

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
федерального государственного  
бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Белгородский государственный  
технологический университет  
им. В.Г. Шухова»,  
д-р техн. наук, профессор



Евтушенко Е. И.

20 18 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертации Ткаченко Анны Евгеньевны на тему «Повышение энергоэкономической эффективности котлоагрегатов с низкотемпературным кипящим слоем систем теплоснабжения шахт», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

#### **Актуальность для науки и практики**

Актуальность темы определяется недостаточной разработкой вопросов применения в качестве источников теплоты в системах теплоснабжения шахт топок низкотемпературного кипящего слоя (НТКС), которые позволяют использовать каменноугольное топливо низкого качества с зольностью до 70%, характеризуются КПД, достигающим 83%, позволяют производить автоматическое управление производительностью котлоагрегата.

Вопросы теплоснабжения шахт, как отмечает автор в своей работе, имеют ряд особенностей: локализация и распределенность теплоснабжающих систем; периодические суточные колебания нагрузки с амплитудой, сопоставимой с уставленной мощностью теплогенераторов; наличие среди потребителей теплоты калориферной установки, характеризующейся большой потребляемой мощностью до 12 МВт на вентиляцию и отсутствием теплоаккумулирующей способности; повышенные требования к надежности работы оборудования с выдачей тепловой энергии необходимых параметров для исключения обмерзания шахтного ствола при снижении температуры воздуха, подаваемого в шахту, ниже 2°C. Наиболее распространенные на данный момент в качестве источников теплоты на шахтах слоевые топки не могут в полной мере удовлетворить перечисленные требования,

и их недостатки в виде низкого КПД, невозможности полной автоматизации их работы и оперативного регулирования производительности, длительного розжига нивелировались путем создания большого запаса генерирующих мощностей и генерации избыточного количества тепловой энергии, что в условиях роста стоимости топливно-энергетических ресурсов приводит к значительному увеличению производственных затрат. Кроме того, топки со слоевым сжиганием могут использовать топливо с зольностью топлива не выше 40%, тогда как имеется тенденция постоянного снижения качества каменноугольного топлива из-за истощения его запасов.

Исходя из анализа современных требований, автор делает обоснованный вывод, что применение в качестве источников теплоты в системах теплоснабжения горных предприятий котлов с топками НТКС является актуальным решением проблемы повышения эффективности процесса производства теплоты. Разработка критериев и методики поиска рациональной производительности котлоагрегатов с НТКС, работающих в группе на тепловую сеть шахты имеет большой научный и практический интерес.

Основное внимание в работе уделено разработке математической модели системы теплоснабжения шахты, которая бы учитывала специфику таких источников теплоты, как группа топок НТКС, а также особенности изменения теплового спроса шахтных потребителей, и исследованию важной задачи по определению рациональных режимов функционирования шахтного комплекса теплоснабжения с топками НТКС.

### **Основные научные результаты и их значимость для науки и производства**

На основании экспериментальных исследований работы топок НТКС при различных управляющих воздействиях автором уточнены зависимости тепловой производительности котлоагрегата от расхода твердого топлива и расхода дутьевого воздуха, что отражено в разработанной математической модели. Обоснован критерий с наложенными ограничениями рациональной работы группы котельных агрегатов, что позволяет комплексно учесть экономические показатели их работы и теплотехнические характеристики каждого котла.

Разработанный метод поиска рационального состава группы работающих котельных агрегатов с топками НТКС и рациональной производительности каждого котла позволяет в динамическом режиме рассчитывать требуемые значения технологических параметров котлоагрегатов в соответствии с критерием максимального средневзвешенного КПД котельной. В результате ее применения стало возможным определять рациональный состав котлов, находящихся в работе, тепловую производительность и режим работы каждого котлоагрегата в соответствии с прогнозируемым тепловым спросом абонентов. Применение разработанного метода, как указано в работе, позволяет повысить средневзвешенный КПД группы котлов на 2 - 4%.

Автором обоснована целесообразность внедрения в промышленную эксплуатацию схем теплоснабжения шахт с группой котлоагрегатов с топками НТКС в качестве источников теплоты при проектировании и реконструкции систем теплоснабжения горных предприятий.

Результаты, полученные в работе, позволяют в оперативном режиме рассчитывать задания по тепловой производительности котельных агрегатов и соответствующие значения их технологических параметров в зависимости от прогнозируемого изменения теплового спроса потребителей. Предложенная модель позволяет рассчитывать значения технологических параметров котлоагрегатов, а также прогнозировать поведение кипящего слоя при различных комбинациях управляющих воздействий при переходе топки НТКС с одного режима на другой.

Следующие результаты диссертационной работы характеризуются научной новизной:

- математическая модель производства и распределения материальных и энергетических потоков в котлоагрегате с топкой НТКС, отличие которой от существующих заключается в наличии погружных поверхностей нагрева (ППН) и учете их параметров;

- критерий с наложенными ограничениями рациональной работы группы котельных агрегатов с топками НТКС по максимальному средневзвешенному КПД группы котлов с учетом текущего состояния каждого котлоагрегата, который, в отличие от имеющихся, определяет экономические показатели работы системы на основе индивидуальных характеристик котельных агрегатов;

- метод поиска рационального состава группы работающих котельных агрегатов с топками НТКС и рациональной производительности каждого котла в зависимости от прогнозируемого теплового спроса.

Практические результаты работы заключаются в том, что на основании полученных результатов автором разработана модель производства и распределения материальных и энергетических потоков в котлоагрегате с НТКС, которая позволяет рассчитывать значения технологических параметров котельных агрегатов, а также поведение НТКС в переходных режимах в зависимости от изменения задания по тепловой производительности. На основе модели разработана методика поиска рационального состава группы котлоагрегатов с топками НТКС и производительности каждого котла на основе предложенной математической модели. Разработаны структура и алгоритм функционирования системы автоматического управления производством теплоты в системе теплоснабжения шахты. Обоснована целесообразность многопараметрического автоматического регулирования производительности котлоагрегатов с НТКС: по расходу твердого топлива, по расходу дутьевого воздуха, по степени погружения ППН в слой для выполнения критериев их рациональной работы и безаварийного функционирования.

Практическое значение результатов работы определяется тем, что на их основе возможна разработка системы автоматического управления работой котла, результаты приняты к использованию ГУ «Донгипрошахт» (г. Донецк) при составлении технических проектов модернизации котельных установок угольных шахт. При внедрении данной системы на шахте на примере группы котлоагрегатов типа КВКС-3,489 с топкой НТКС ожидаемая годовая экономия условного топлива по одному котлоагрегату в работе оценена в размере 54,9 т.у.т./год, экономический эффект составит более 140 тыс. руб/год.

Практическое значение результатов определяет и их внедрение в учебный процесс для студентов по направлениям подготовки и специальностям «Автоматическое управление технологическими процессами» и «Техническое обслуживание и ремонт систем автоматического управления технологическими процессами».

тизация технологических процессов и производств», «Горное дело», «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Результаты внедрения диссертационной работы подтверждены соответствующими справками.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Разработанные автором методика и программный комплекс поиска рационального состава группы котлоагрегатов с топками НТКС, а также система автоматического управления производством теплоты в системе теплоснабжения шахт могут быть рекомендованы для внедрения на профильных предприятиях.

Считаем целесообразным продолжить работу в направлении более глубокой теплотехнической проработки процессов теплообмена в котлах, дальнейшего развития модели с включением других типов теплоисточников, что позволит расширить область применения результатов на системы теплоснабжения других производственных предприятий.

### **Общие замечания**

1. В работе используется термин «температуры НТКС», но не дано определение, что это такое – температура слоя, газа, локализация положения и т.д.

2. Вызывает вопрос уравнение массового баланса, имеющее номер (2) в автореферате и (2.8) в диссертационной работе. Если применяется дифференциальная форма записи, в правой части уравнения должны быть не функции зависимости массового расхода от времени, а выражения, определяющие их изменение.

3. В выражении (5), (6) автореферата и (2.11), (2.12) диссертационной работы допущены ошибки при записи уравнений теплопередачи излучением. Для теплового излучения закон Стефана-Больцмана не подразумевает использование коэффициента теплопередачи, а используется приведенный коэффициент излучения  $c = \sigma_0 \cdot \varepsilon$ . В указанных же выражениях автор включил произведение постоянной Стефана-Больцмана  $\sigma_0$  (в размерности которой на с. 52 работы допущена ошибка) и величину, названную коэффициентом лучевого теплообмена  $\alpha$  с размерностью Дж/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>). Так же если постоянная Стефана-Больцмана записывается в виде  $5,67 \cdot 10^{-8}$ , делить температуру на 100 не следует.

4. В работе указано, что предложенные балансовые уравнения и уравнения теплообмена позволяют синтезировать динамическую модель производства и распределения теплоты в котлоагрегате с НТКС с учетом параметров поверхностей нагрева, но недостаточно полно представлен общий вид модели в виде совокупности входных и выходных параметров.

5. На с. 73 диссертационной работе имеются опечатки в приведенных численных значениях  $\sigma^2$ , так как  $37,00/89,68 = 0,4$ . В работе не указано, что понимается под величинами  $y_1, y_2, n_1, n_2$  (с.73-74 и приложение В). Если под индексами имеется в виду серия опытов, то их было 4, а результаты моделирования представлены в одной серии. Поэтому не понятен смысл проводимой проверки по критерию Фишера. Вызывает вопрос дискретность результатов наблюдений температуры НТКС, °С, имеющей шаг 10°С (рис. 5-6 автореферата и рис. 3.1, 3.2 и

приложение В работы). Для измерения для измерения температуры НТКС использовался термоэлектрический преобразователь ТХА706-02 (хромель-алюмелевая термопара) со вторичным прибором КВП1, имеющие класс точности 0,5 и позволяющие измерять температуру с более высоким пределом измерения.

Так же имеются погрешности теплотехнических расчетов в разделе 4. На с. 86 в выражении (4.12) массовая энтальпия воздуха с размерностью кДж/кг умножается на объем воздуха  $\alpha \cdot V$ , и в этом выражении необоснованно применяется пересчет объема воздуха на действительные условия.

6. На с. 92 диссертационной работы указано, что «Методами регрессионного анализа были установлены функциональные зависимости КПД от текущей производительности котлоагрегатов». Так же в разделе 4.3 диссертационной работы и на с. 16 автореферата упоминаются «зависимости КПД каждой котельной установки от ее производительности в виде регрессионных полиномов третьей степени». Вместе с тем сами зависимости в работе не приводятся, хотя они представляют интерес и их получение, и анализ мог ли бы характеризоваться научной новизной.

Указанные замечания являются частными и не снижают общий уровень работы.

### **Заключение**

Диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему повышения эффективности работы систем теплоснабжения, в которой решена прикладная научно-техническая задача повышения эффективности системы теплоснабжения шахты с котлоагрегатами с топками НТКС.

Новые научные результаты, полученные диссертантом, заключаются в обосновании технологических особенностей группы котлоагрегатов с топками НТКС, позволяющих эффективно использовать их в качестве теплогенерирующих установок систем теплоснабжения шахт; разработке математической модели производства и распределения материальных и энергетических потоков в котлоагрегате с топкой НТКС с возможностью учета наличия и параметров погружных поверхностей нагрева; разработке критерия рациональной работы по максимальному средневзвешенному КПД группы котлоагрегатов с НТКС на тепловую сеть шахты; создании метода расчета эффективного состава группы котлоагрегатов с топками НТКС и производительности каждого котла по критерию максимального средневзвешенного КПД котельной. Результаты имеют существенное значение в научной области совершенствования, оптимизации и повышение надежности систем теплоснабжения, создания и развитие эффективных методов расчета и экспериментальных исследований систем теплоснабжения.

Выводы и рекомендации достаточно обоснованы.

Работа отвечает требованиям п.2.2 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 - теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

