

Лясковский И. Е., Гордин С. А.
I. E. Lyaskovsky, S. A. Gordin

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ГЕНЕРАЦИЕЙ В ИЗОЛИРОВАННЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

MODELING OF GENERATION CONTROL PROCESS IN ISOLATED THERMAL POWER SYSTEMS

Лясковский Игорь Евгеньевич – аспирант Дальневосточного государственного университета путей сообщения (Россия, Хабаровск).

Igor E. Lyaskovsky – Post-Graduate Student, Far Eastern State University of Railway Transport (Russia, Khabarovsk).

Гордин Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная математика» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Sergey A. Gordin – PhD in Engineering, Associate Professor, Applied Mathematics Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

Аннотация. Объектом исследования в статье являются изолированные системы теплоснабжения Хабаровского края. В статье рассмотрен вопрос синтеза модели управления генерацией тепла в топке твердотопливного котла с автоматизированной периодичной подачей топлива с целью регулирования расхода воздуха и, как следствие, снижения потерь с уходящими газами.

Summary. The object of research in the article is the isolated heat supply systems of the Khabarovsk Territory. The article considers the issue of synthesizing a model for controlling heat generation in the furnace of a solid-fuel boiler with automated periodic fuel supply in order to regulate air flow and, as a result, reduce waste gas losses.

Ключевые слова: система теплоснабжения, удельный расход топлива, энергоэффективность.

Key words: heat supply system, specific fuel consumption, energy efficiency.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 22-29-01232, <https://rscf.ru/project/22-29-01232/>.

УДК 697.341

Введение. Изолированные теплоэнергетические системы (ИТЭ) обеспечивают теплом различных потребителей в населённых пунктах: общественные и производственные здания, жилые дома – и имеют множество различных схем компоновки в зависимости от используемого оборудования.

Основным источником тепловой энергии в населённых пунктах Хабаровского края являются водогрейные котельные, работающие на каменном или буром угле (70,1 %) [1]. Отпуск тепловой энергии осуществляется по открытой схеме, при которой вода, поступающая из тепловой сети на источник теплоснабжения (котельную), направляется непосредственно в котёл для нагрева.

Такая схема применяется из-за низкой стоимости, минимального числа оборудования и простоты обслуживания. Следствием этого является использование лишь локальных систем управления подачей угля в топку котла по заданной периодичности, а остальные процессы (регулирование расхода воздуха, объём подпитки сырой воды и т. п.) выполняются персоналом котельной в ручном режиме.

Это приводит к снижению эффективности генерации тепловой энергии: большое количество котельных Хабаровского края (36 %) имеет КПД ниже 60 % при паспортном КПД используемых на таких котельных котлов 80..86 % [2].

Основным фактором снижения КПД водогрейного или парового котла являются потери с уходящими газами [3], поэтому все основные решения, направленные на повышение КПД котлов, как правило, ориентированы на доведение до возможного минимума данных потерь. Для этого уменьшают объём отходящих газов за счёт двух факторов: снижения избытка воздуха и снижения температуры отходящих газов. Поскольку внесение изменений в конструкцию действующего водогрейного котла невозможно, то единственный путь оптимизации процесса сжигания топлива определяется его правильной эксплуатацией, в том числе внедрением различных систем управления, регулирующих объём отходящих газов.

Для построения модели процесса управления генерацией в изолированных теплоэнергетических системах рассмотрим типовую для Хабаровского края водогрейную котельную, оборудованную котлами типа КВм. Подача топлива в котёл осуществляется автоматизировано с помощью шурующей планки. Каждый котёл оборудован независимым дутьевым вентилятором и дымососом.

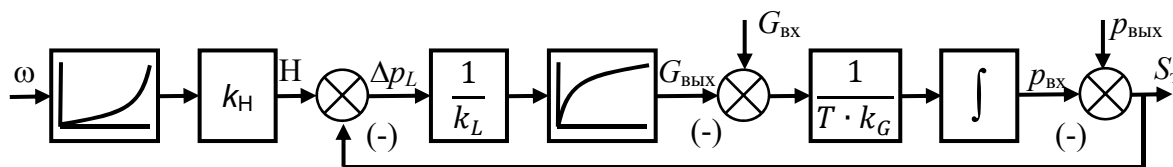
Система автоматического управления таким водогрейным котлом должна обеспечивать выработку требуемого объёма тепловой энергии при обеспечении максимального КПД установки. При этом при определении КПД установки будем учитывать не только соотношение полезно используемого тепла к располагаемому теплу топлива [4], но и затраты энергии на работу вспомогательного оборудования: шурующей планки, дутьевого вентилятора и дымососа.

В существующих системах автоматического управления генерацией в изолированных теплоэнергетических системах изменение соотношения «топливо – воздух» осуществляется по параметру разрежения в дымовом тракте после котла, как правило, без корректировки по составу отходящих газов.

Наиболее простым способом изменения количества воздуха, поступающего в топку котла, является регулирование с помощью шиберов, т. е. изменением аэродинамического сопротивления газовоздушного тракта. При этом регулирование мощности двигателей вентилятора и дымососа не осуществляется, что ведёт не только к увеличению электрической энергии на работу вспомогательного оборудования, но и становится причиной ускоренного износа механики газовоздушного тракта [5].

Использование вместо шиберов частотных регуляторов (ЧР) позволяет согласовать работу дымососа и дутьевого вентилятора и одновременно снизить энергопотребление электроприводов.

Автоматическое управление (АУ) в частотных регуляторах дутьевого вентилятора и дымососа построено на основе ПИД-регулятора по следящей схеме, т. е. обеспечивается заданная величина разрежения. Модель тракта регулирования разрежения в топке котла, используемая для построения систем АУ для таких систем [6], приведена на рис. 1.



H – напор развиваемый дымососом; Δp_L – сопротивление тракта; $p_{ВХ}$ – давление в топке;
 S_T – разрежение в топке; $p_{ВЫХ}$ – атмосферное давление; $G_{ВХ}$, $G_{ВЫХ}$ – весовой расход
дымовых газов на входе в тракт и выходе из него; ω – скорость вращения дымососа;
 k_L – коэффициент сопротивления газового тракта; k_H – коэффициент напора;
 T – постоянная времени изменения состояния вещества;
 $k_G = G_{НОМ}/p_{НОМ}$ – коэффициент расхода

Рис. 1. Модель тракта регулирования разрежения в топке котла

При равномерном поступлении топлива в топку котла соотношение воздуха и топлива также сохраняется постоянным, и для данной модели источником задания может являться уставка,

зависящая от скорости поступления топлива. При порционной подаче топлива соотношение воздуха и топлива является переменной величиной, зависящей от этапа горения, и, как следствие, задание разрежения в топке котла также является величиной переменной. Это требует применения более сложных моделей управления, основанных на анализе процесса горения периодически поступающего топлива [7].

В предложенной модели при периодичном поступлении твёрдого топлива в топку котла были выделены следующие этапы горения:

1. нагрев и разжигание новой порции топлива;
2. активное горение с постепенным уменьшением объёма горящего топлива.

Первый этап – нагрев и разжигание новой порции топлива – необходимо максимально сокращать, поскольку тепло, затрачиваемое на нагрев новой порции топлива, снижает полезный отпущек уже горящего топлива, и, как следствие, на этом этапе снижается температура воды на выходе из котла. Поэтому на данном этапе необходимо максимально активное поступление воздуха в топку котла от дутьевого вентилятора (раздувание) при обеспечении разрежения для предотвращения поступления дымовых газов в помещение котельной. Индикатором завершения первого этапа является максимальное снижение кислорода в уходящих газах при их максимуме температуры.

На втором этапе происходит постепенное выгорание топлива, требующее для поддержания высокого КПД работы котла постепенного снижения расхода воздуха.

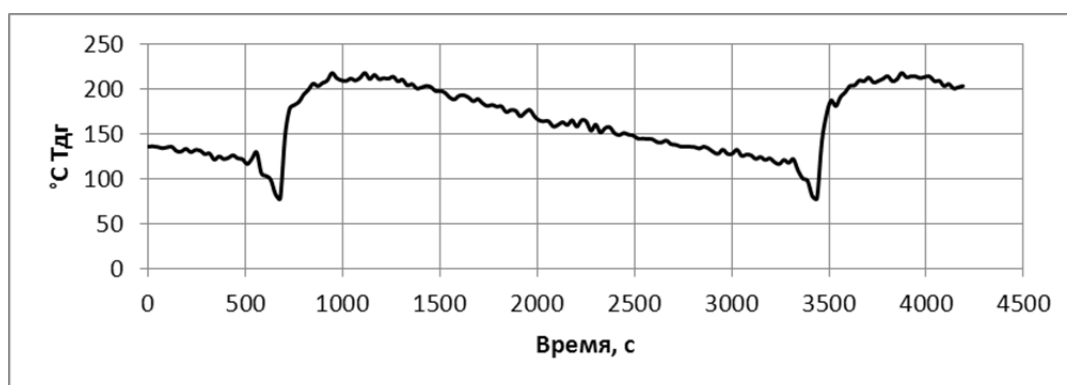


Рис. 2. График изменения температуры уходящих газов

Для иллюстрации процесса горения при периодичном поступлении твёрдого топлива в топку котла приведём графики изменения температуры уходящих газов (см. рис. 2) и коэффициента избытка воздуха (см. рис. 3), полученные при режимных испытаниях на котельной п. Пивань Комсомольского района Хабаровского края (котёл типа КВм-0,63 с периодичной загрузкой топлива посредством шурующей планки без регулирования расхода воздуха через топку котла).

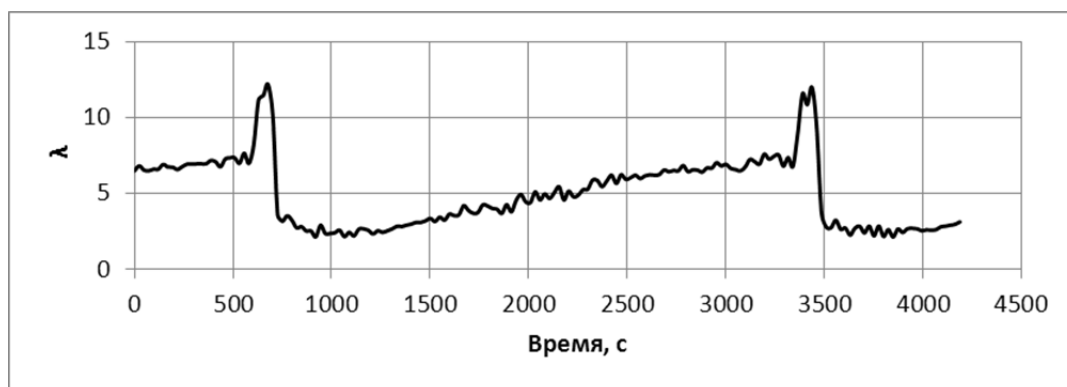


Рис. 3. График изменения коэффициента избытка воздуха в уходящих газах

Таким образом, на основе анализа цикличности процессов, проходящих в топке котла при периодичном поступлении топлива, была построена модель управления процессом горения, обеспечивающая возможность снижения избытка воздуха в топке и, как следствие, уменьшения потери с уходящими газами [8].

Модель управления генерацией тепла в топке котла приведена на рис. 4. Регулирование расхода воздуха через дутьевой вентилятор может быть выполнено как по заданной циклограмме, так и на основе измерения различных физических величин (температуры или состава дымовых газов).

Поскольку размер порции топлива при работе шурующей планки варьируется в небольших пределах, циклограмма регулирования поступающего воздуха определяется по результатам режимных испытаний котла.

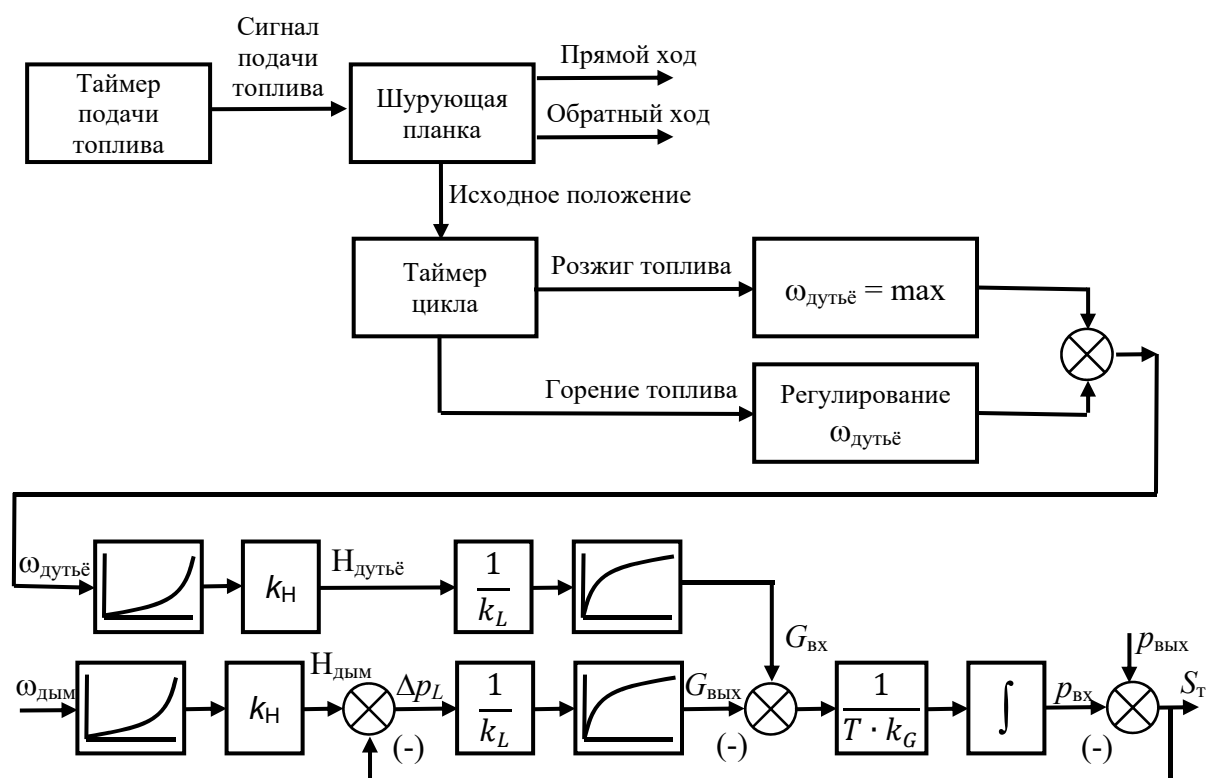


Рис. 4. Модель управления генерацией тепла в топке котла

Заключение. Предложенная модель процесса управления генерацией в изолированных теплоэнергетических системах позволяет рассмотреть вопрос синтеза автоматизированной системы управления на базе промышленного контроллера для управления твердотопливным котлом с периодичной автоматизированной подачей топлива.

Применение данной модели для котлов с ручной подачей топлива вызывает трудности, поскольку при ручной подаче сложно контролировать объём поступающего топлива и, следовательно, алгоритмы управления должны быть более адаптивны [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордин, С. А. Анализ эффективности котельных Хабаровского края / С. А. Гордин // Мониторинг. Наука и технологии. – 2023. – № 1 (55). – С. 98-103.
2. Гордин, С. А. Совершенствование технологий для повышения эффективности изолированных систем централизованного теплоснабжения / С. А. Гордин, И. Е. Ляковский // Мониторинг. Наука и технологии. – 2023. – № 3 (57). – С. 31-36.
3. Kagan, G. M. (Ed) (1998). Thermal Calculation of Boilers (Normative Method). St. Petersburg, Russia: Vseross. Teplotekh. Inst.

4. Gordin, S. A. Modeling the combustion process of solid fuel boilers / S. A. Gordin, O. V. Kozlova, I. V. Zaychenko // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. – Vol. 200. – P. 136-146. – DOI 10.1007/978-3-030-69421-0_15.
5. Корреляционный анализ связи между температурой наружного воздуха и потребляемой мощностью тягодутьевыми механизмами отопительных котельных / С. А. Гордин, И. В. Зайченко, В. В. Бажеряну [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020. – № 3. – С. 110-112.
6. Марченко, М. А. Система регулирования разрежения котлоагрегата на основе асинхронного управляемого электропривода: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Марченко Михаил Александрович. – Новосибирск, 2012. – 183 с.
7. Gordin, S. A. Improving the efficiency of autonomous heat supply systems by implementing integrated control systems / S. A. Gordin, A. A. Sosnin, I. V. Zaychenko // Journal of Physics: Conference Series. – Vladivostok, 2021. – P. 012087. – DOI 10.1088/1742-6596/2096/1/012087.
8. Методы обработки экспериментальных данных / С. А. Гордин, А. А. Соснин, И. В. Зайченко, В. Д. Бердоносов. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2022. – 75 с.
9. Моделирование развитой нечёткой системы управления многосвязным объектом в условиях многокритериальности / С. П. Черный, К. А. Емельянов, Н. Н. Духнов [и др.] // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2023. – № III (67). – С. 62-69.