкин¹, Е.С. Воронцова²
^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, ПГС и ПГУ, ¹группа 5ВМ4А

На сегодняшний день большая часть действующих электростанций работает на твердом топливе и основным аспектом остается его эффективное сжигание. Эффективность подразумевает полноту сжигания, и соответственно, экономичность технологии, а также не должно происходить высокого выброса продуктов сгорания. Особенно это относится к ТЭС, вынужденным искать альтернативные месторождения из-за сокращения запасов проектного топлива. В данных условиях предпочтение отдается месторождениям региона, в силу близкого расположения к энергообъекту и снижения затрат на транспортировку. Топливо близлежащего месторождения не всегда является высококачественным и замещающим проектное, что влечет за собой принятие решения о возможности проведения реконструкции и/или модернизации основного и вспомогательного оборудования.

Современные инженерные программные продукты позволяют провести численные исследования без дорогостоящих натурных экспериментов и проверить возможность использования непроектного топлива для конкретного типа оборудования, в частности топочной камеры энергетического котла.

Томская область известна своими запасами низкосортного топлива, наиболее изученным является Таловское месторождение бурого угля. Таловский уголь имеет широкий диапазон теплотехнических характеристик, в связи с этим необходим выбор оптимальных характеристик для обеспечения эффективного сжигания.

Первоочередное исследование проведено расчётным методом теплового расчета [1], получены зависимости низшей теплоты сгорания и расхода топлива от рабочей влажности угля (рис.1).

К расчету принят следующий состав топлива: влажность $W_t^r = 50,7 \%$; зольность $A^r = 18,2 \%$; содержание углерода $C^r = 20,8 \%$; азота $N^r = 0,36 \%$; серы $S_{p+o}^r = 0,06 \%$; кислорода $O^r = 8,5 \%$; водорода $H^r = 2,1\%$. Низшая теплота сгорания $Q_i^r = 8,4 \text{ МДж} / \text{кг}$ [2].

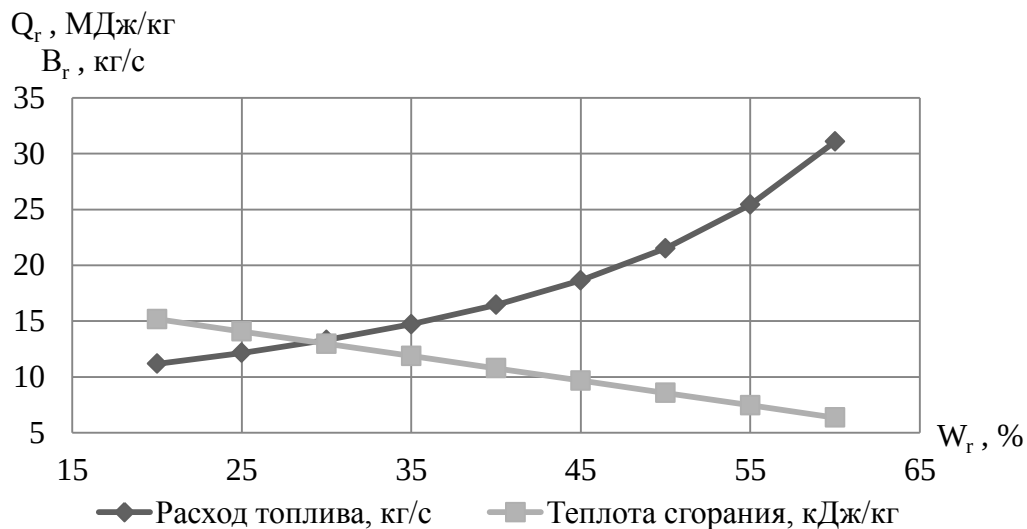


Рис.1. Зависимость расхода топлива, низшей теплоты сгорания от рабочей влажности бурого угля

Зависимость теплоты сгорания имеет линейный характер, что свидетельствует о верности проведенных расчетов. Расход топлива резко увеличивается при значениях влажности в пределах от 45 до 60%.

Для более наглядного и информативного представления, проведено численное исследование процесса горения таловского угля в топке котла БКЗ-210-140, спроектированного для работы на кузнецком каменном угле.

В качестве средства для построения математической модели и проведения численных исследований было выбрано специализированное программное обеспечение – пакет прикладных программ FIRE 3D, разработанный сотрудниками Томского государственного университета и Томского политехнического университета [3].

Необходимость использования данного программного обеспечения обуславливается тем, что на сегодняшний день оно является одним из самых емких и эффективных средств моделирования. Возможность проведения многочисленных расчетов для различных параметров работы котельного агрегата в короткий срок, без привлечения дорогостоящих экспериментов и экспертиз, так же являются большим подспорьем при выполнении такого рода расчётов.

При помощи FIRE 3D воспроизводился процесс горения таловского бурого угля с последующей визуализацией в виде контурных графиков. Одни из них – график распределения температур в топочном объеме (рис. 2). и график изменения концентрации влаги. (рис. 3).

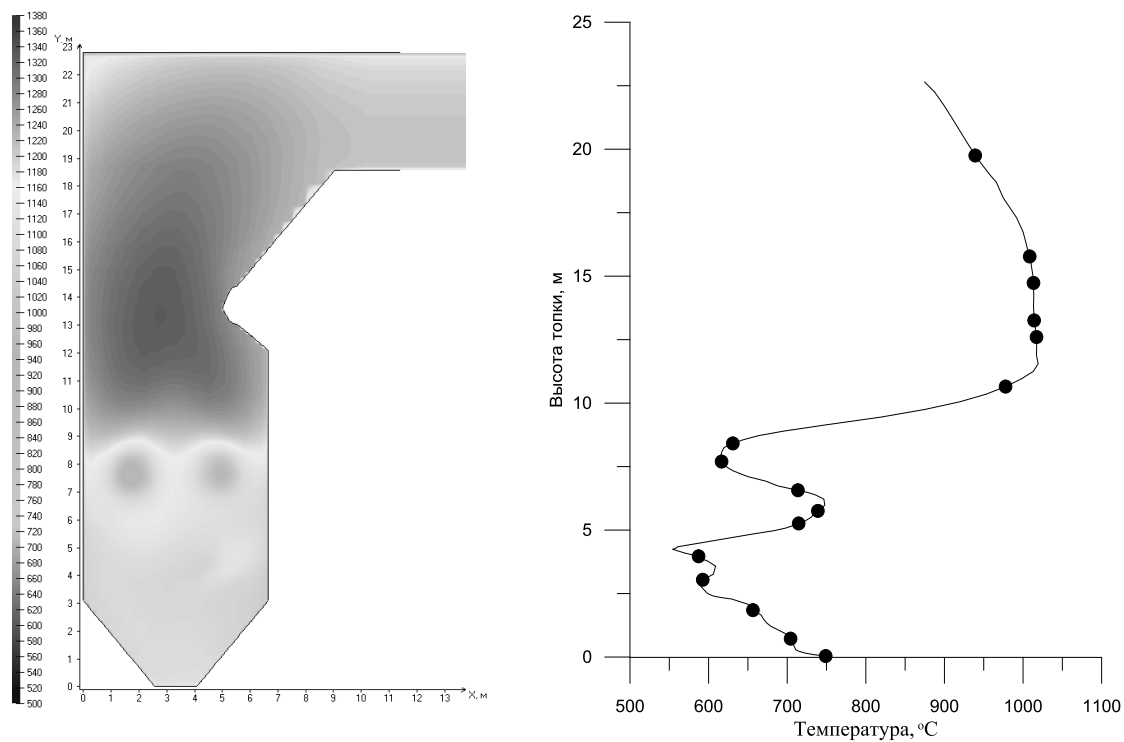


Рис. 2. Изменение средней температуры по высоте топki при сжигании таловского угля

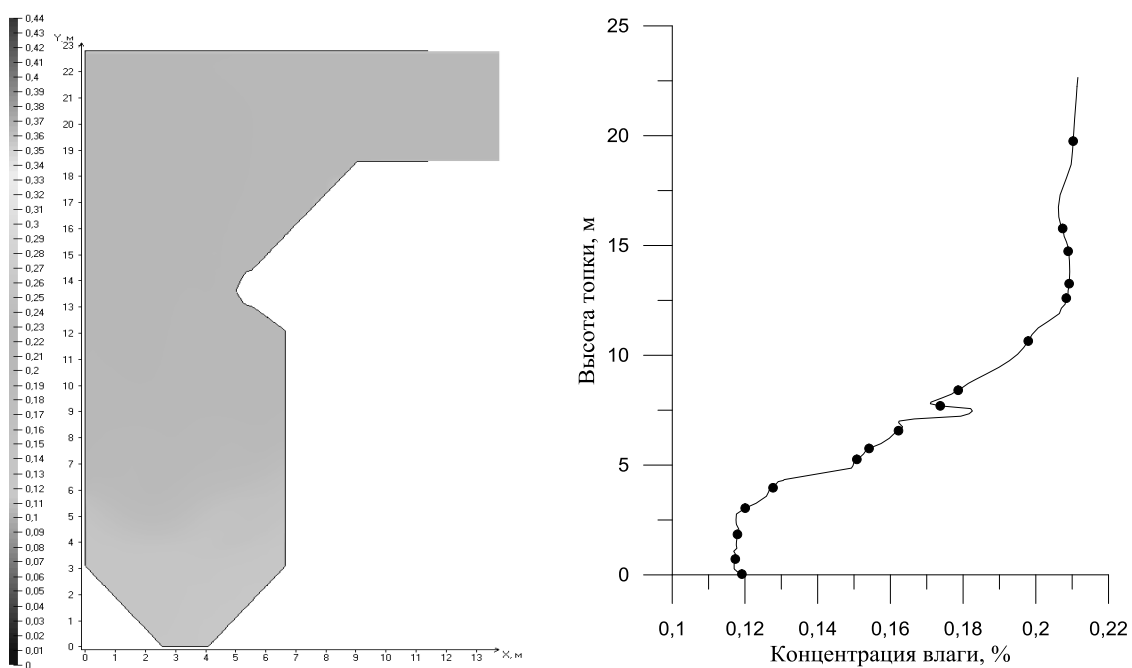


Рис. 3. Изменение концентрации влаги по высоте топki при сжигании таловского угля

Основываясь на графическом отображении результатов численного моделирования (рис. 2) можно рассуждать о том, что процесс горения и воспламенения угольной пыли проходит недостаточно эффек-

тивно. В нижней части топочной камеры котла наблюдаются достаточно невысокие значения. Однако, далее можно наблюдать высокие значения температур в верхней части и в районе выходного окна, что говорит о затянутом процессе горения. Это в целом негативно сказывается на работе котла. Такое распределение температур в объеме топки может повлиять, в том числе и на кратность циркуляции.

В целом, основываясь на представленной выше картине горения можно сделать вывод о том, что в топочной камере котла происходит выгорание частиц топлива. Процесс сопровождается испарением влаги с поверхности частиц (рис. 3), что интенсифицирует теплообмен.

Полученные результаты показывают, что таловский уголь пригоден для сжигания в топке котла БКЗ-210-140, но для полного анализа эффективности и целесообразности его использования необходим ряд подобных исследований в широком диапазоне влажности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
2. Казаков А.В., Заворин А.С. Конверсия некондицируемых топлив в низкотемпературном режиме: монография. – Томск: STT, 2011. -258 с.
3. Мамаев А.К., Бетхер Т.М. Анализ существующих программных продуктов для моделирования топочных процессов // XVII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» / Сборник трудов в 3-х томах. Т.3. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 500 с.

Научный руководитель: Е.С. Воронцова, аспирант каф. ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ УГЛЯ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТОПЛИВОСЖИГАЮЩИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Р.А. Вислогузов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ПГС и ПГУ, группа 5В21

Актуальность

Согласно государственной программе по энергосбережению и энергоэффективности на период до 2020 года [1], принятой с целью снижения тарифов на электроэнергию, необходимо осуществлять рациональное и эффективное расходование энергетических ресурсов. Однако, если обратить внимание на условия хранения топлива, то можно заметить, что оно складировается под открытым небом, подвергаясь воздействию осадков. В результате происходит рост влажности топлива, сопровождающийся увеличением эксплуатационных затрат для сжигания и, соответственно, ростом собственных издержек электростанций.

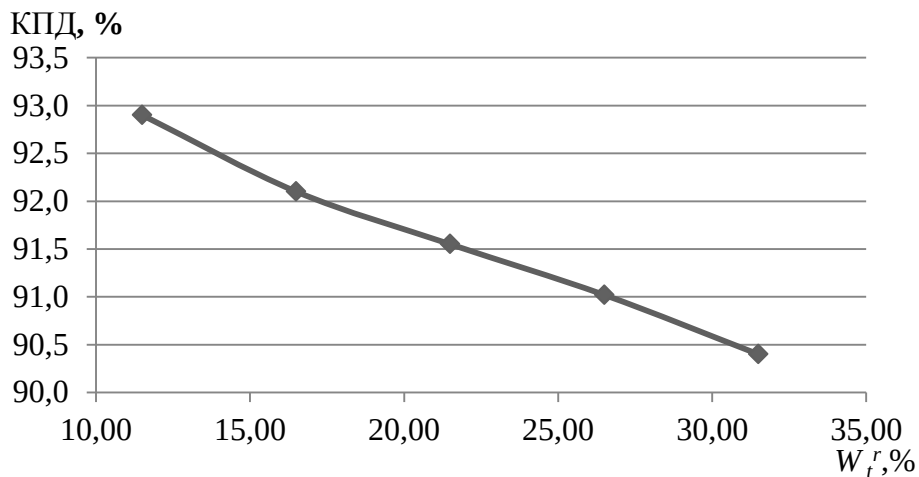
Цель работы ставится провести анализ энергетических и экономических показателей топливосжигающей энергетической установки при повышении влажности топлива на примере энергетического оборудования Томской ГРЭС-2.

В качестве топливосжигающей энергетической установки рассмотрен котел БКЗ-220-100-4, работающий на тепловой электростанции Томской ГРЭС-2 [2]. Данный котел использует в качестве топлива каменный уголь Кузнецкого бассейна марки Д [3]. Табличные характеристики топлива приведены в табл. 1. При расчете технико-экономических показателей принято, что влажность угля при хранении под открытым небом будет увеличиваться с табличного значения, равного 11,5 %, до 31,5 % (с принятым шагом 5 %) под воздействием осадков.

Табл. 1. Характеристики топлива

Топливо	Рабочая масса топлива, состав, %							Низшая теплота сгорания
	W_t^r	A^r	S^r	C^r	H^r	N^r	O^r	Q_r^i , МДж/кг
Каменный уголь Кузнец- кого бассейна, марка Д	11,5	15,9	0,40	56,40	4,00	1,90	9,90	21,9
	16,5	15,0	0,38	53,21	3,77	1,79	9,34	20,5
	21,5	14,1	0,35	50,00	3,55	1,69	8,78	19,2
	26,5	13,2	0,33	46,84	3,32	1,58	8,22	17,7
	31,5	12,3	0,31	43,65	3,10	1,47	7,66	16,4

Из рис. 1 видно, что полученная зависимость изменения КПД котла от рабочей влажности топлива (W_t^r) имеет линейный характер. При увеличении влажности с 11,5 % до 31,5 % происходит снижение КПД котла на 2,5 %, т.е. повышение влажности топлива на 1 % приводит к снижению КПД котла на 0,125 %. Основной причиной снижения является рост потерь с уходящими газами (q_2). Это обуславливается тем, что влага при испарении уносит тепло.

Рис. 1. Зависимость изменения КПД котла от влажности топлива (W_t^r)

Рост влажности топлива напрямую сказывается и на расходе топлива (рис. 2), подаваемого в топку: повышение влажности на 20 % привело к повышению расхода топлива с 7,66 кг/с до 10,46 кг/с. Это обусловлено тем, что рост содержания влаги сказывается на низшей теплоте сгорания топлива, понижая её значение на 5,5 МДж/кг (табл. 1). Поэтому для поддержания необходимых параметров пара в котлоагрегате требуется сжигать большее количество топлива.

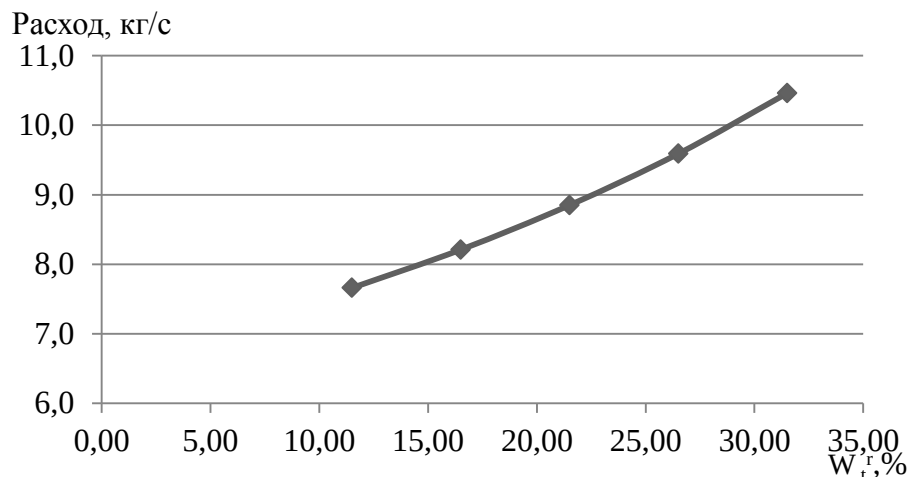


Рис. 2. Зависимость расхода топлива от влажности (W_t^r)

Согласно официальному прайсу ООО «КемУглеСбыт» [4] стоимость угля при продаже составляет 850 руб./т. Учитывая, что транспортные затраты на доставку угля из г. Кемерово до г. Томска увеличивают его отпускную стоимость в 1,5-2,0 раза [5], принимается, что уголь поступает на ГРЭС-2 по цене 1 500 руб./т.

Для оценки материальных затрат определено, что Таким образом, при возрастании влажности топлива на 20 % материальные затраты на эксплуатацию котлоагрегата БКЗ-220-100-4 возрастают на 362 000 рублей в сутки, что приводит к дополнительным ежемесячным тратам станции порядка 11,2 млн руб.

Затраты,руб.

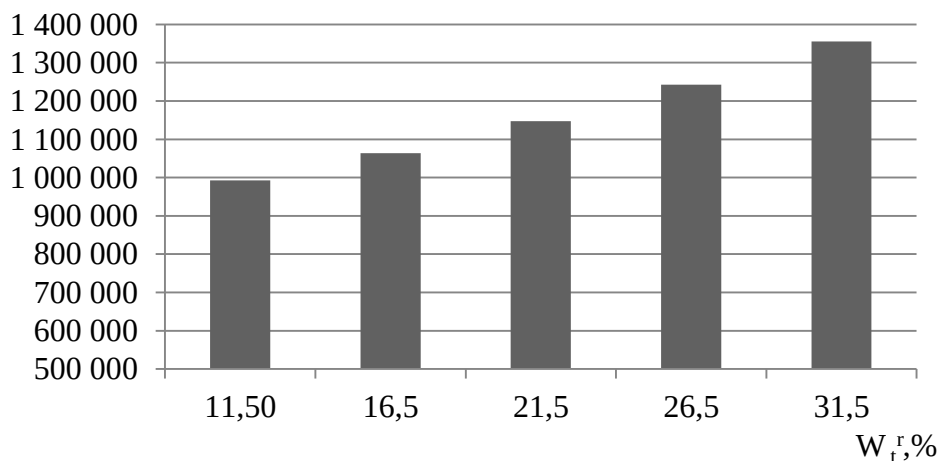


Рис. 3. Зависимость материальных затрат на суточную работу котла от влажности топлива (W_t^r)

Вывод

1. Проведенный анализ энергетических и экономических показателей топливосжигающей энергетической установки, на примере котла Томской ГРЭС-2 БКЗ-220-100-4, показал, что при повышении влажности топлива в условиях открытого хранения на

20 % наблюдается снижение КПД котла на 2,5 %. При этом увеличивается расход топлива, подаваемого в котел, на 2,8 кг/с. В результате станция на работе одного только котла несет дополнительные ежемесячные затраты порядка 11 млн рублей.

2. Целесообразно строительство укрытий, защищающих хранящийся на станции уголь от воздействия атмосферных остатков.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Государственная программа «Энергоэффективность и развитие энергетики» // Министерство энергетики Российской Федерации [Офиц. сайт] URL: <http://www.minenergo.gov.ru/upload/docs/ee/4d87a15706a97a0684f05bf306c5b5f4.pdf> (дата обращения: 13.09.15)
2. Томская ГРЭС-2 // Википедия [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Томская_ГРЭС-2 (дата обращения: 13.09.15)
3. Дефицит вагонов ставит под угрозу срыва подготовку Томска к зиме // Energy land [Интернет-портал] URL: <http://www.energyland.info/analitic-show-73692> (дата обращения: 13.09.15)
4. Каталог продукции // КемУглеСбыт [Офиц. сайт] URL: <http://prominvest19.ru/ugolkameni/folder/ugol-kamennyyu> (дата обращения: 14.09.15)
5. Емешев В.Г., Паровинчак М.С. Без привозной энергетики // Нефтегазовая вертикаль, 2005. – № 17. – С. 63-65.

Научный руководитель: Р.Б. Табакаев, инженер каф. ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Н.С. Коньков
Томский политехнический университет
ЭНИН, ПГС и ПГУ

Задачи повышения экономичности сжигания топлива, уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу и снижения капитальных

затрат на их реализацию не только очень сложны, но и часто противоречат друг другу. Одновременное успешное решение этих задач принято называть энергоэкологической оптимизацией использования топлива или управлением качеством его сжигания. В большинстве случаев при промышленном сжигании топлива основным принципом повышения эффективности является максимально возможное использование располагаемой (низшей) теплоты сгорания $Q_{нр}$. Основными составляющими потерь теплоты при этом являются потери с отходящими газами q_2 и от, так называемого, химического недожога q_3 . Оба этих показателя тесно связаны с коэффициентом избытка воздуха α в факеле горящего топлива. От него же зависит и количество вредных выбросов в атмосферу.

Наиболее распространенным способом автоматизации котельной техники в настоящее время является параллельное управление. При параллельном управлении система воспринимает информацию о давлениях регулируемых потоков и настраивается на оптимальное соотношение “топливо-воздух” при номинальной нагрузке, принимаемое за эталонное на момент пусконаладочных испытаний. Найденное таким образом соотношение поддерживается постоянным при любых нагрузках котла. Результатом применения такой системы является существенное падение коэффициента полезного действия (КПД) котла на малых нагрузках. К факторам, влияющим на эффективность работы, относятся колебания теплоты сгорания топлива, нагрузки агрегата, температуры и влажности топлива и воздуха, техническое состояние горелок и всего агрегата, состояние тягодутьевого оборудования, а также износ направляющих аппаратов и исполнительных механизмов. Также к факторами, влияющими на качество сжигания топлива, являются:

- ухудшение эксплуатационных показателей ввиду образования накипи, нагара/сажи, нестабильные режимы работы установок химводоочистки (ХВО);
- конструктивные изменения, такие, как прогорание турбулизаторов, дымогарных трубок, что ведет к их заглушению;
- изменение параметров работы газовых регуляторов горелочных устройств при проведении ежегодных технических обслуживаний (ТО) и текущих ремонтов (ТР) для газоиспользующего оборудования;
- изменение параметров работы типовых газовых регуляторов газораспределительных шкафных пунктов (ГРПШ) и газораспределительных узлов (ГРУ) а также газовой арматуры узлов учета

газа, при проведении ТО и ТР для газоиспользующего оборудования;

Поскольку режимно-наладочные испытания согласно Правилам технической эксплуатации тепловых энергоустановок [1] п. 7.4.5, п. 7.1.38ж и Правилам пользования газом в РФ п. 34 на газоиспользующем оборудовании производятся один раз в три года, а в промежутке между испытаниями на оборудовании, обеспечивающем работу котельных установок, производятся прочие сервисные работы, то существует очень большая вероятность снижения КПД оборудования из-за отсутствия контроля качества сжигания топлива.

Выводом, основанным на анализе вышеизложенных положений, является необходимость оперативного управления соотношением «топливо-воздух» во всем диапазоне нагрузок. Инструментом такого управления является измерение коэффициента избытка воздуха и последующая его коррекция. Для измерения коэффициента избытка воздуха и его последующей коррекции во время работы оборудования необходим сбор и анализ информации о компонентах продуктов сгорания.

При использовании параметрического анализа дымовых газов по компонентному составу в совокупности с разработкой и внедрением новых технологических решений появляется возможность создания системы непрерывного автоматического контроля и регулирования соотношения «топливо-воздух». Данный способ является одним из наиболее простых и эффективных инструментов энергоэкологической оптимизации.

В рамках исследований, проводимых на производственных объектах компании ООО «Газпром трансгаз Томск», было разработано комплексное решение по энергоэкологической оптимизации сжигания газообразного топлива, которое включает в себя комплекс мер по дополнительной автоматизации котельных и разработке программного обеспечения для создания системы непрерывного автоматического контроля качества сжигания топлива.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок. – М: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. —208 с.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / коллектив авторов; под ред. Н.В. Кузнецова и др. — 2-е изд., перераб. / Репринтное воспроизведение издания 1973 г. — М.: ЭКОЛИТ, 2011. — 296 с. ил.

3. Трёмбовля В. И., Фингер Е. Д., Авдеева А.А. Теплотехнические испытания котельных установок. – М., «Энергия», 1977. — 296 с. : ил.
4. Равич М.Б. Упрощенная методика теплотехнических расчетов. — М.: Машиностроение, 1966. — 398 с.: ил.
5. Эстеркин Р.И. Эксплуатация, наладка и испытание теплотехнического оборудования промышленных предприятий: учебник для техникумов / Р.И. Эстеркин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 288 с.
6. Мунц В.А. Энергосбережение в энергетике и теплотехнологиях. –Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. –136 с.

Научный руководитель: А.С. Заворин, д.т.н., профессор, зав. кафедрой ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.

КОНСТРУИРОВАНИЕ КАМЕР ГОРЕНИЯ ЖАРОТРУБНЫХ КОТЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

Е.К. Савченко, Е.И. Максимова, С.А. Хаустов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ПГС и ПГУ

В XXI веке энергетическое машиностроение невообразимо без использования компьютерных технологий. Для визуального моделирования эргономики и дизайна конструируемых агрегатов, а также функциональной оценки их аэро- и гидродинамических характеристик особенно эффективна технология виртуального прототипирования, позволяющая на этапе проектирования производить предэксплуатационный анализ работоспособности продукции с меньшими трудозатратами.

Использование этой технологии в энергетике позволяет решать широкий круг инженерных задач, таких как конструирование энергоустановок и котельного оборудования. При виртуальном прототипировании есть возможность проанализировать весь механизм работы оборудования и заглянуть внутрь технологического процесса, что зачастую не представляется возможным посредством натурных испытаний опытных образцов. Смоделированный производственный цикл будет иметь идеальный вид и позволит конструктору глубже вникнуть в детали отображаемых процессов и механизмов, скроет нежела-

ные элементы (например, непрезентабельный вид оборудования или недостаток освещения).

Очевидным достоинством виртуального прототипирования является наглядная визуализация технологических процессов, которая особенно полезна при компьютерном моделировании процессов гидро- [1] и газодинамики [2, 3]. Эта технология имеет целый ряд преимуществ, т. к. она позволяет наглядно демонстрировать все элементы и процессы, которые невозможно передать на чертежах. Это более естественный способ визуализации, нежели чертеж: выражение трехмерных объектов в двухмерной плоскости не наглядно и его восприятие требует развитого пространственного воображения. Кроме того из трехмерной модели легко можно выделить чертежи каких-либо компонентов или конструкции целиком.

Виртуальное прототипирование ведет к сокращению длительности технической подготовки серийного производства энергоустановок, а, следовательно, и к снижению себестоимости продукции.

В Томском политехническом университете разработан прикладной программный продукт (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012614067) для моделирования факельного сжигания газа в жаровых трубах котлов. Разработанный программный продукт является гибридной CAE/CAD-системой и позволяет в процессе конструирования производить оценку эффективности и экономичности возможных инженерных решений.

Реализованная в программном продукте квазиодномерная методика и алгоритм инженерного расчета теплообмена при вихревом сжигании в жаровых трубах котлов приведена в [4]. Оценка габаритов пламени, алгоритм которой подробно описан в работах [3, 5], производится на базе основного уравнения теории Я. Б. Зельдовича и Д. А. Франк-Каменецкого и строится на основании зависимости скорости распространения пламени от температуры в ядре горения. В [5] показано и проанализировано влияние на последнюю тепловосприимчивости экранирующих камер сгорания поверхностей нагрева.

На основе численного исследования камер горения жаровых труб котлов [1 – 3, 5] можно сформулировать следующие задачи оптимизации:

- в пределах объема топki должно обеспечиваться наиболее полное сгорание топлива;
- габариты факела должны исключать его наброс на экранирующие камеру горения поверхности нагрева во избежание недожога и оседания сажи на стенках топki;

- камера горения должна обладать высоким удельным тепловосприятием при минимальном аэродинамическом сопротивлении.

Были проанализированы существующие конструкции жаровых труб водогрейных котлов при сжигании чистого метана (табл.). На основе анализа заключено, что аэродинамика реверсивного факела способствует вихревому горению топлива при минимальном аэродинамическом сопротивлении. В свою очередь, удельное тепловосприятие жаровой трубы при реверсивной организации сжигания будет максимально при прямоточной подаче топлива, так как при этом ядро горения находится на максимальном удалении от выходного сегмента. Кроме того, по результатам численного эксперимента согласно математической модели, приведенной в [2], установлено, что при реверсивной организации сжигания с прямоточной подачей топлива создаются наиболее благоприятные условия для устойчивого горения и равномерного распределения тепловых потоков при минимальном аэродинамическом сопротивлении. Равномерное распределение тепловых потоков, в свою очередь, благоприятствует надежной работе котла по условиям накипеобразования и допускают эксплуатацию котла при меньших затратах на водоподготовку [1]. Задействованная мощность горелочного устройства при реверсивной организации сжигания может меняться в широком диапазоне без существенного изменения габаритов факела [5], что делает её удобным параметром оптимизации, а также позволяет расширить потенциальный диапазон регулирования нагрузки.

Табл. 1. Анализ конструкции камер горения водогрейных котлов

Конструктивные параметры камеры горения		Режимные характеристики топчного устройства при оптимальной организации сжигания				
Длина цилиндрической части жаровой трубы, мм	Внутр. диаметр жаровой трубы, мм	Диапазон тепловой мощности, кВт $Q_{\min}..Q_{\max}$	Удельное тепловосприятие жаровой трубы, МДж/м ³		Аэродинамическое сопротивление топчного устройства, Па	
			при $Q_{\min}$	при $Q_{\max}$	при $Q_{\min}$	при $Q_{\max}$
1300	584	150..500	19,7	12,1	4,5	50,4
1550	884	300..350	19,7	12,4	18,2	182
1900	980	400..1200	19,9	12,9	32,3	290

Разработан программный продукт для виртуального прототипирования, позволяющий на этапе проектирования расчётным методом и

визуально оценить поведение котельного оборудования и энергоустановок в реальных условиях эксплуатации, а также произвести предэксплуатационную проверку работоспособности их основных узлов и агрегатов с меньшими трудозатратами.

Функционал разработанного программного продукта позволяет проектировщику в реальном времени прорабатывать различные агрегаты энергоустановок, проектировать их внешний вид, производить оптимизацию конструктивных элементов на основе математических расчетов.

На основе полученных результатов анализа конструкций существующих жаротрубных котлов российского производства можно дать оценку их экономичности и эффективности, а также выработать предложения по модернизации с целью повышения энергоэффективности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках госзадания НИР (тема 13.948.2014/К).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Хаустов С. А., Хаустов П. А., Максимова Е. И. Компьютерное моделирование гидродинамики жаротрубного котла с использованием конечно-элементного анализа [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. - 2014 - №. 6. - С. 1-6. - Режим доступа: <http://www.science-education.ru/pdf/2014/6/1519.pdf>
2. Хаустов С. А., Заворин А. С. Численное исследование аэродинамики жаротрубной топки с реверсивным факелом // Известия Томского политехнического университета. - 2013 - Т. 323 - №. 4. - С. 5-9
3. Хаустов С. А., Заворин А. С. Численное исследование аэродинамики топочной среды в жаротрубном котле типа "Турботерм" // Промышленная энергетика. - 2014 - №. 1. - С. 11-14
4. Khaustov S. A., Zavorin A. S., Buvakov K. V., Zakharushkin N. A. Engineering method for thermal calculation of the vortex combustion in dead-end fire-tubes // MATEC Web of Conferences . - 2014 - Vol. 19. - Article number 01020.
5. Хаустов С. А., Заворин А. С. Дальнобойность факела в жаровых трубах котлов // Промышленная энергетика. - 2014 - №. 10. - С. 16-20

Научный руководитель: С.А. Хаустов, ассистент каф. ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.

АНАЛИЗ ОПЫТА НАЛАДКИ РЕЖИМОВ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Т.М. Плахова, А.И. Артамонцев
Томский политехнический университет
ЭНИН, ПГС и ПГУ

В настоящее время требования к качеству воды, а, следовательно, и к качеству работы водоподготовительных установок (ВПУ) повышаются. Подъем промышленного производства требует наращивания мощности промышленных котельных, что невозможно без эквивалентного увеличения мощности ВПУ за счет ввода в эксплуатацию новых установок. При наращивании мощностей ВПУ, как правило, стремятся сохранить существующие способ и схему водообработки даже если устанавливается новое более производительное и совершенное оборудование. Однако монтаж установок зачастую проводится без привлечения специалистов, следствием чего являются многочисленные нарушения нормативных требований: например, завершение монтажных работ и ввод оборудования в эксплуатацию без проведения и документального оформления пуско-наладочных работ п. 12.8 [1], п. 8.1.5 [2]. Установка оборудования без проведения необходимых пуско-наладочных работ может быть причиной быстротечного отказа некоторых или всех функций (снижение производительности, сокращение межрегенерационного периода, возникновение трудности в обслуживании), в результате чего нарушаются технологические процессы операций и снижается их эффективность. Кроме этого существует проблема качества технической документации, поставляемой вместе с ВПУ заводами-изготовителями. Грубые ошибки в значениях нормируемых показателей в паспортах и инструкциях снижают эффективность работы ВПУ и создают значительные трудности в обслуживании.

На примере режимной наладки противоточных установок ВПУ промышленно-отопительной котельной рассмотрено качество технической документации, исполнения и монтажа ВПУ, а также условия их эксплуатации и режимы работы. При проведении режимно-наладочных работ (РНР) на основании изучения паспорта и инструкции по эксплуатации от завода-изготовителя, опыта эксплуатации ВПУ, результатов осмотра установки, ревизии ВРУ и выполнения экспресс-испытаний, выявленные недостатки были разделены на две группы: препятствующие проведению РНР и не препятствующие (яв-

ляющиеся следствием несоответствия рекомендаций и решений завода-изготовителя, рекомендаций нормативных документов).

К числу недостатков первой группы, которые должны быть устранены к моменту начала РНР были отнесены:

1. Очень низкое расположение на корпусе фильтра штуцера подвода потока к верхнему распределительному устройству (ВРУ) над поверхностью блокирующего слоя катионита;
2. Отсутствие, как такового, самого ВРУ, соответствующего описанию его в паспорте завода-изготовителя;
3. Значительно меньшая высота блокирующего слоя катионита, чем это предусмотрено в паспорте;
4. Неисправность счетчика расхода исходной воды, поступающей в фильтр во всех технологических операциях.

С целью устранения первого и второго недостатков можно рекомендовать изменить размещение ВРУ во внутреннем пространстве фильтра, что потребует изменения и схемы подвода потока к ВРУ. Необходимая высота блокирующего слоя должна быть восстановлена досыпкой катионита. Неисправный счетчик должен быть заменен на новый.

К недостатком второй группы были отнесены:

1. Новые установки ВПУ в процессе монтажа подвергнуты модернизации с вырезкой эжектора из системы приготовления и подачи в фильтр рабочего раствора соли. Солевая линия подсоединена к существовавшей в котельной системе приготовления и подачи рабочего раствора соли в фильтры насосом. Солевые баки установок не смонтированы;
2. Установки ВПУ смонтированы в неполной заводской комплектности (отсутствуют индивидуальные теплообменники подогрева исходной воды, поступающей на умягчение, и бак приготовления рабочего раствора соли);
3. Смонтированные электронасосные агрегаты в технологическом процессе не задействованы;
4. Баки приготовления рабочих растворов соли существующей в котельной системы не имеют антикоррозионной защиты и являются источником загрязнения растворов соли продуктами коррозии;
5. В баках приготовления растворов соли отсутствует фильтрующая загрузка для очистки рабочего раствора от механических примесей: нерастворимых остатков соли и продуктов коррозии;

6. В дренажной системе отсутствуют ловушки, для улавливания катионита, выбрасываемого при нарушении режима взрыхления ВПУ;
7. Низкое расположение кранов на сбросных линиях над приемным корытом дренажной системы затрудняет отбор проб для ХК;
8. Гидравлическое сопротивление нижней части фильтра (нижнее распределительное устройство (НРУ) + вспомогательный слой) в начальный период проведения РНР превышает максимальное значение сопротивления всего загруженного катионитом фильтра, установленное заводом-изготовителем в несколько раз;
9. Отсутствие режимных карт;
10. Отсутствие исполнительной схемы системы ХВО котельной;
11. Отсутствие нормативной литературы по водоподготовке;
12. Отсутствие уровнемеров на баках приготовления раствора соли;
13. Технологически неправильно собранные схемы системы ступенчатой обработки воды на базе имеющихся в котельной индивидуальных водоподготовительных установок.
14. Засорение щелей колпачков продуктами коррозии и примесями в соли, повышая сопротивление.

Для возможности устранения недостатков второй группы даны следующие рекомендации. При сохранении существующей системы приготовления и подачи рабочего раствора соли на регенерацию фильтров необходимо обеспечить требуемую степень очистки раствора от механических примесей (прозрачность > 30 см). Остающиеся в регенерационном растворе механические примеси после очистки не должны иметь размеры, превышающие ширину щели в колпачках пружинного типа НРУ, во избежание загрязнения колпачков и нарушения гидравлического режима работы фильтра.

Для баков-солерастворителей:

- заменить фильтрующую загрузку (мраморную крошку) на антрацит, кварцевый песок или сульфуголь.
- оборудовать защитными элементами против выноса раствором из баков не растворившихся частиц соли и нерастворимых примесей в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации насосов.
- оборудовать съемными сетчатыми перегородками с ячейками не крупнее 2×2 мм, для загрузки на них соли в процессе приготовления раствора.
- оборудовать уровнемерными устройствами контроля за наполнением объемом воды необходимым, для приготовления рас-

творя заданной концентрации и степенью опорожнения при перекачке раствора в фильтры.

- внутренние поверхности защитить от коррозии с помощью покрытия защитными составами.

Кроме того создать контур рециркуляции солевого раствора и использовать его для повышения скорости растворения соли и исключения работы аппаратчиков по перемешиванию раствора в баке и ворошения слоя соли на дне бака, выполняемой вручную. Смонтировать стационарную систему гидроперегрузки всех фильтров (по катиониту), с использованием имеющегося свободного бака на площадке рядом с питательным баком. Альтернативой может быть создание временных систем на основе использования резиновых шлангов. Корыто приема сбросных вод модернизировать, добавив функцию ловушки катионита. Обеспечить в эксплуатации безусловное выполнение требований отраженных в п.п. 12.11; 12.12; 12.13; 22; 12.14; 12.18; 12.19[1].

Из всего выше сказанного, можно сделать вывод, что безответственное отношение и невыполнение требований как заводоизготовителей ВПУ, так и организаций эксплуатирующих данное оборудование приводит к плачевным последствиям, которые в дальнейшем отражаются на производстве в целом и при несвоевременном обнаружении, которых приводят к значительным капиталозатратам.

При вводе нового оборудования в эксплуатацию согласно [1, п. 12.8, 2, п. 8.1.5] необходимо проводить работы по пуско-наладке, которые выполняются специализированными наладочными организациями. В результате выявляются многие недостатки и разрабатываются инструкции по эксплуатации ВПУ и режимные карты по ведению водно-химического режима с учетом [1, 2] специально для применяемого оборудования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок. Госэнергонадзор Минэнерго России. - М.: ЗАО «Энергосервис», 2003. - 264 стр.
2. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов (ПБ 10-574-03). Серия 10. Выпуск 24 / Колл.авт. - М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. - 216 с.

Научный руководитель: А.С. Заворин, д.т.н., профессор, зав. кафедрой ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ СТУПЕНЧАТОМ ВИХРЕВОМ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА

Ю.В. Никульшина, М.В. Колосов, А.В. Жуйков
Сибирский федеральный университет

Исследование совершенства тепловых процессов до настоящего времени проводится посредством составления энергетического баланса, который иногда называют тепловым балансом. Однако при энергетическом балансе все виды энергии рассматриваются без учета различия их качества, т.е. практической пригодности. Известно, однако, что практическая пригодность тепла различна и имеет тем меньшую величину, чем ближе температура источника тепла к температуре окружающей среды [3].

КПД котла, полученный на основе теплового баланса, учитывает лишь потери энергии в установке и не отражает качественных изменений, сопровождающих реальные необратимые процессы. При необратимых процессах в соответствии со вторым законом термодинамики происходит обесценивание энергии, т.е. потеря ею способности передаваться в форме работы. Оценка эффективности работы котла с точки зрения второго закона термодинамики может быть осуществлена на основе эксергетического баланса [4].

Эксергетический анализ является эффективным термодинамическим методом для анализа когенеративных тепловых систем и инструмент для разработки более совершенных систем теплоснабжения. В последнее время значительное внимание было направлено на использование эксергетического анализа в оценке тепловых и других технологических процессов и их воздействия на окружающую среду. В связи с увеличением потребления энергии получаемой при сжигании ископаемого топлива использование совместно первого и второго закона термодинамики будет неотъемлемой частью при эксергетическом анализе производства тепла.

Эксергетический анализ как инструмент был применен при переводе котлоагрегата БКЗ 75-39 ФБ, работающего на канско-ачинских углях, на низкотемпературное вихревое ступенчатое сжигание с применением оптимального распределения долей воздуха в топке котла. При этом удалось уменьшить содержание оксидов азота без снижения технико-экономических показателей котлоагрегата.

Спустя несколько лет содержание оксидов азота начало увеличиваться, поэтому было решено совершенствовать низкотемператур-

ное ступенчатое вихревое сжигание путем рационального распределения долей воздуха на котле, а именно найти такое соотношение вторичного и третичного дутья (сопла нижнего дутья и заднего дутья) при котором возможно снижение оксидов азота и увеличение технико-экономических показателей котла. После проведения большого количества экспериментов на котле с изменениями подачи воздуха на вторичное дутье, нижнее дутье и заднее дутье при разных нагрузках и с разными коэффициентами избытка воздуха в котле удалось получить некоторые результаты, представленные в таблице 1.

Табл. 1. Рациональное распределение долей воздуха в котле

Нагрузка котла в пределах, т/ч	Доля первичного воздуха, $\Delta\alpha_1$	Доля вторичного воздуха, $\Delta\alpha_2$	Доля третичного воздуха, $\Delta\alpha_3 = \Delta\alpha_{3\text{н.д.}} + \Delta\alpha_{3\text{з.д.}}$		Присосы в топку, $\Delta\alpha_t$
			Нижнее дутье, $\Delta\alpha_{3\text{н.д.}}$	Заднее дутье, $\Delta\alpha_{3\text{з.д.}}$	
50-60	0,53	0,25	0,25	0,15	0,07
65-75	0,55	0,25	0,25	0,15	0,05
Нагрузка котла, т/ч	Коэффициент избытка воздуха в котле, α_t	Концентрация оксидов азота, мг/нм ³	q_4	q_2	КПД котла (брутто)
50-60	1,25	380	0,36	7,54	91,3
65-75	1,25	360	0,29	7,41	91,5

При данном распределении долей воздуха в котле содержание оксидов азота уменьшилось на 10-12%, а КПД Брутто увеличилось за счет снижения потерь с уходящими газами котла.

Теперь проанализируем данное распределение долей воздуха в котле при помощи эксергетического анализа. На рисунке 1 представлен эксергетический баланс котлоагрегата БКЗ 75-39ФБ сжигающий канско-ачинские угли.

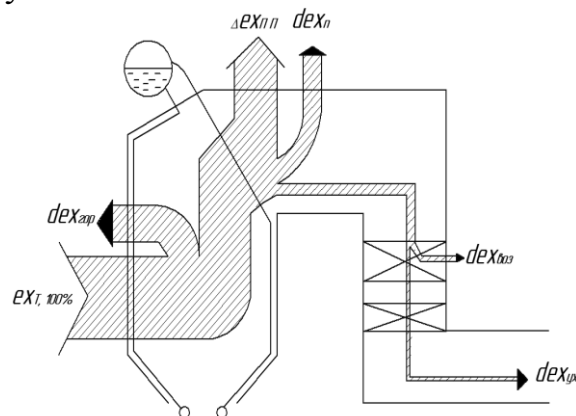


Рис. 1. Эксергетический баланс котлоагрегата БКЗ 75-39ФБ

Эксергетический баланс котлоагрегата описывается выражением:

$$ex_t = \Delta ex_{\text{пп}} + dex_{\text{гор}} + dex_{\text{п}} + dex_{\text{воз}} + ex_{\text{ух}}, \quad (1)$$

где $\Delta ex_{\text{пп}}$ – приращение эксергии в процессе превращения воды в пар; $dex_{\text{п}}$ – потеря эксергии в процессе превращения воды в пар; $dex_{\text{гор}}$ – потеря эксергии при необратимом процессе горения топлива; $dex_{\text{воз}}$ – потеря эксергии продуктов сгорания за счет теплообмена в воздухоподогревателе; $ex_{\text{ух}}$ – потеря эксергии с уходящими газами.

Наибольшие потери получаются при необратимом процессе горения топлива и при превращении воды в пар. Рациональное распределение долей воздуха повлияло на изменение зон горения и смещения факела, тем самым снизив температуру в топке котла около 100°C , эти и другие факторы, такие как снижение температуры уходящих газов и уменьшение коэффициента избытка воздуха до 1,25 повлекло за собою увеличение эксергетического КПД котла.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бродянский, В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В.М.Бродянский. – М.: Энергия, 1973.- 296с.
2. Шаргут, Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела. – М.: Энергия, 1968. – 280с.
3. S. Bilgen & K. Kaygusuz (2008) Second Law (Exergy) Analysis of Cogeneration System, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 30:13, 1267-1280, DOI: 10.1080/15567030701258311
4. D. Mitrović, D. Zivkovic & M. S. Laković (2010) Energy and Exergy Analysis of a 348.5 MW Steam Power Plant, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 32:11, 1016-1027, DOI: 10.1080/15567030903097012

Научный руководитель: М.В. Колосов, к.т.н., доцент СФУ.

ГАЗИФИКАЦИЯ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА

Д.В. Субботин¹, А.В. Казаков²

^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, ПГС и ПГУ, ¹группа 5ВМ4А

Введение

Промышленная газификация древесины – это сложный химический процесс, включающий в себя ряд разнообразных реакций и превращений. Он обычно проводится в ограниченном присутствии кислорода воздуха. Универсального описания процессов, происходящих при пиролизе биомассы не существует, т.к. эти процессы многокомпонентные и многофакторные.

Термическое разложение сложных биологических соединений начинается при температурах около 100 °С. Разложение основных веществ, содержащихся в древесине, в ходе пиролиза начинает происходить при температуре около 200 °С, но главные процессы происходят при температурах свыше 400 °С [1].

В состав древесины входит 45-60 % целлюлозы, 15-35 % лигнина и 15-25 % гемицеллюлоз, а также пектаты кальция и магния, смолы, камеди, жиры, танины, пигменты и минеральные вещества. Сухое вещество древесины содержит около 50 % углерода, 6 % водорода, 44% кислорода, около 0,2 % азота и не более 1 % серы. Содержание минеральных веществ (зольность) древесины 0,2-1 %. В древесных сучьях золы может быть до 2 %, в корнях до 5 % [2].

Сейчас на промышленных предприятиях отходы древесины и другие биопродукты в лучшем случае сжигаются в печах и топках котлов, которые загружают измельченной щепой или топливными гранулами. Однако, стандартные топки имеют низкий КПД, требуют регулярной очистки и ремонтов, а в атмосферу в виде дыма выбрасываются не сгоревшие сложные и вредные углеводородные соединения и зольная пыль [3].

Генераторный газ, как топливо, имеет несомненные преимущества перед прямым сжиганием древесины и др. видов биомассы. Генераторный газ, подобно природному газу, может быть передан на большое расстояние по трубопроводам и в баллонах; его удобно использовать в быту для приготовления пищи, для отопления и нагревания воды, а также в технологических и силовых установках. Сжигание газа легко автоматизировать; продукты сгорания менее токсичны, чем продукты прямого сжигания древесины и других видов биомассы.

Также, одним из возможных способов его применения является его использования в топливных элементах для получения электроэнергии за счёт химических реакций [4].

Исходные данные по топливу

Одной из важнейших характеристик твёрдого топлива и особенно древесины является рабочая влажность. В связи с этим важно определить влияние этой характеристики на процесс пиролиза древесины. Для этого элементный состав исследуемой древесины был пересчитан на различные значения влажности, в диапазоне от 20 до 50 % (табл. 1).

Табл. 1. Элементный состав древесины при различной влажности

C, %	H, %	S, %	N, %	O, %	A, %	W, %
38,75	9,45	0,05	0,55	31	0,2	20
36,33	8,859	0,047	0,516	29,06	0,188	25
33,91	8,268	0,044	0,482	27,12	0,176	30
31,49	7,677	0,041	0,448	25,18	0,164	35
29,07	7,086	0,038	0,414	23,24	0,152	40
26,65	6,495	0,035	0,38	21,3	0,14	45
24,23	5,904	0,032	0,346	19,36	0,128	50

Исследование зависимости состава газа от температуры

Получаемый в ходе газификации газ всегда содержит определённое количество углекислого газа CO_2 , монооксида углерода CO , воды H_2O , метана CH_4 , а зачастую и высших углеводородов. Если же пиролиз осуществлялся в присутствии воздуха, то газ также будет содержать и оксиды азота. Наличие в древесине небольшого количества серы приводит к образованию H_2S . Скорость газификации топлива и состав получаемого газа существенно зависит от температуры, что показано на рис. 1.

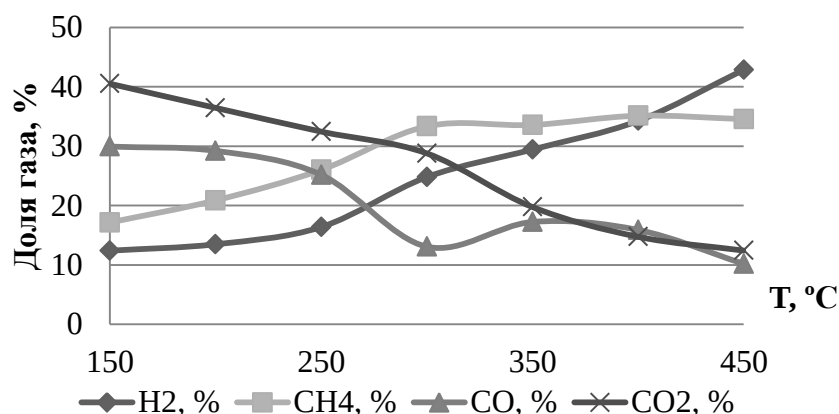


Рис. 1. Зависимость состава газа от температуры переработки (T) древесины

Зависимости объема газа от температуры и рабочей влажности

При газификации более влажной древесины выход газа снижается, что видно из полученных зависимостей (рис. 2). Оптимальная влажность газифицируемой древесины должна составлять около 25 - 30 %, где влияние температуры переработки не столь значительно.

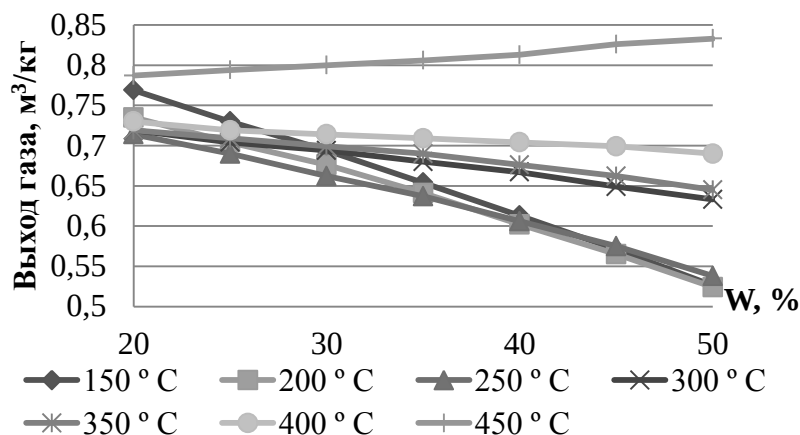


Рис. 2. Зависимость объема вырабатываемого газа от рабочей влажности (W) древесины и температуры переработки

Исследование теплоты сгорания газа в зависимости от температуры и рабочей влажности

Основными горючими компонентами синтез-газа являются окись углерода (CO), водород (H₂), метан (CH₄) и другие высшие углеводороды (C_mH_n). Теплота сгорания получаемого газа зависит от вида используемого сырья и условий газификации. Как отчетливо видно из полученного графика (рис. 3), при газификации более влажной древесины качество газа заметно снижается.

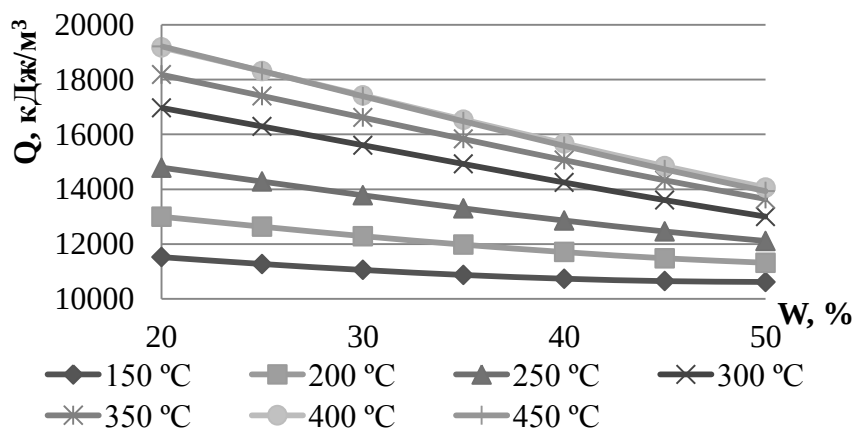


Рис. 3. Зависимость теплоты сгорания (Q) получаемого газа от температуры переработки и рабочей влажности (W) древесины

Теплота сгорания синтез-газа уменьшается из-за значительного понижения температуры в зоне собственно газификации, т.к. значи-

тельная часть энергии расходуется на испарение воды, содержащейся в топливе.

Анализ результатов и выводы

При проведении данного исследования с использованием методов компьютерного моделирования были установлены наглядные зависимости между свойствами топлива, параметрами переработки и качеством получаемого синтез-газа.

В частности, была определена важная роль температуры протекания процесса газификации на его результаты, особенно на выход газа и его теплотворную способность. Также была установлена температура (400 °С), при которой происходит резкое увеличение выхода водорода и кислорода из древесины и, как следствие, рост объёма получаемого газа. В целом, с повышением температуры, наблюдается улучшение основных параметров газа.

На процесс выработки синтез-газа огромное влияние оказывает и такой параметр топлива, как его рабочая влажность. При этом, путём сравнения результатов газификации древесины различной степени влажности, было установлено оптимальное значение в 25-30 %, когда влияние температуры процесса на результат, не столь велико. Это позволяет использовать низкотемпературный пиролиз для получения газа и приемлемыми параметрами. Однако с ростом влажности топлива, наблюдается и существенное снижение свойств конечного продукта.

Подводя итог, можно сказать, что настоящее исследование подтвердило высокий потенциал использования древесины для выработки синтез-газа методом каталитического пиролиза.

Работа выполнена в рамках ГЗ НИР № 2069 (2.1322.2014).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Казаков А.В. Термическая конверсия низкосортных топлив применительно к газогенерирующим установкам: диссертация ... канд. техн. наук. – Томск: Б.и., 2002. – 159 с.
2. Батенин В.М., Бессмертных А.В., Зайченко В.М. Термические методы переработки древесины и торфа в энергетических целях // Теплоэнергетика. – 2010. – № 11. – С. 36-42.
3. Корякин В.И. Термическое разложение древесины. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 678 с.
4. Никитин В.М. Химическая переработка древесины и ее перспективы. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 88 с.

Научный руководитель: А.В. Казаков, к.т.н., доцент каф. ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.

МАЛАЯ АВТОНОМНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ С ВНЕШНИМ ПОДВОДОМ ТЕПЛА НА ОСНОВЕ РОТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВЕРСКОГО СО ВСТРОЕННЫМ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОМ

А.С. Коробец

Саратовский государственный технический университет
имени Ю.А.Гагарина

Мы остановимся на рассмотрении миниэлектростанций, которые применяются в основном в качестве источников резервного или аварийного электроснабжения, а также для временного подключения небольшой нагрузки - на даче, стройке, в походе и т.д., то есть там, где требуется непродолжительное время работы источника энергии. Мощность таких миниэлектростанций, как правило, не превышает 100 кВт.

Сегодня остро стоит вопрос экономии природных ресурсов и получения дешёвой электроэнергии. Даже незначительное улучшение этих показателей на 10-20% принимается как революционное. При этом мы наблюдаем колоссальные ресурсные вложения в модернизацию существующей технологии. Такой количественный путь развития электроэнергетики, особенно для масштабов России, более недопустим. Единственный путь для решения этой проблемы состоит в создании высокоэффективной и дешевой автономной энергетики. То есть создание локальных источников электроэнергии, максимально приближенных к потребителю, с целью обеспечения энергичного развития сельских (АПК) и промышленных зон, в том числе в удаленных и малодоступных регионах.

В основу создания положено использование нового типа малой автономной электростанции на основе двигателя, соединяющего в себе преимущества роторно-лопастной расширительной машины и принципа внешнего подвода теплоты. Данный синтез явился следствием тщательного анализа современных конструктивных вариантов двигателей с выявлением достоинств и недостатков каждого. Это позволяет с большей эффективностью, чем при обычном сгорании, использовать энергию газообразного, жидкого или твердого видов топлива.

Эффективность разрабатываемой электрогенерирующей установки определяется эффективностью цикла Ренкина для органических рабочих тел. В так называемом Органическом цикле Ренкина вместо воды и водяного пара используются органические жидкости с низкой температурой кипения, в качестве этих жидкостей используются:

фреон, бутан, пропан, аммиак, и новые, "экологически чистые", хладагенты. Для удобства они носят сокращенные названия - R123, R245. Ниже показана какая разница существует между водой и хладагентами: при атмосферном давлении вода кипит при 100С, фреон X123 при 27,8С, а фреон R245fa при 15,3С. (фреон R142b, который используем мы в своем опытном образце кипит при -8С, а при 80С имеет давление паров почти 13 бар = 1,3 МПа). За счет этого становится возможным использовать источники тепла, имеющие низкую температуру, например солнечные пруды (Solar pond), которые обычно нагреваются до 70-90 °с. Цикл ORC обладает высокой общей эффективностью использования энергии топлива: 98% поступающей тепловой энергии преобразуется в электрическую энергию (около 20%) и тепло (78%), с крайне ограниченными тепловыми утечками, только 2% в связи с тепловой изоляцией, и минимумом потерь в генераторе. Максимально возможно достижение электрического КПД около 24%. Тепло может быть использовано для нагрева воды, обогрева помещения или в технологических процессах сушки различных материалов и изделий.

Малая электростанция состоит из: топка для сжигания разного вида топлива (органического и горящих отходов) с целью получения высоко нагретых дымовых газов. Полученная тепловая энергия используется для нагрева низкокипящего носителя; электросилового модуль с роторным двигателем Тверского и соединённый на одном валу с электрогенератором, приводящийся в движение путём механического воздействия рабочего тела под давлением; замкнутый контур с низкокипящим рабочим телом (фреон - r142b- который вызывает слабое истощение озонового слоя)

Основные качественные показатели малой электростанции:

- низкая стоимость вырабатываемой электроэнергии;
- высокая экономичность по топливу (низкий удельный расход);
- экологическая чистота продуктов выброса при работе электростанции;
- широкий диапазон используемых видов топлив;
- низкая строительная стоимость и металлоемкость;

Проблема обеспечения потребителей централизованной электроэнергией обостряется. В связи с этим необходимость разработки и развертывания массового производства автономных источников дешевой и экологически чистой электрической энергией становится реально рыночно востребованной, особенно для широкомасштабного сельского (АПК), индивидуального и военного жилого строительства. Маркетинговые исследования указывают на наличие развитого, и по типу и по масштабу, рынка автономных электростанций с бензино-

выми или дизельными ДВС мощностью до 100 кВт, производимых фирмами ведущих зарубежных стран. Производство продукции такого уровня в России практически отсутствует. Аналоги разрабатываемой автономной станции с двигателем Тверского отсутствуют на отечественном рынке.

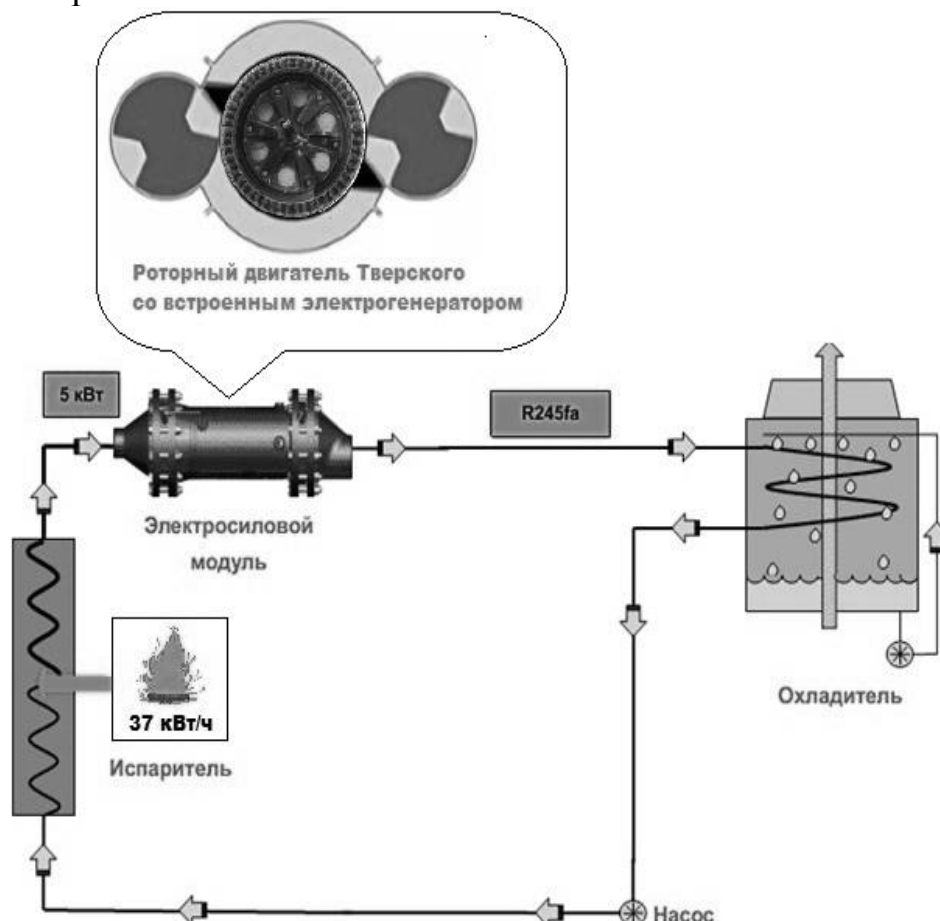


Рисунок 1. Структурная схема разрабатываемой малой автономной электростанции с внешним подводом тепла на основе роторного двигателя Тверского со встроенным электрогенератором и тепловым рабочим контуром с низкокипящим теплоносителем.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вейник А.И. Техническая термодинамика. Основы теплопередачи. - М.: Металлургиздат, 1956. – 150 с.
2. Вернадский В.И. Проблемы времени в современной науке // Известия АН СССР, 1932. Сер.7 (ОМОН), № 4. С. 511-541.
3. Мюнстер А. Химическая термодинамика. Пер. с нем. - М.: Мир, 1971.-210 с.

4. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций 4-е изд., стер. М.: Академия, 2007. - 448 с.

Научный руководитель: С.Ф. Степанов, д.т.н., профессор, СГТУ имени Гагарина Ю.А.

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ НА СОВРЕМЕННЫХ ТЭС

С.В. Седельников¹, В.А. Дубровский², М.В. Зубова³
«Сибирский федеральный университет»

¹ Политехнический институт, кафедра «Тепловые электрические станции», бакалавр группы ФЭ12-01

² Политехнический институт, профессор кафедры «Тепловые электрические станции»

³ Институт экономики и управления бизнес процессами, доцент кафедры «Экономики и организации энергетического и транспортного комплексов»

Современные способы подготовки и сжигания углей на тепловых электростанциях не вполне соответствуют современным требованиям обеспечения надежности, экологической безопасности и экономической эффективности работы котельных агрегатов.

В этой связи возникала необходимость разработки высокоэффективной технологии энергетического использования углей, направленной на комплексное решение проблем сжигания углей на современных ТЭС, а именно: исключение применения дорогостоящего жидкого топлива-мазута, снижение оксидов азота, снижение шлакования поверхностей нагрева котлоагрегатов [1].

На рис. 1 представлен эскиз универсального эколого энергоэффективного горелочного устройства.

Универсальное эколого энергоэффективное горелочное устройство, состоит из муфельного участка, который при пуске котла разогревается в течение 15–20 минут карбид кремниевыми нагревателями до температуры 550–650 °С. Затем в горелочное устройство подается угольная пыль, она газифицируется при коэффициенте избытка воздуха значительно меньше единицы. После установления стабильного режима система разогрева автоматически отключается. Смесь горючих газов и коксовых частиц на выходе из горелочного устрой-

ства смешивается с вторичным воздухом, воспламеняется и поступает на сгорание в топочную камеру котла.

Таким образом, пуск котла происходит без применения дорогостоящего жидкого топлива-мазута, что позволяет сэкономить от 40 до 100 тонн мазута на одну растопку. Универсальные эколого энергоэффективные горелочные устройства с успехом можно применять при работе котлов на пониженных нагрузках, т.к. газифицированный поток угольной пыли, полученный в объеме этих горелок и поступающий в топочную камеру котла будет выполнять роль подсветки факела вместо применяемого в настоящее время дорогостоящего жидкого топлива - мазута.

Существенной новизной предлагаемой технологии сжигания в отличие от аналогов является её направленность на комплексное решение проблем эффективного энергетического использования углей на основе универсальных горелочных устройств с предварительной газификацией потока угольной пыли в муфельной части горелок. Внедрение универсальных горелочных устройств позволит существенно повысить эффективность работы угольных энергоблоков ТЭС за счет комплексного решения проблем сжигания угля в котельных агрегатах. Аналогичные российские и зарубежные разработки решают, как правило, одну, максимум две проблемы сжигания углей.

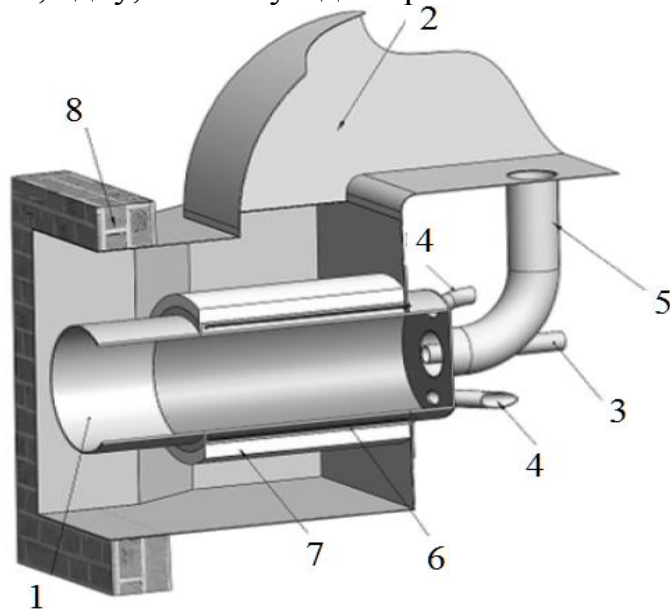


Рис. 1. Эскиз универсального энергоэффективного горелочного устройства: 1 – муфельная часть; 2 – короб вторичного воздуха; 3 – устройство подвода пыли высокой концентрации; 4 – тангенциальный патрубок подачи первичного воздуха; 5 – патрубок осевой подачи первичного воздуха; 6 – система нагрева; 7 – тепловая изоляция; 8 – амбразура котла.

Технология предназначена для сжигания всех типов бурых и высокорекреационных каменных углей, в том числе Канско-Ачинского и Кузнецкого бассейнов с высоким выходом летучих и позволяет работать с любыми типами котельных агрегатов, использующих камерное сжигание угольного топлива. Опыт применения опытно промышленного образца универсального горелочного устройства, установленного на котле БКЗ-420-140 Красноярской ГРЭС-2 **показал техническую реализуемость и реальную возможность достижения поставленных целей.**

При полном оснащении котлов универсальными горелочными устройствами появится реальная возможность обеспечить не только безмазутную растопку котлов, а также: снизить в 2–3 раза выбросы оксидов азота; стабилизировать работу котлов на пониженных нагрузках; повысить коэффициент использования установленной мощности ТЭС за счет снижения загрязнения и шлакования поверхностей нагрева котельных агрегатов; обеспечить срок окупаемости Проекта - около трех лет.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дубровский В.А. Повышение эффективности энергетического использования углей Канско-Ачинского бассейна: монография / В. А. Дубровский. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. – 184 с.

Научный руководитель: В.А. Дубровский, д.т.н., Политехнического института Сибирского федерального университета.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЫ УНОСА КЕМЕРОВСКОЙ ГРЭС

А.С. Сысолятин, А.В. Полтавец, Е.Ю. Темникова
Кузбасский государственный технический университет

По данным Сибирской генерирующей компании (СГК) ежегодно на золоотвалах предприятий Кузбасского филиала СГК образуется около 2 млн. т золошлаков, а их общий объем достигает 80 млн. т. Отходы энергетики традиционно утилизируются в специально отведенных хранилищах – золоотвалах, что наряду с потерей земельных площадей ведет к усилению неуправляемой миграции отходов в окружающую среду.

В Кемеровской области генерирующие предприятия начали перерабатывать комплекс мероприятий по увеличению объемов полезного использования золошлаковых отходов (ЗШО) и вовлечению их в хозяйственный оборот. Например, с водной поверхности золоотвалов Беловской ГРЭС и Томь-Усинской ГРЭС собирается легкая фракция, упаковывается в специализированные мягкие контейнеры и на уникальном оборудовании перерабатывается в высококачественный продукт – алюмосиликатные микросферы.

Большая часть реализуемых объемов ЗШО может применяться для производства стройматериалов, при строительстве автомобильных дорог и рекультивации земель, в том числе и открытых горных выработок, однако основная масса ЗШО используется без специальной дополнительной переработки.

Цель работы – разработка комплексного подхода для переработки золы уноса на магнитную, немагнитную и «легкую» фракции, востребованные промышленностью.

Задача работы – исследование дисперсного и химического состава золы уноса, ее фракций для переработки на ценные компоненты.

В результате разделения золы уноса, предоставленной Кемеровской ГРЭС, получено массовое содержание фракций в среднем для немагнитной – 92,3 % , магнитной – 4,5 % и «легкой» (микросфер) – 1,8 %. Основная часть золы уноса – 66 % имеет размер менее 50 мкм.

Определен химический состав магнитной и немагнитной фракции золы уноса (табл. 1). В магнитной и немагнитной фракции основной процент от общей массы относится к оксиду кремния (SiO). В [1, 2] содержание данного компонента лежит в пределах 46-62 %.

Табл. 1. Химический состав золы уноса

Наименование компонента	Содержание, %	
	Немагн. фр.	Магн. фр.
Na ₂ O	1,76	1,45
MgO	2,02	3,21
Al ₂ O ₃	22,00	16,28
SiO ₂	58,14	44,52
P ₂ O ₅	0,58	0,48
SO ₃	0,41	0,48
K ₂ O	2,50	1,66
CaO	5,37	6,06
TiO ₂	0,84	0,59
MnO	0,06	0,09
Fe ₂ O ₃	6,00	25,01
BaO	0,33	0,20

Проведен ситовой анализ микросфер, который показал, что трем размерам 90, 130, 180 мкм (90-180 мкм) соответствует основное содержание микросфер 88,8 %. Для получения микросфер достаточно подвергнуть рассеву золу уноса на сите с размером ячеек 80 и 180 мкм. Предполагаем, что условия образования микросфер в процессе горения прежде всего зависят от процесса пылеприготовления. Тонкость помола угольной пыли влияет на размер образующихся шариков в топке котла.

Табл. 2. Механический недожог

Проба, мкм	Доля несгоревшей орг. массы топлива, %
<50	0,7387
50-63	1,6987
63-80	1,5196
80-100	2,0951
100-160	5,2857
160-200	4,8478
>200	2,2152

Для определения механического недожога золу уноса разделили на фракции и каждую фракцию подвергли анализу (табл. 2). Механический недожог топлива включает в себя содержание углерода топлива в унесенной дымовыми газами золе. Так как зола уноса на 84 % состоит из частиц размером менее 80 мкм, то соответственно доля несгоревшего углерода в золе концентрируется в этой фракции и составляет около 4 %. Целесообразно несгоревшие частицы извлекать из золы, так как они являются нежелательной составляющей, снижающей качество строительных изделий.

Разработана технологическая схема комплекса утилизации золы уноса (рис. 1), подобрано основное оборудование. Предлагаемый комплекс утилизации золы уноса представляет собой совокупность технологического оборудования, способного производить переработку золы на 3 фракции. В целом весь процесс производится в 4 стадии: отбор сухой золы уноса; транспортирование золы до места утилизации; разделение исходного материала на 3 фракции; фасовка конечного продукта.

Зола из бункера электрофилтра 1 собирается в сборный бункер 2, откуда равномерно подается в трубопровод 3 (БШГД, $d = 219 \times 20$ мм, $l = 100$ м). Для транспортировки сыпучего материала применяется вакуумная система, главным элементом которой является паровой эжектор 5, создающий разрежение в пневмосистеме. Шибер 15 регулирует подачу воздуха в систему. Воздух транспортирует ча-

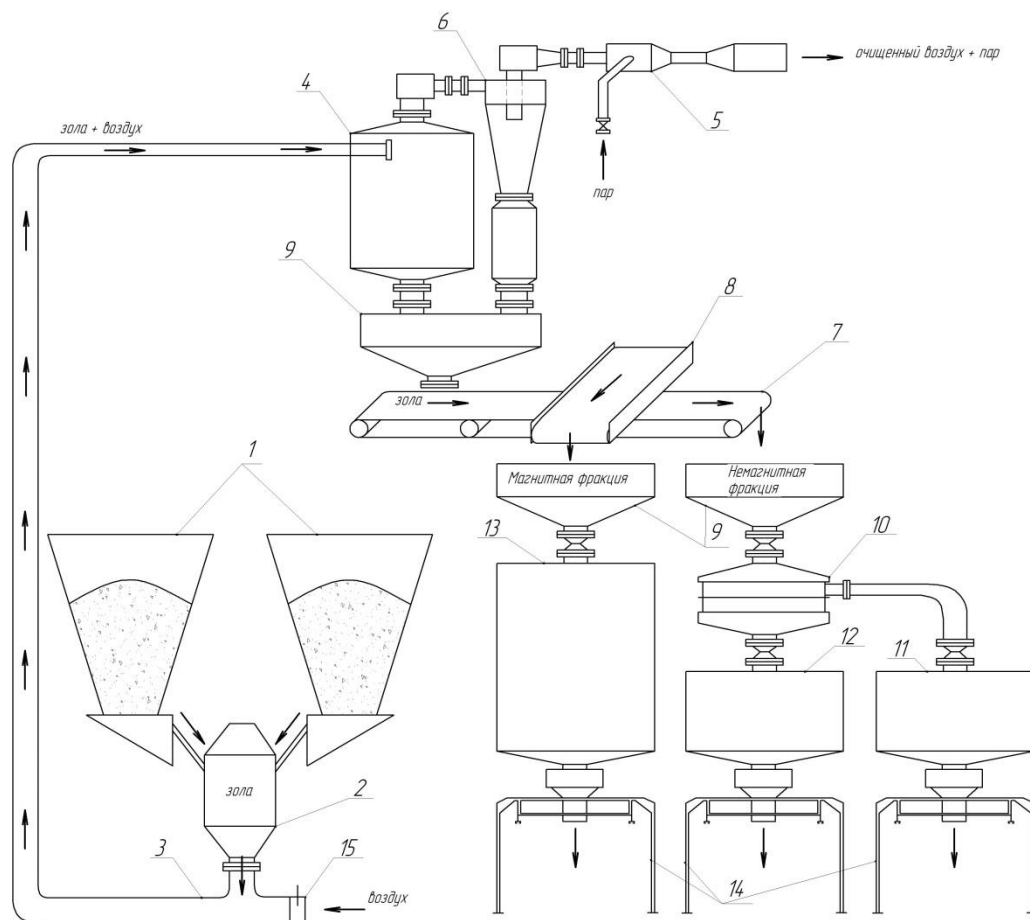
стицы золы во взвешенном состоянии по трубопроводу 3 до пылеуловителя 4 (ВЗП-М-450), где происходит ее осаждение. Далее запыленный воздух направляется на вторую ступень очистки двумя центробежными циклонами 6 (ЦН11-630 и УЦМ-38-800), откуда очищенный воздух, смешиваясь с паром, выбрасывается через трубу в атмосферу. Зола из пылеуловителя 4 и циклонов 6 ссыпается в приемный бункер 9, где происходит промежуточное накопление исходного продукта. Посредством питателя зола ссыпается на ленточный конвейер 7 (ЛТ-400), над которым установлен магнитный сепаратор 8 (RCYD-5), производящий сбор магнитной фракции из движущегося потока. Минуя магнитный сепаратор 8, немагнитная фракция ссыпается в приемный бункер 9, откуда производится подача исходного материала на вибросито 10 (SWECO MX 60). Сбор разделенных фракций производится в промежуточные бункера 11, 12 и 13, где под каждый установлена фасовочная машина 14 (ДФ-ОБ) для автоматической фасовки каждой фракции в специальные мешки «Big bag».

Выход золы уноса с котла Е-420-14-550 (ТП-87-1) Кемеровской ГРЭС составляет около 10 т/ч. За год комплекс позволит переработать приблизительно 61320 т золы уноса в масштабах Кемеровской ГРЭС и позволит сократить расходы на платежи на 858 тыс. руб./год за размещение ЗШО на золоотвале при ставке платежа 14 руб./т, а также улучшить ситуацию в направлении сокращения объемов золы, складированной на золоотвале станции и при этом увеличится срок использования существующего золоотвала.

Комплекс по утилизации золы уноса будет расположен на территории Кемеровской ГРЭС и работы по строительству здания будут производиться с нулевого цикла. Ориентировочная стоимость всего комплекса с учетом установленного оборудования (и конструкции из сэндвич-панелей) составит около 9 млн. руб. При рыночной стоимости каждой фракции: «легкой» – 20000 руб./т; немагнитной – 800 руб./т; магнитной – 5000 руб./т – доход составит около 78 млн. руб., чистая прибыль комплекса – 67,5 млн. руб., срок окупаемости 1,5 месяца. Каждый вложенный рубль принесет прибыль в 7,63 руб.

Согласно проведенному исследованию рынка сбыта золы уноса можно сказать, что после глубокой переработки золы конечные продукты разделения имеют высокий спрос в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства, чем исходный продукт.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках соглашения № 14.583.21.0004 ФЦП, RFMEF158314X0004.



ЛИТЕРАТУРА:

1. Федорова Н.В., Шафорост Д.А. Перспективы использования золы-уноса тепловых электростанций Ростовской области // Теплоэнергетика. – 2015. – №1. – С. 53-58.
2. Шишелова Т.И., Самусева Т.И. Рациональное недропользование – путь к процветанию // Мат. конф. Успехи современного естествознания. – 2007. – № 11. – С. 77-80.

Научный руководитель: А.Р. Богомолов, д.т.н., в.н.с., Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, заведующий кафедрой теплоэнергетики, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева.

ГОРЕНИЕ МЕТАН-КИСЛОРОДНОЙ СМЕСИ В СРЕДЕ ВОДЯНОГО ПАРА

К.О. Кирилов, С.С. Азиханов, А.Р. Богомоллов

Кузбасский государственный технический университет имени
Т.Ф. Горбачева, Институт энергетики, кафедра ТЭ, Кемерово, Россия
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск,
Россия

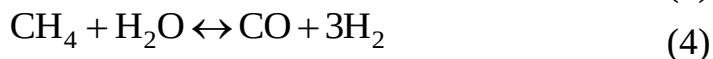
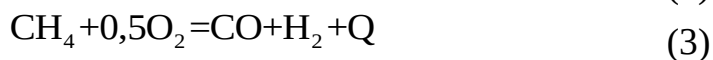
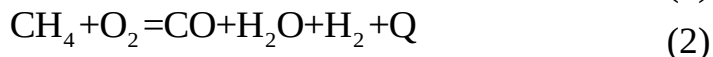
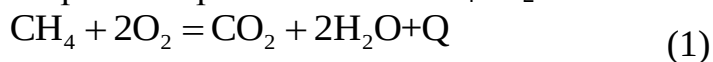
Современные теплоэлектростанции (ТЭС), работающие при сверхкритических и параметрах пара, в настоящее время являются одними из наиболее перспективных направлений исследования, проектирования и строительства в области энергетического оборудования. Это связано с тем, что такие ТЭС позволят существенно повысить КПД выработки электроэнергии, а вместе с этим и значительно сократить загрязнение окружающей среды. В Евросоюзе планируется внедрить пылеугольные энергоблоки с КПД около 53-54% [1].

В создании высокоэффективных энергоблоков можно выделить два направления технических вопросов, которые необходимо учитывать при их проектировании:

- разработка конструкционных материалов турбин, выдерживающих давление до 37,5 МПа и температуру до 700°C и выше;
- технологию перегрева пара до требуемых параметров.

Первое направление в настоящее время достаточно успешно решается, при этом уже существуют материалы, позволяющие выдерживать требуемые параметры при высоком коэффициенте готовности турбины.

Второе направление развивается по пути получения перегретого водяного пара продуктами сгорания горючей смеси $\text{CH}_4 + \text{O}_2$:



При анализе литературных данных было установлено, что в основном работы проводятся при использовании смесей метан-воздух в присутствии микрокапель воды и тумана [2]. При этом отсутствуют работы по сжиганию метан-кислородной смеси в среде низкотемпературного водяного пара.

Целью данной работы являлось получение перегретого пара с использованием в качестве горючего газа метана и окислителя – кис-

лорода, определение температурных параметров продуктов сгорания и его состава в определенном диапазоне расходных характеристик горючей смеси и водяного пара. Опыты проведены при значении коэффициента избытка окислителя, близком к 1. Камера сгорания (пароперегреватель) выполнена из нержавеющей стали, внутри которого в спутном потоке движутся потоки пара и продуктов сгорания метан-кислородной смеси.

Схема экспериментального стенда для исследования режимов горения смеси метан/кислород в среде низкотемпературного водяного пара с получением пара высокой температуры представлена на рисунке 1.

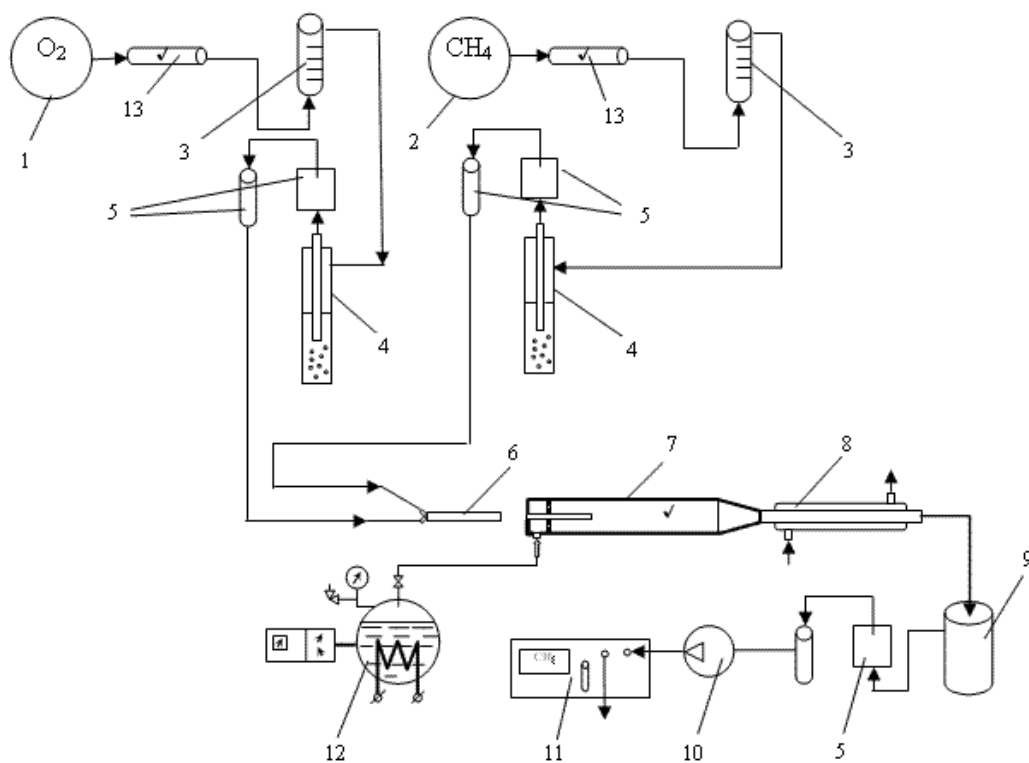


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1 – емкость с O_2 ; 2 – емкость с CH_4 ; 3 – расходомеры газа; 4 – огнепреградитель; 5 – емкости осушки газов; 6 – газовая горелка; 7 – пароперегреватель (камера сгорания); 8 – конденсатор; 9 – емкость разделения газовых и жидких продуктов; 10 – компрессор; 11 – газоанализатор; 12 – парогенератор; 13 – регистратор температуры газа

Длина пароперегревателя составляла 200 мм, внутренний диаметр – 20 мм, материал – нержавеющая сталь. В ходе выполнения экспериментов контролировались следующие параметры: расход и температура компонентов горючей смеси на входе в реактор, расход и

температура водяного пара, температура, объем и концентрация выходящих газов. Сбор параметров осуществлялся в автоматизированном режиме.

В результате смешения в пароперегревателе продуктов сгорания горючей смеси и водяного пара получен перегретый водяной пар (480-600°C) при атмосферном давлении, в котором содержатся газовые примеси. Далее смесь газов проходила через конденсатор-сепаратор, в котором происходила конденсация паров воды, и поступала через влагоотделитель в поточный газоанализатор. Погрешность измерения концентраций компонентов не превышала 5 %.

Реакция горения метана может протекать по уравнению (1) при стехиометрическом соотношении или при избытке окислителя, либо по уравнениям (2) и (3) при его недостатке, а также может протекать реакция (4). Паровая конверсия метана протекает в широком интервале температур по одной из основных химических реакций (4) [3]. Эта реакция может протекать не только в непосредственной области смешения водяного пара на границе поверхности факела с продуктами сгорания метано-кислородной смеси, но и за фронтом пламени в объеме камеры сгорания. Необходимо исследовать условия горения горючей смеси в водяном паре с целью снижения содержания водорода.

Зависимость состава газа от относительного расхода горючей смеси представлена на рисунке 2.

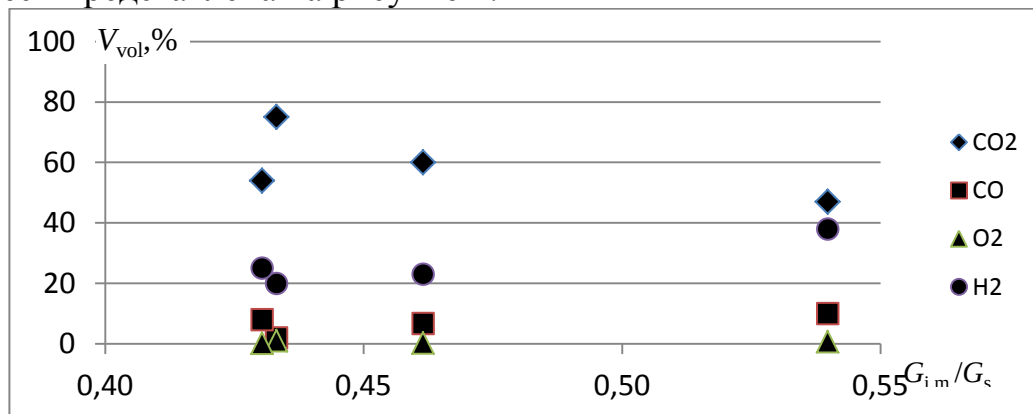


Рис. 2. Зависимость концентрации компонентов газовой смеси (V_{vol}) от отношения расходов горючей смеси ($G_{i.m.}$) и водяного пара (G_s)

Здесь изображены полученные концентрации компонентов продуктов реакции при различных отношениях массового расхода горючей смеси ($G_{i.m.}$) к массовому расходу водяного пара (G_s). Количество подаваемого водяного пара в пароперегреватель было неизменным.

По результатам измерений можно предположить, что при значении отношения $G_{i.m.}/G_s$, равном 0,43, происходит окисление метана по

уравнению (1). Далее, при увеличении расхода горючей смеси происходит незначительное смещение в сторону реакций (2)-(4).

Выводы. Проведено экспериментальное исследование горения смеси $\text{CH}_4:\text{O}_2$ в среде низкопотенциального водяного пара. Определена область устойчивого горения смеси при исследуемых значениях расходных характеристик горючей смеси и водяного пара. Получена перегретая парогазовая смесь с температурой в диапазоне 480-600°C и давлением, близким к атмосферному. Повышение температуры парогазовой смеси происходит с увеличением доли подачи горючей смеси.

Научные исследования проведены при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России; уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57614X0049.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дубовский, С. В. Современные проблемы и перспективы развития тепловой энергетики / С.В. Дубовский // Проблемы загальной энергетики. 2008, №8. – С. 7-15.
2. Boushaki T., Dhué Y., Selle L., Ferret B., Poinsot T. Effects of hydrogen and steam addition on laminar burning velocity of methane–air premixed flame: Experimental and numerical analysis // International Journal of Hydrogen Energy. 2012, Vol. 37, №11, P. 9412-9422. ISSN 0360-3199.
3. Махмутов, Р. А. Термодинамика паровой конверсии метана / Р.А. Махмутов [и др.] // Башкирский химический журнал. 2010, Т.17, №3. – С. 137-139.

Научный руководитель: Н.А. Прибатурин, д.т.н., гл. научный сотрудник, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК ОСНОВА РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

О.М. Кокшарев¹, А.И. Артамонцев²
^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, ПГС и ПГУ, ¹группа 5ВМ51

Тепловая энергетика – динамично развивающаяся отрасль на протяжении последних 80 лет. КПД тепловых станций за этот период вырос с 10 до 60 %, что позволяет достигать сразу две цели – снизить удельный расход топлива на производство 1 кВт·ч электроэнергии и

улучшить экологические показатели энергоблоков, включая сокращение выбросов, создающих так называемый «парниковый эффект». В соответствии с термодинамикой, термический КПД тепловых электростанций повышается за счёт увеличения температуры и давления пара. В свою очередь, освоение более высоких параметров пара во всем мире сопровождалось разработкой и внедрением новых конструкционных материалов.

Выпускаемые в настоящее время изделия работают в очень тяжелых эксплуатационных условиях. Известные стали и чугуны уже не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к различным изделиям. Условия работы современных энергетических комплексов выдвигают требования прочности и стойкости конструкционных материалов в широком диапазоне температур.

Стремление авторов машин поднять рабочие давления, скорости и температуры, уменьшить массу изделий, приходящуюся на единицу создаваемой или передаваемой мощности, определило тесное взаимодействие работоспособности агрегатов от достижений материаловедения.

Так, переход от среднего (до 4 МПа, 450 °С) на высокое давление (10 МПа, 500 °С) был обеспечен созданием низколегированных теплоустойчивых хромомолибденовых сталей перлитного класса (15ХМ).

Выход на параметры для высокого (14 МПа, 570 °С) и сверхкритического (25 МПа, 560 °С) давления стал возможным благодаря внедрению низколегированных теплоустойчивых хромомолибденованадиевых сталей перлитного класса марок 12Х1МФ и 15Х1М1Ф для пароводяных систем, а для пароперегревателей котлов с температурой до 620 °С использованы высоколегированные стали аустенитного класса типа 12Х18Н12Т [1].

Что касается требований, предъявляемых к материалам наиболее изнашиваемых деталей турбин ТЭС и АЭС – лопаток, роторов и корпусов, то здесь все зависит от условий их работы. Большой охват изменения давлений, температур, влажности, напряжений, нестационарные условия работы, длительность срока эксплуатации – все это обуславливает потребность применения высококачественных сталей и сплавов. Так, для роторов паровых турбин на параметры до 600 °С разработана сталь Р2М2 (25ХМ1ФА).

Для важных сварных деталей, работающих под давлением (линзы компенсаторов, обечайки ресиверов и др.), применяется углеродистая качественная конструкционная сталь марки 20 или хромоникеле-

вая аустенитная сталь 12X18H9T (детали ресивера турбины К-500-65/3000 от ЦВД к СПП).

За рубежом по прочности на разрыв, сопротивлению ползучести и усталости, а также микроструктурной и термодинамической устойчивости для роторов, дисков и лопаток турбин были выбраны три сплава: Nimonic 105, Haynes 282 и Waspalloy.

Качественный скачок в мировой энергетике на параметры 600-620 °С и 26-30 МПа стал возможен благодаря созданию высокожаропрочных высокохромистых сталей мартенитно-ферритного класса. В импортных сталях это марки Р-91 и Р-92 Европейского союза и США [2].

В нашей стране была разработана подобная Р-91 сталь – 10Х9МФБ (ДИ-82) с разрешенной температурой 600 °С [3]. В последние годы на базе стали ДИ-82 создана сталь марки 10Х9В2МФБР, дополнительно легированная вольфрамом с температурой применения 620-630 °С [4, 5]. Эта сталь считается аналогом Р-92. На базе этой стали в ЦНИИТ-маше разработана высокохромистая сталь с легированием кобальтом 10Х9К3В2МФБР и температурой использования до 650 °С [4].

Следует отметить такую сталь как 10Х16Н16В2МБР (ЭП-184), высоколегированную сталь аустенитного класса, разработанную в СССР в 70-е годы прошлого века. Эта сталь показала высокие жаропрочные свойства [6]. Однако для сталей аустенитного класса коэффициент линейного расширения весьма высок и поэтому для работоспособности сварных швов паропроводов при эксплуатации этих сталей необходимо увеличивать время пусков-остановов. С учетом этого данная сталь является перспективной для пароперегревателей котлов с расчетной температурой до 700 °С.

На данном временном этапе Министерство энергетики США (DOE) организовало и финансирует работы по созданию энергоблока с температурой пара до 760 °С. При этом важное значение придается разработке конструкционных материалов, поскольку такой уровень параметров пара потребует применения новых материалов – сплавов на никелевой основе.

На рис. 1 показаны состав конструкционных материалов энергоблока в зависимости от параметров пара.

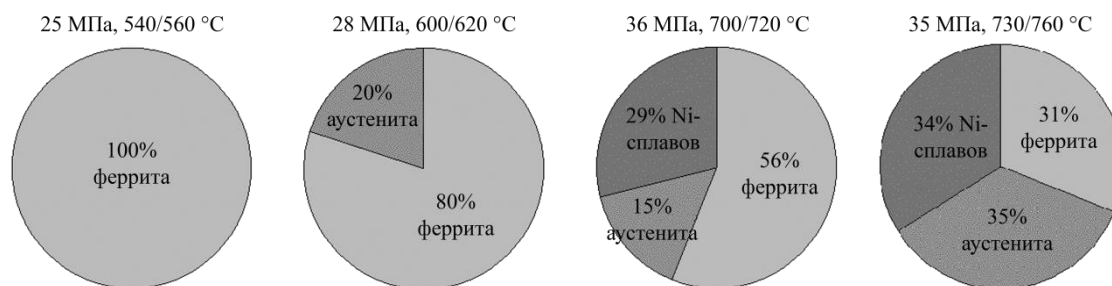


Рис.1. Выбор конструкционных материалов для различных параметров пара [7]

По сравнению с современной пылеугольной электростанцией со сверхкритическими параметрами пара (582 °C, $262 \cdot 10^5$ Па) станция с перспективными ультрасверхкритическими параметрами (УСКП) (760 °C, $345 \cdot 10^5$ Па) могла бы производить на 14% меньше CO_2 на 1 МВт·ч с экономией средств в размере 14 дол. на 1 т CO_2 . Вдобавок, ультрасверхкритические параметры пара не повысят КПД более чем на 3 %. Этот выигрыш будет сопровождаться существенным ростом капитальных затрат на строительство и изучение новых материалов, которые будут отвечать заданным свойствам. Также стали из данных материалов являются трудносвариваемыми и имеют высокую склонность к образованию трещин, несмотря на применение специальных технологических мер – подогрева и высокого отпуса.

Следует отметить, что данных по созданию сверхжаропрочных сплавов и их испытаниям в открытой печати крайне мало. Есть данные по европейскому проекту AD700 создания энергоблока с температурой пара 700 °C, КПД – 53 %, который на сегодняшний день приостановлен из-за высокой стоимости создания блока, которая не оправдывается повышением экономичности и снижением вредных выбросов, включая диоксид углерода, что подтверждает вышеупомянутые факты.

Существуют, однако, такие проекты, как COMTES700, MARCO700 по созданию стали HCM12 и сплава 617 для экранных труб. Ряд проектов, такие как Weisweiler, Esbjerg, нацелены на создание аустенитных сталей и сплавов на никелевой основе, способных работать при температуре пара 720 °C.

Вложение новейших конструкционных и функциональных материалов в стоимость перспективных отраслей составляют от 40 до 85%. Так, в США на НИОКР в области ресурсоэффективных материалов на протяжении последних 10 лет федеральное правительство выделяло более 1 млрд. долл. Ежегодные расходы частных фирм на эти цели составляют 5-6 млрд. долл.

Таким образом, даже краткий анализ современных достижений и проблем материаловедения и технологии производства конструкци-

онных материалов в области энергетики свидетельствует, что данная сфера находится в стадии революционных перемен и входит в число ключевых факторов ресурсоэффективных технологий.

Вне сомнения, данное обстоятельство должно стимулировать отечественные разработки в этом направлении.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Марочник сталей и сплавов / под ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2001.
2. Hold J. Microstructure and long-term creep properties of 9–12 % Cr steels // Intern. J. Pressure Vessels and Piping. 2008. V. 85. P. 30–37.
3. Дуб А.В., Скоробогатых В.Н., Щенкова И.А. Новые жаропрочные хромистые стали для перспективных объектов тепловой энергетики // Теплоэнергетика. 2008. № 7. С. 53–58.
4. Скоробогатых В.Н., Щенкова И.А., Козлов П.А. Опыт создания и промышленного освоения жаропрочных сталей для перспективного паропроводного и котельного оборудования // Сб. докл. науч.-техн. конф. «Ресурс, надежность и безопасность теплосилового оборудования электростанций». – М.: ОАО «ВТИ», 2011. С. 21–26.
5. Резинских В.Ф., Пчелинцев А.В. Исследование служебных характеристик стали 10X9B2MФБР-Ш // Теплоэнергетика. 2010. № 1. С. 31–36.
6. Моисеев А.А. Эксплуатация труб из аустенитных сталей на электростанциях. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
7. <http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2006/27.pdf>

Научный руководитель: А.И. Артамонцев, доцент, к.т.н, каф. ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.

СЖИГАНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ТОПКЕ КОТЛОАГРЕГАТА С ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОЗДУХА ДЛЯ ДОЖИГАЮЩЕГО ТОПЛИВА

М.С. Шерстобитов, Е.М. Резанов
Омский государственный университет путей сообщения

Дожигающее топливо в мусоросжигательных котельных агрегатах применяется для повышения температуры горения с целью экологически безопасной утилизации твердых бытовых отходов. Затраты

данного вида топлива в энергетическом балансе мусоросжигательных котельных агрегатов составляют 20 - 40 % [1].

Эффективность утилизации ТБО термическим способом, обоснована и принята целесообразной как отечественными, так и зарубежными научно-исследовательскими организациями и промышленными предприятиями [2].

Состав и калорийность бытовых отходов сопоставим с низкосортными углями [3].

Экономичность использования дожигающего топлива в мусоросжигательных котельных агрегатах повышается при сочетании мероприятий по обеспечению полного его сгорания при минимальном избытке воздуха с утилизацией теплоты уходящих газов. Высокотемпературный подогрев воздуха в воздухоподогревателе – одно из основных мероприятий по повышению тепловой эффективности котельных агрегатов, позволяющее повысить КПД, снизить удельный расход дожигающего топлива (рис. 1).

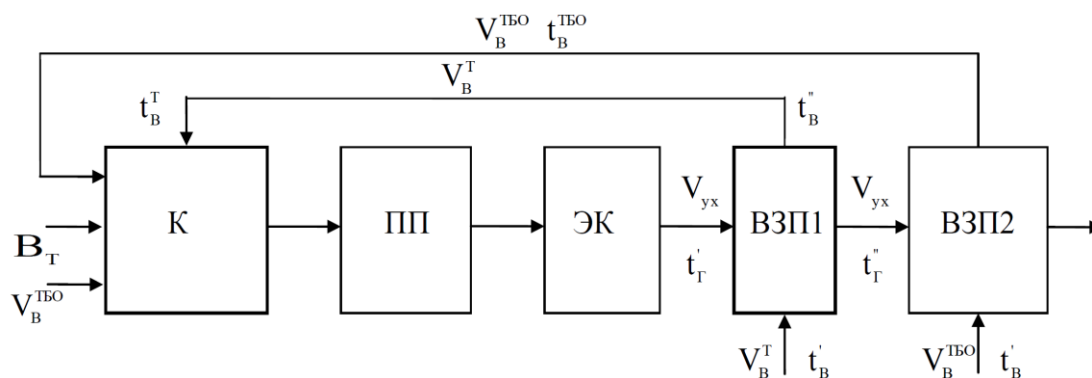


Рис. 1. Схема материальных потоков котлоагрегата для сжигания твердых бытовых отходов и дожигающего топлива

Однако это ведет к увеличению затрат на теплоутилизирующие устройства, поэтому целесообразно получить оптимальную температуру подогрева воздуха, идущего для горения дожигающего топлива в мусоросжигательном котлоагрегате.

Сравнительная эффективность инноваций, согласно положениям методики экономической эффективности капитальных вложений, является основной количественной оценкой при выборе оптимального варианта.

Приведенные издержки представляют собой сумму себестоимости и нормативной прибыли [4], р.:

$$И = S + a \cdot K, \quad (1)$$

где K – капитальные вложения, р.; S – себестоимость единицы продукции, р.; a – коэффициент приведения дисконтирования, определяется из выражения:

$$a = \frac{1}{(1+r)^{-1} + (1+r)^{-2} + \dots + (1+r)^{-n}}, \quad (2)$$

где r – норма дисконта.

Значение оптимальной температуры подогрева воздуха для конкретной температуры уходящих газов можно найти, исходя из минимума суммарных дисконтированных издержек на воздухоподогреватель и дожигающее топливо I_T , при приравнении к нулю частных производных функции по оптимизируемому параметру:

$$\frac{\partial I_T}{\partial t_B''} = 0 \quad (3)$$

$$C_T \cdot \frac{\partial B_T}{\partial t_B''} + C_P \cdot \frac{\partial H}{\partial t_B''} = 0 \quad (4)$$

Выражение по расходу дожигающего топлива в мусоросжигательном агрегате, применяемого для получения пара, получим из уравнений теплового и материального балансов котла [5]:

$$Q_x + Q_b + Q_T = Q_{\Pi} + Q_{yx} + Q_{x.h.} + Q_{m.h.} + Q_{охл} + Q_{шп}, \quad (5)$$

где Q_x – химическая теплота сжигаемых топлив, Вт; Q_b – теплота, вносимая подогретым воздухом, Вт; Q_T – тепло, вносимое с топливами, Вт; Q_{Π} – тепло, полученное в котлоагрегате, Вт; Q_{yx} – потери теплоты с уходящими продуктами сгорания топлив, Вт; $Q_{x.h.}$ – потери теплоты от химической неполноты сгорания топлив, Вт; $Q_{m.h.}$ – потери теплоты от механической неполноты сгорания топлив, Вт; $Q_{охл}$ – потери теплоты от наружного охлаждения, Вт; $Q_{шп}$ – потери тепла со шлаком, Вт.

На основании полученных выражений разработан алгоритм определения оптимальной температуры подогрева воздуха на выходе из воздухоподогревателя для конкретной температуры уходящих газов, выходящих из экономайзера мусоросжигательного котельного агрегата. Блок-схема полученного алгоритма представлена на рис. 2.

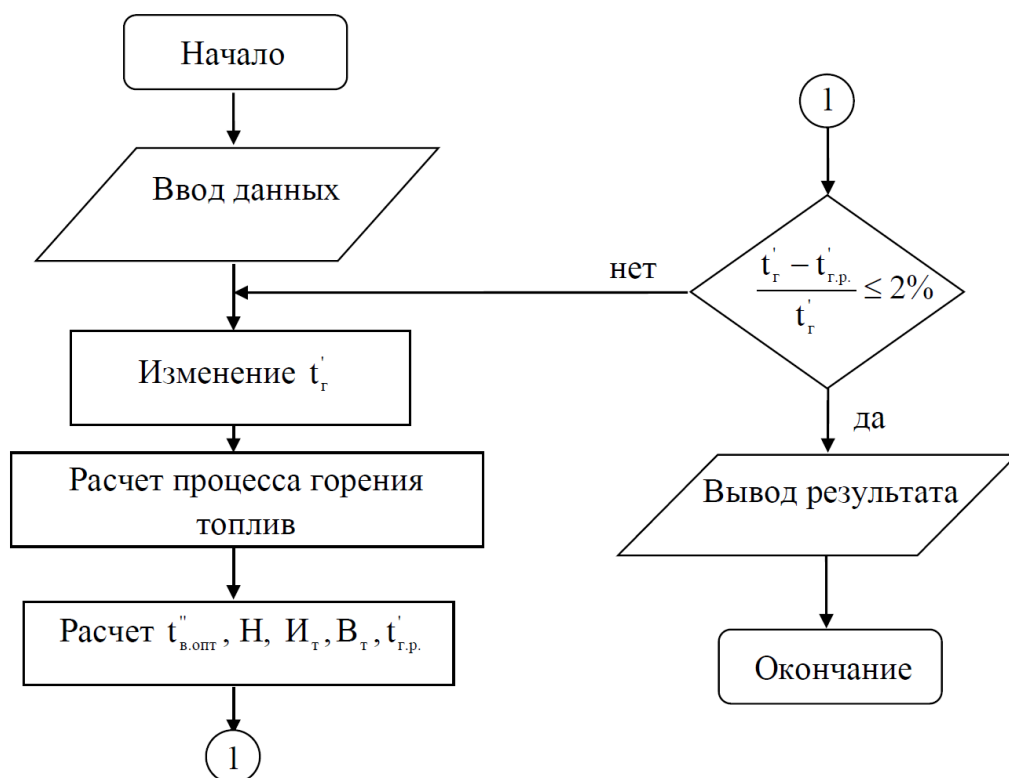


Рис. 2. Блок-схема алгоритма определения оптимальной температуры подогрева воздуха для горения дожигающего топлива

Проведенные расчетные исследования показали, что значение оптимальной температуры подогрева воздуха $t''_{\text{в.опт}}$, отвечает минимуму целевой функции (рис. 3).

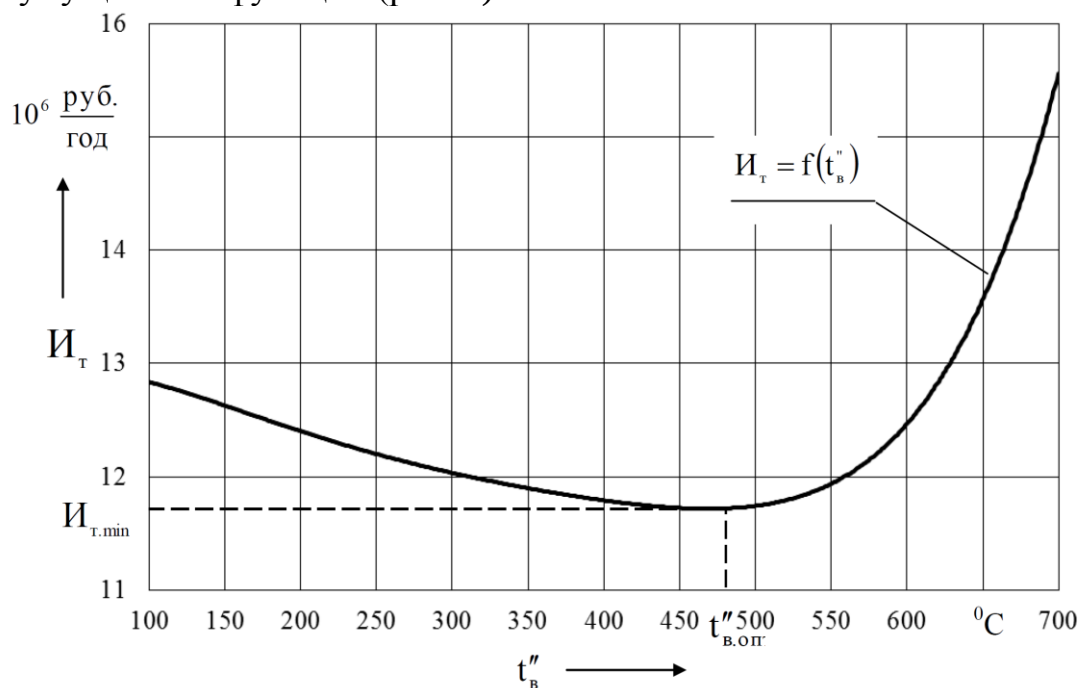


Рис. 3. Зависимость дисконтированных затрат по воздухоподогревателю и дожигающему топливу от температуры подогрева воздуха

Удельный расход дожигающего топлива уменьшился на 12%, коэффициент полезного действия увеличился на 2,6 %. Ожидаемый экономический эффект от внедрения составляет 0,98 млн. рублей в год.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шубов, Л. Я. Технологии отходов (Технологические процессы в сервисе) [Текст] / Л. Я. Шубов, М. Е. Ставровский, Д. В. Шекирев. – М.: ГОУВПО «МГУС», 2006. – 410 с.
2. Шерстобитов М.С., Лебедев В.М. Твердые бытовые отходы: проблемы и пути утилизации [Текст] / М.С. Шерстобитов, В.М. Лебедев // Промышленная энергетика. – 2010. – №4. – С. 60–64.
3. Колесников С.Н. О проектах утилизации твердых бытовых отходов в Омске [Текст] / С. Н. Колесников // Вестник ЖКХ Омской области. – 2003. – №4(6). – С. 45–50.
4. «Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений» утвержденной постановлением ГКСМ СССР по науке и технике Госплана СССР, Академии наук СССР и ГК СМ СССР по делам изобретений и открытий от 14 февраля 1977 года № 48/16/13/3.
5. Тепловой расчет котлов (нормативный метод) [Текст] / Г. М. Каган [и др.]. – Санкт-Петербург : НПО ЦКТИ, 1998. – 260 с.

Научный руководитель: В.М. Лебедев, д.т.н., профессор ОмГУПС.

ИНСТРУМЕНТЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОЛОГО-ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ НА СОВРЕМЕННЫХ ТЭС

А.А. Дихнова¹, М.В. Зубова², В.А. Дубровский³

Сибирский федеральный университет

¹ Институт управления бизнес процессами и экономики, кафедра «Экономики и организации энергетического и транспортного комплексов», бакалавр группы УБ12-03

² Институт управления бизнес процессами и экономики, доцент кафедры «Экономики и организации энергетического и транспортного комплексов»

³ Политехнический институт, профессор кафедры «Тепловые электрические станции»

Энергетическая стратегия России до 2035 года предусматривает структурную перестройку энергетики путем сокращения потребления газа в качестве энергоносителя и замещение выбывающей доли газа углем. Одним из приоритетных направлений развития экономики России в настоящее время является – «Энергоэффективность и энергосбережение».

Эффективное энергетическое использование углей Канско-Ачинского бассейна обусловлено целым рядом проблем и для того, чтобы угли Канско-Ачинского бассейна могли составить конкуренцию другим видам топлива (в том числе и газа), необходимо решить ряд крупных проблем в области освоения новых методов подготовки и сжигания топлива, обеспечивающих высокие экономические и экологические показатели работы энергетического оборудования. Необходимо разрабатывать более энергоэффективные технологии сжигания угля. При этом крайне важно, чтобы эти технологии могли внедряться на действующих электростанциях при незначительных капитальных вложениях. В этой связи актуальным является реализация новой наукоёмкой технологии сжигания углей, направленной на внедрение эколого-энергоэффективных горелочных устройств, позволяющих организовать сжигание угля в существующих котельных агрегатах таким образом, что комплексно решаются проблемы экологии и энергоэффективности, стабилизируется работа котельного агрегата в заданных режимах [1].

Для оценки эффективности внедрения эколого-энергосберегающих технологий на ТЭС необходимо учитывать проекты одновременно с двух позиций: локальной - как самостоятельные

инвестиционные проекты, обеспечивающие возможность возмещения затрат на их осуществление за счет снижения топливной составляющей и общесистемной - как элементы системы топливообеспечения энергетики страны, создание которых позволяет снизить ущерб окружающей среде и повысить эффективность энергетического использования топлива.

Для оценки общественной эффективности и определения перспектив тиражирования технологий следует применять модифицированную энергетическую модель России. Это позволит получить новые результаты по определению общесистемного эффекта от реализации энергоэффективных технологий, обосновать рациональные масштабы освоения и выявить наиболее приоритетные регионы России диффузии технологии на долгосрочную перспективу.

Важной особенностью финансирования инновационных проектов является вероятностный характер получения дохода. Исходя из этого неотъемлемой частью технико-экономических обоснований подобных проектов должен являться риск-анализ инвестиций.

В этой связи, оценку проектных рисков освоения и тиражирования эколого-энергосберегающих технологий на современных ТЭС следует проводить по комплексной методике, включающей: выявление и систематизацию рисков освоения и тиражирования эколого-энергосберегающих технологий; методы анализа чувствительности для сравнительной оценки степени влияния отдельных факторов на конечные показатели экономической эффективности проекта; вероятностный метод для определения ожидаемой, наиболее вероятной величины интегрального экономического эффекта; методы сценарного подхода для определения состояния безубыточности проекта.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дубровский В. А., Зубова М.В. Энергосберегающие системы растопки и подсветки факела топочных камер котлов: монография. - М.: Теплотехник, 2012. - 166 с.

Научный руководитель: М.В. Зубова, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и организация энергетического и транспортного комплексов» Института управления бизнес процессами и экономики Сибирского федерального университета.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

Вершинина К.Ю., Синдинова С.А. Отличие характеристик зажигания частиц угля и капель угольных суспензий в потоке окислителя.....	3
Балахнина Ю.Е., Шихман М.В., Высокоморная О.В. Экспериментальное исследование особенностей испарения капель суспензий на основе воды с грунтовыми примесями в зоне пламени ..	7
Глухий Д.И. Определение комплекса теплофизических свойств нестационарным методом	11
Горкунов А.О., Шидловский С.В. Использование математических моделей для анализа эффективности отопительной системы .	14
Дмитриев В.О. Проектирование парогенератора АЭС с жидкометаллическим теплоносителем	19
Косинцев А.Г. Изменение характеристик нагрева и зажигания капель композиционного жидкого топлива при варьировании содержания органических отходов	21
Красношлыков А.С., Кузнецов Г.В. Численное моделирование тепловых режимов термосифонов.....	25
Маслов Е.А., Чижов С.Ю. Экспериментальное исследование гиперзвукового обтекание модельного рпд.....	28
Маслов Е.А., Бадмаев А.Б. Влияние условий инжекции на движение капли в потоке насыщенного пара.....	33
Милютин В.Г., Логинов В.С. Дополнительные решения задачи Гретца-Нуссельта	36
Нурпейис А.Е. Математическое моделирование теплопереноса в двухфазном термосифоне.....	39
Разумов Н.В., Половников В.Ю. Анализ тепловых потерь тепловых сетей в условиях затопления с использованием конвективно-кондуктивной модели теплопереноса.....	43
Шабардин Д.П., Глушков Д.О. Отличие условий зажигания капель водоугольного и органомодоугольного топлива при конвективном нагреве.....	47

Сорокодун М.Е. Базовая математическая модель для исследования движения фронта испарения влаги в слое лесного горючего материала	51
Янковский С.А., Марышева Я.В., Призенцов И.М. Исследование и оптимизация гидравлических режимов в системах теплоснабжения абонентов теплопотребления с применением модульно лабораторно исследовательского комплекса.....	55
Шлегель Н.Е. Характеристики зажигания одиночных капель композиционного жидкого топлива при изменении массовой доли товарного угля	58
Прусов Д.Н., Носков Н.В., Кулеш Р.Н. Экспериментальное исследование возгорания угля в условиях промышленного складирования	62
Донской И.Г., Козлов А.Н., Свищев Д.А. Расчет поточного кислородного газогенератора с помощью кинетико-термодинамической модели	66
Синев Ф.В., Филимонова О.В. Виртуальное моделирование потока низкотемпературной плазмы с помощью ANSYS Fluent 12.0.	69
Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Применение нового метода для обнаружения скрытых каналов, полостей и трубопроводов	73
Исаев М.А., Исаев А.М., Круглова Т.Н. Определение расхождения расчетных данных температуры радиатора в среде SOLIDWORKS Flow Simulation с измеренными на стенде	77
Шангараев И.Р., Звездин В.В., Галанина Н.А. Исследование параметров ультразвуковых колебаний в металлах при воздействии импульсного лазерного излучения	81
Зиганшина С.К., Кудинов А.А., Горланов С.П. Отвод уходящих газов котла-утилизатора ГТУ через вытяжную башню градирни	83
Хусаинов К.Р., Кудинов А.А. Способ утилизации теплоты сжатого в турбокомпрессоре ГТУ воздуха.....	88
Симонова О.С. Оценка нестационарного температурного режима в полой цилиндрической тепловыделяющей сборке при несимметричных условиях охлаждения	92

СЕКЦИЯ 2. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Анисимов Н.С. Структура АСУ ТП на примере насосной станции организации ТОО «Алматинские тепловые сети».....	96
Бердников М.Е. Автоматизированная система коммерческого учёта газа.....	100
Бычкова А.А. Система автоматического регулирования температуры в помещении приточной вентиляцией.....	104
Поляхов Н.Д., Галиуллин Р.И. Система управления двухзвенным неустойчивым маятником.....	108
Гимазов Р.У. Автоматизированные системы контроля и управления фотоэлектрическими установками с повышенной энергетической эффективностью	113
Сенько В.В., Востров М.А., Долгих Г.С. Моделирование процессов жизненного цикла САД-пакетов, применяемых в электроэнергетических системах	116
Ефремов С.А. Адресно-аналоговая система пожарной сигнализации административно-хозяйственных помещений котельной	120
Зленко А.С. Система автоматического регулирования температуры теплоносителя в теплосети	123
Кожеко А.С. Расчет оптимального диапазона включения агрегатов.....	127
Колесов И.В. Модернизация газопроводов котла ПП-640-140 с внедрением системы автоматического розжига горелок.....	131
Курмангалиев Р.Х. Служба автоматизированного диспетчерского технологического управления (АСДТУ) на базе предприятия ТОО «АЛТС» г.Алматы.....	135
Латников Д.И. Автоматическая система контроля и управления теплоснабжением жилого здания.....	139
Макосов А.С. Особенности регулирования тепловой нагрузки модульных котельных установок	144
Можевитин Д.В. Внедрение системы автоматического управления, регулирования и защиты (САУРИЗ) турбопривода Ново-Кемеровской ТЭЦ	147
Репин П.В. Особенности систем автоматического управления процессом розжига водогрейных котлов типа ПТВМ-50.....	151

Sagdatullin Artur. Oil pumping station smart fuzzy controllers development with discrete terms set	154
Степченков В.А. Программа испытания системы автоматизации отопления	159
Таханова А.А., Кравченко Е.В. Автоматизированная система прогнозирования остаточного ресурса контактных соединений	163
Чебоचाкова Д.А. Система автоматического управления насосными агрегатами.....	170
Яшутина О.С. Модернизация автоматической системы регулирования уровня воды в парогенераторе типа пгв-440 Нововоронежской АЭС	173
Афанасьева В.В. Прогнозирование остаточного ресурса разборного контактного соединения.....	177
Рябова Т.В. Проектирование схемы автоматизации для технологической схемы «Технологическая площадка №1» объекта «Ново-Часельское. УПН. КНС.».....	180
Ляховская О.Е. Автоматизированная система управления горелками водогрейного котла ПТВМ-50	183
Бабеева Т.С. Разработка системы дистанционного распределенного управления микроклиматом здания.....	188
Шабардин Д.П. Идентификация параметров воздухонагревателя экспериментального стенда	192
Сафин А.М. Применение вихретокового контроля в системах автоматизированного управления	196
Абрамова А.В. Автоматическая система контроля и управления теплопотреблением жилого многоквартирного дома	200
Суханов С.И. Система автоматического регулирования питания водой котла типа Е-160-24	204
Ивлева Д.Ю. Разработка автоматизированной системы неразрушающего контроля участков тепловой сети	207
Осмоловская М.М., Гумеров В.М. Определение характерных времен подавления реакции термического разложение лесного горючего материала при помощи специализированного программного обеспечения.....	211
Валиева Л.Е., Горлова А.А., Полянская А.В. Моделирование процессов теплопереноса в чувствительном элементе ртутного манометрического термометра	215

Морозов М.Н., Стрижак П.А. Управление тепловыми режимами удаленных малообслуживаемых объектов	219
Kruglova T.N., Sayfeddine D. Control of catalytic heater for smart house technology	222
Юнусов И.И. Мультикоптерный летательный аппарат как объект управления.....	226
Джамбеков А.М. Сравнительный анализ переходных процессов в нечеткой и традиционной системах управления процессом каталитического риформинга	230
Golubeva T.V. Modeling of a complex control system of digging and construction cars.....	235

СЕКЦИЯ 3. РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ТОПЛИВОСЖИГАЮЩИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Кучеренко А.В., Жуйков А.В. Повышение эффективности котлоагрегата ЭЧМ-60-2 уменьшением тонины помола угольной пыли	239
Табакаев Р.Б., Астафьев А.В., Казаков А.В. Теплотехнологическая переработка низкосортного сырья: анализ тепловых затрат	243
Иванцов А.А. Численное исследование топочных процессов при факельном сжигании кузнецкого угля в топке котла Е-420-140	247
Коротких А.Г., Слюсарский К.В., Сорокин И.В. Скорость реакции газификации угольного кокса в углекислом газе	251
Сёмушкин В.П., Воронцова Е.С. Исследование особенностей горения высоковлажного бурого угля в топке энергетического котла	255
Вислогузов Р.А. Анализ влияния условий хранения угля на технико-экономические показатели топливосжигающих энергетических установок	259
Коньков Н.С. Оперативный контроль качества сжигания топлива как метод повышения энергоэкологической эффективности теплоэнергетического оборудования	262
Савченко Е.К., Максимова Е.И., Хаустов С.А. Конструирование камер горения жаротрубных котлов с применением виртуального прототипирования.....	265

Плахова Т.М., Артамонцев А.И. Анализ опыта наладки режимов водоподготовительных установок	269
Никульшина Ю.В., Колосов М.В., Жуйков А.В. Практическое применение эксергетического анализа при низкотемпературном ступенчатом вихревом сжигании топлива.....	273
Субботин Д.В., Казаков А.В. Газификация древесины при различных условиях протекания процесса пиролиза	276
Коробец А.С. Малая автономная электростанция с внешним подводом тепла на основе роторного двигателя Тверского со встроенным электрогенератором	280
Седельников С.В., Дубровский В.А., Зубова М.В. Разработка энергоэффективной технологии сжигания углей на современных ТЭС	283
Сысолятин А.С., Полтавец А.В., Темникова Е.Ю. Перспективы использования золы уноса Кемеровской ГРЭС.....	285
Кирилов К.О., Азиханов С.С., Богомолов А.Р. Горение метан-кислородной смеси в среде водяного пара	290
Кокшарев О.М., Артамонцев А.И. Конструкционные материалы как основа ресурсоэффективности в энергетике.....	293
Шерстобитов М.С., Резанов Е.М. Сжигание твердых бытовых отходов в топке котлоагрегата с оптимальной температурой воздуха для дожигающего топлива	297
Дихнова А.А., Зубова М.В., Дубровский В.А. Инструменты оценки эффективности эколого-энергосберегающих технологий сжигания углей на современных ТЭС.....	302

Научное издание

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Материалы III Международного молодежного форума

28 сентября-2 октября

Том 1

Издается в авторской редакции

Подписано в печать 05.11.2015. Тираж 50 экз.

Кол-во стр. 310. Заказ 47-15

Бумага офсетная. Формат А5. Печать RISO.

Отпечатано в типографии ООО «РауШ мбх»

634034, г.Томск, ул. Усова 7, оф. 046.

Тел. 8-9528074686