



**УДК 669.184.15+669.162.215.4**

**А.Е. КРИВОЛАПОВ**, руководитель группы, **А.И. КРИВОНОСОВ**, д.т.н., профессор, начальник отдела,  
**А.Ю. ПИРОГОВ**, заместитель генерального директора, **Ю.В. КАПЛУНОВ**, инженер,  
**С.Н. ПАНАСЕНКО**, инженер

Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь», г. Харьков

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ СОЗДАНИИ АСУ ТП ГАЗООТВОДЯЩЕГО ТРАКТА КОНВЕРТЕРА ОАО «НТМК»

Создана динамическая математическая модель работы газоотводящего тракта конвертера, в которой учитываются термодинамика и динамика процессов, материальный и энергетические балансы, фазовые преобразования рабочего тела (вода–пар). Программное обеспечение АСУ ТП работает с математической моделью объекта как с реальным объектом управления, что позволяет провести отработку программного обеспечения при всех условиях работы газоотводящего тракта на стенде УкрГНТЦ «Энергосталь» (до отправки программно-технического комплекса АСУ ТП на объект).

**газоотводящий тракт, уровень котловой воды, противоаварийная защита, математическая имитация, материальный и энергетический баланс, видеоквадр управления, система архивирования**

Газоотводящий тракт (ГОТ) является частью технологического комплекса «конвертер – котел-утилизатор – газоочистка – дымосос», состоящего из ряда взаимосвязанных подсистем, содержащих многочисленные элементы. Этот комплекс в целом приобретает свойства, не присущие отдельным подсистемам и тем более их элементам. Обезуглероживание чугуна в конвертере с последующим дожиганием окиси углерода в котле; утилизация тепла в котле-охладителе путем нагрева воды в экранях и ширмах, а также парообразование; очистка дымовых газов перед выбросом их дымососом в атмосферу – это сложный технологический процесс, происходящий в газоотводящем тракте [1, 2, 3].

Кроме того, при работе ГОТ нужно непрерывно контролировать 41 аварийный параметр. При достижении аварийными параметрами критических значений, при отказах определенных исполнительных механизмов, датчиков, контроллеров АСУ ТП необходимо включать защиты, блокировки, сигнализацию и безаварийно переводить оборудование ГОТ в безопасное состояние или запретить проведение следующей плавки или продувки. А при отказе контроллера необходимо еще и продолжать поддерживать регулятором уровень воды в барабане, иначе может произойти «упуск» или «перепитка» уровня котловой воды в барабане: «упуск» может привести к аварийному прогару поверхностей нагрева, а «перепитка» – к забросам воды из барабана в паровой коллектор и гидроударам с разрушением труб.

УкрГНТЦ «Энергосталь» разработаны и внедрены для первого и второго конвертеров АСУ ТП ГОТ. Укрупненная структурная схема АСУ ТП ГОТ одного конвертера представлена на рис. 1. Все задачи АСУ ТП распределены между двумя мощными контроллерами S7-319 компании «Siemens», каждый из которых решает отдельные функциональные задачи, а задачи противоаварийной защиты (ПАЗ), включая регулирование уровня воды в барабане котла, решаются в обоих контроллерах, т.е. надежная работа ПАЗ обеспечивается при любой неисправности в программно-техническом комплексе АСУ ТП ГОТ.

Для отработки программного обеспечения АСУ ТП ГОТ конвертера во всех режимах эксплуатации была разработана математическая модель (ММ) технологических процессов (непосредственно касающихся функционирования ГОТ и АСУ ТП ГОТ), происходящих в комплексе во все периоды плавки, начиная с загрузки чугуна в конвертер и включая продувку конвертера кислородом, межпродувочный период для взятия проб стали, додувку кислородом (при необходимости), выпуск плавки из конвертера.

ММ работы газоотводящего тракта описывает:

- изменение положения и состояния исполнительных механизмов (ИМ): 58 заслонок, задвижек, клапанов, насосов, 5 регулирующих клапанов и одного дымососа, – в соответствии с командами, поступающими от АСУ ТП ГОТ;
- количественное и качественное изменение состояния рабочего тела (расходы, объемы, температура,

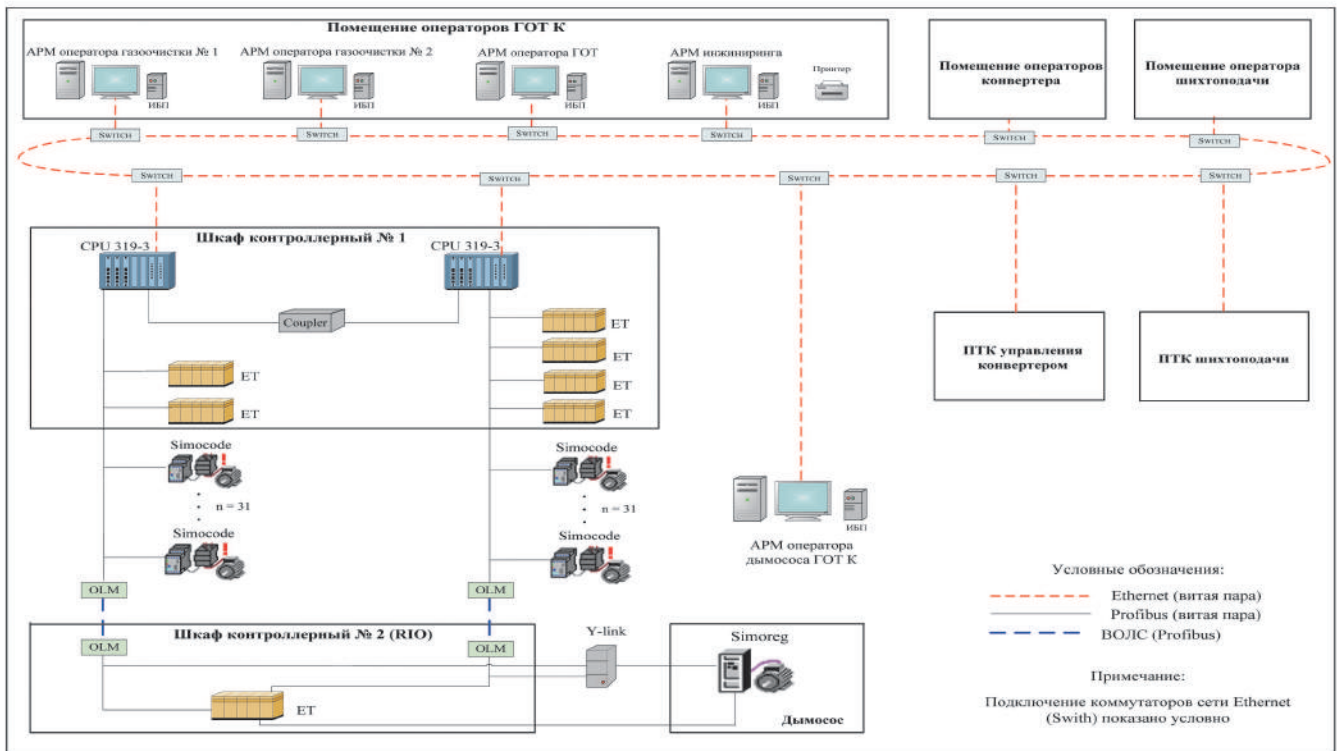


Рисунок 1 – Структурная схема АСУ ТП ГОТ

- давление) в зависимости от положения и состояния исполнительных механизмов;
- процесс плавки – формирование потока кислорода в конвертер, экзотермические процессы – окисление углерода в конвертере, выделение конвертерного газа и горение окиси углерода в газоходах котла-утилизатора;
- теплопередачу, нагрев воды и парообразование;
- состояние и изменение термодинамических параметров конвертерного газа, воздуха, воды, пара, дыма;
- формирование и распределение потоков котловой воды, тепловой энергии, пара, конвертерного и дымового газов;
- работу дымососа, формирование разрежений дымовых газов по тракту от дымососа до кессона и на выходе нагнетателя;
- формирование потока питательной воды в барабан;
- формирование уровня воды в барабане с учетом «набухания» котловой воды;
- формирование содержания в котловой воде и потока котловой воды непрерывной продувки;
- формирование потоков оборотной воды на форсунки скруббера и труб Вентури;
- формирование уровней шламовой воды в бункере скруббера и в бункере труб Вентури;
- формирование независимых от технологического процесса параметров на соответствующие датчики;

- формирование непрерывных и дискретных сигналов, поступающих с датчиков в АСУ ТП.
- Сигналы с датчиков попадают в контроллеры, где обрабатываются (с контролем достоверности) и приводятся к физическому виду измеряемого параметра. В соответствии с управляющими алгоритмами вырабатываются команды на ИМ с учетом работы алгоритмов защит и блокировок. Отработав в модели соответствующие команды, ИМ изменяют свое состояние и состояние технологических параметров ГОТ, что ведет к изменению показаний соответствующих датчиков. Таким образом, программное обеспечение АСУ ТП работает в условиях с параметрами, аналогичными реальным, что позволяет провести отработку программного алгоритмического обеспечения (ПАО) на комплексном стенде УкрГНТЦ «Энергосталь» для штатных, нештатных и аварийных ситуаций.
- ММ процессов в ГОТ описана в виде системы линейных и нелинейных дифференциальных и алгебраических уравнений [4], учитывающих взаимосвязь и динамику ведения технологических процессов [5, 6]:
- формирование, распределение и движение энергетических и материальных потоков;
  - работу исполнительных механизмов по командам, вырабатываемым АСУ ТП ГОТ (регулирующие клапаны, задвижки, насосы, дымосос и вспомогательное оборудование);
  - формирование сигналов с датчиков.





ММ работы газоотводящего тракта реализована с помощью штатных программных средств компании «Siemens».

Моделирование заключается в математической имитации реальных технологических процессов работы ГОТ под управлением АСУ ТП (с учетом термодинамики и динамики происходящих процессов, материального и энергетического балансов, фазовых преобразований рабочего тела (вода–пар) и используется для отработки штатного программного обеспечения АСУ ТП для всех режимов работы ГОТ с учетом возможных отказов отдельных элементов (отказ контроллера, измерительного канала, исполнительного механизма, прорыв трубы и т.п.).

Программное обеспечение модели находится в памяти контроллеров, как и основная программа (модель занимает в памяти 3 % всего программного обеспечения), что значительно упрощает процесс обмена данными между штатным программным обеспечением и программным обеспечением модели объекта управления (так как они имеют беспрепятственный доступ к блокам, использующимся при обмене данными). Программное обеспечение модели состоит из двух основных частей: программного обеспечения ММ верхнего и нижнего уровней. Нижний уровень находится непосредственно в памяти контроллеров, обрабатывая данные для модели, рассчитывая зависимости, формулы; верхний уровень устанавливается на

любой инструментальной ПЭВМ или штатном автоматическом рабочем месте (АРМ) и обеспечивает контроль, настройку параметров модели, а также визуализацию процессов моделирования на видеокдрах АРМ и инструментальной ПЭВМ.

На главном видеокдрае (рис. 2) изображен пульт управления моделью, обеспечивающий визуализацию основных параметров, необходимых для контроля при моделировании. На других видеокдрах (всего 4 видеокдра контроля и управления ММ) находятся основные настраиваемые параметры, изменяя которые, можно влиять на технологический процесс.

Штатная система архивирования WinCC, позволяющая зафиксировать и в последующем проанализировать технологические параметры, измеряемые датчиками при штатной работе АСУ ТП ГОТ, используется и при работе с ММ. Так, на рис. 3 представлены графики переходных процессов основных технологических параметров, полученные при работе АСУ ТП ГОТ № 1 ОАО «НТМК» во время пусконаладочных работ при продувке конвертера с расходом кислорода 500 м³/мин, а на рис. 4 – графики переходных процессов основных технологических параметров, полученные на стенде в УкрГНТЦ «Энергосталь» при работе АСУ ТП с ММ имитации одной плавки при продувке конвертера с тем же расходом кислорода. Обычно графики изменения основных технологических параметров

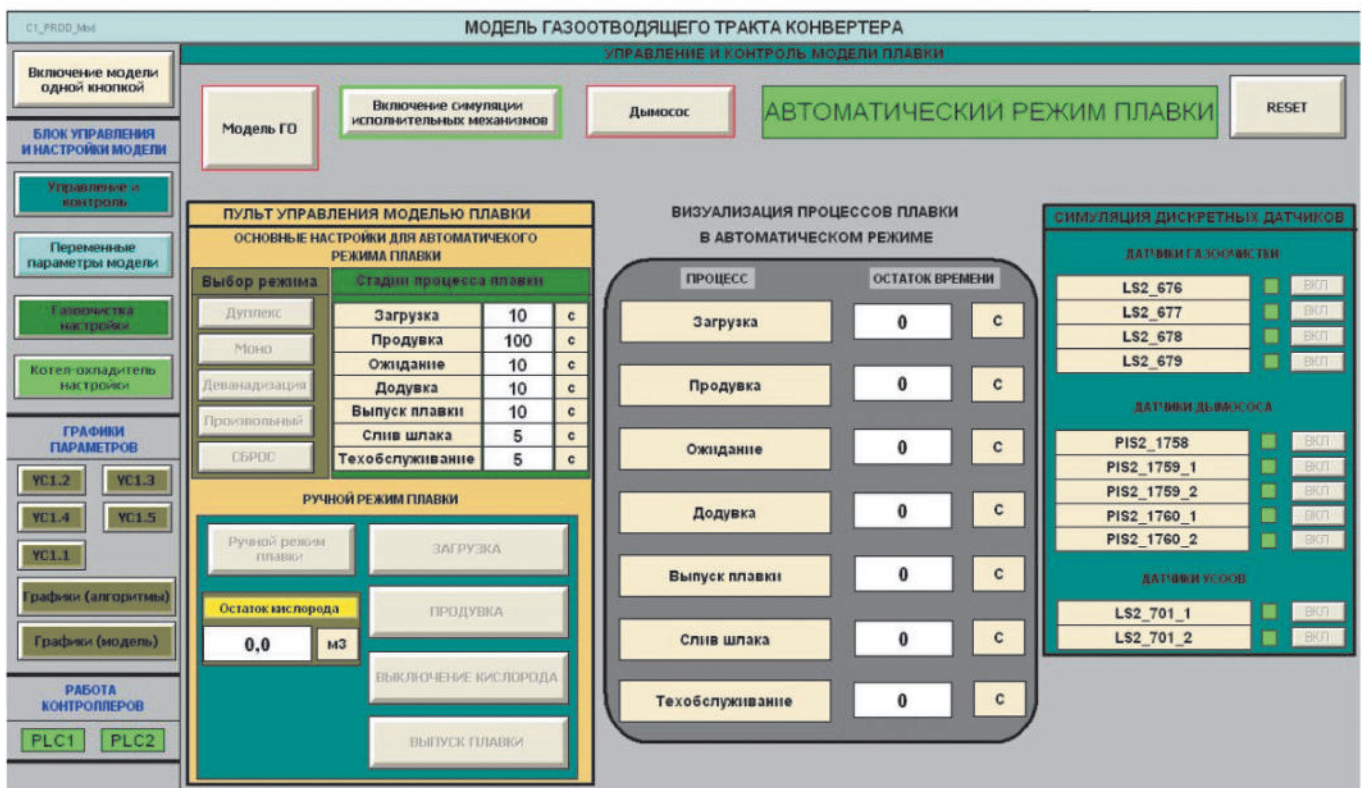


Рисунок 2 – Видеокдра управления моделью

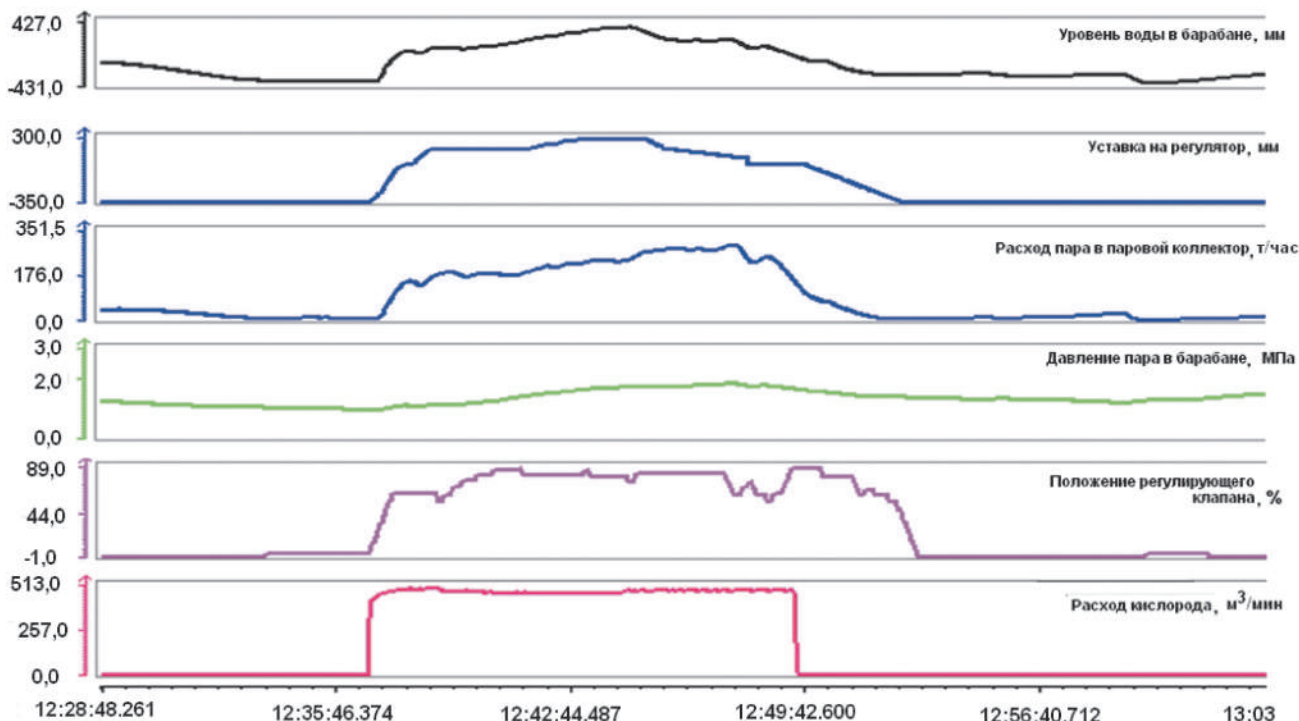


Рисунок 3 – Переходные процессы основных параметров газоотводящего тракта, полученные на ГОТ ОАО «НТМК»

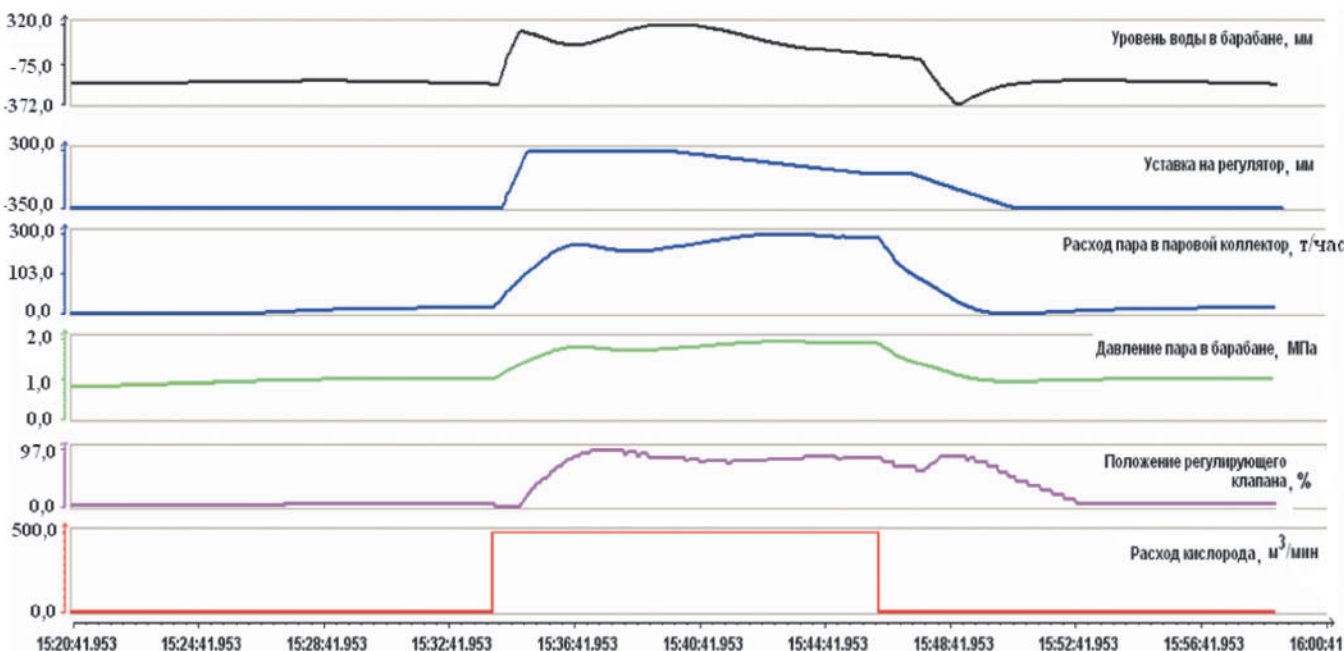


Рисунок 4 – Переходные процессы основных параметров газоотводящего тракта, полученные при моделировании

при разных плавках с одинаковым расходом кислорода находятся в допустимых пределах, но в деталях могут отличаться из-за разных начальных условий на момент начала продувки, а также зависят от индивидуального ведения плавки каждым оператором конвертера. Например, температура чугуна, содержание углерода в чугуне, уровень котловой воды в барабане, давление пара в паровом коллекторе, давление пара в барабане,

давление питательной воды и т.п. (на начало продувки конвертера кислородом) имеют свое значение.

Характеры кривых, приведенных на рис. 3, 4, практически идентичны, что говорит об адекватности модели реальным процессам при работе ГОТ.

Использование математической модели ГОТ конвертеров ОАО «НТМК» позволило не только выявить и устранить на ранних этапах отработки программного





обеспечения ряд замечаний, но и сократить сроки пусконаладочных работ на объекте внедрения, особенно на таких сложных узлах, как регулятор уровня воды в барабане. Причем работы шли параллельно в Харькове (на математической модели) и в Нижнем Тагиле (на реальном ГОТ) с обменом информацией по электронной почте (в т. ч. архивируемыми характеристиками переходных процессов). Существенно вырос и профессиональный уровень специалистов по программированию АСУ ТП ГОТ, глубже разобравшихся при создании и использовании ММ в физике работы ГОТ и его узлов, прошедших (после моделирования на стенде УкрГНТЦ «Энергосталь») практическую школу внедрения сложного комплекса на ОАО «НТМК».

В последующем по результатам анализа реальных переходных процессов на различных объектах программного обеспечения математическая модель ГОТ при необходимости может дорабатываться, а значит – непрерывно совершенствоваться. Таким образом, переходные процессы работы ГОТ конвертеров, описываемые при моделировании во всех режимах эксплуатации, будут приближаться к процессам в реальном ГОТ конвертера, что повысит качество отработки программно-алгоритмического обеспечения АСУ ТП ГОТ, особенно при отработке нештатных и аварийных ситуаций, которые на реальном объекте проверить и отработать невозможно или очень сложно.

## ВЫВОДЫ

1. Впервые в практике разработки и внедрения АСУ ТП ГОТ конвертеров в УкрГНТЦ «Энергосталь» создана

и использована для отработки программного и алгоритмического обеспечения АСУ ТП математическая модель процессов, происходящих в газоотводящем тракте.

2. Особую ценность модель имеет для анализа нештатных и аварийных ситуаций, которые на реальном объекте проверить и отработать невозможно или очень сложно.

3. Использование модели позволяет сократить сроки пусконаладочных работ на объекте.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зайков, С.Т. Выплавка стали в кислородных конвертерах [Текст] / С.Т. Зайков, С.И. Лифшиц // К : «Техника», 1968. – 194 стр.
2. Юдашкин, М.Я. Очистка газов в металлургии [Текст] / М.Я. Юдашкин // Москва – «Металлургия», 1976. – 384 стр.
3. Бережинский, А.И. Охлаждение и очистка газов кислородных конвертеров [Текст] / А.И. Бережинский, А.Ф. Циммерман // Москва – «Металлургия», 1975. – 192 стр.
4. Неймарк, Ю.И. Динамические модели теории управления [Текст] / Ю.И. Неймарк, Н.Я. Коган, В.П. Савельев // Москва – «Наука» – 1985. – 400 стр.
5. Кухлинг, Х. Справочник по физике [Текст] / Х. Кухлинг // Москва – «МИР» – 1985. – 520 стр.
6. Михеев, М.А. Краткий курс теплопередачи [Текст] / М.А. Михеев, И.М. Михеева // Москва – Государственное энергетическое издательство – 1960. – 208 стр.

*Поступила в редакцию 16.07.2008*

Створено динамічну математичну модель роботи газовідвідного тракту, яка ураховує термодинаміку та динаміку процесів, матеріальний та енергетичний баланси, фазові перетворення робочого тіла (вода–пара). Програмне забезпечення АСУ ТП взаємодіє з математичною моделлю об'єкта як з реальним об'єктом управління, що дозволяє провести відпрацювання програмного забезпечення за всіх умов роботи газовідвідного тракту на стенді УкрДНТЦ «Енергосталь» (до відправлення програмно-технічного комплексу АСУ ТП на об'єкт).

Dynamic mathematical model of gas-offtake duct operation was developed. Mathematical model takes into account thermodynamics and dynamics of processes, material and energy balances, phase transformations of a working body (water-steam). Software of the automated control system works with the mathematical object model as with the real control object that enables fine-tuning the software at all operating conditions of gas-offtake duct at the test stand of UkrSSEC "Energestal" [before sending program-technical complex of automated control system to the plant].