

Литература

1. Емельянов Р.Т. Управление динамическими свойствами систем безопасности грузоподъемного оборудования. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2002. – 149 с.
2. Боровин Г.К., Костюк А.В. Математическое моделирование систем управления шагающих машин // Гидромашины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика: тез. докл. науч.-техн. конф. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999.
3. Федосов Б.Т., Клиначев Н.В. О построении области устойчивости линейной системы по некоторому параметру стандартными средствами программ математического моделирования. – URL: http://vissim.nm.ru/d_region.html.



УДК 676.495.8

Р.Т. Емельянов, Э.Г. Сурнин, И.В. Калинин

ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДЯНОЙ ОБДУВКИ НА КОТЛАХ БКЗ-420, БКЗ-500 И П-67

Представлены результаты исследований систем водяной обдувки на котлах БКЗ-420, БКЗ-500 и П-67. Выявлена эффективность очистки топочных экранов водяными обдувочными аппаратами.

Ключевые слова: термопары, теплопроводность, сеточная модель, температурные поля, топочные экраны, обдувочные аппараты, тепловой поток.

R.T. Emelyanov, E.G. Surnin, I.V. Kalinich

THE STUDY OF WATER BLOW-OFF SYSTEMS ON BKZ-420, BKZ-500 AND P-67 CAULDRONS

The research results of the water blow-off systems on BKZ-420, BKZ-500 and P-67 cauldrons are presented. The efficiency of furnace screen cleaning by water blow-off devices is revealed.

Key words: thermocouples, heat conductivity, net model, temperature fields, furnace screens, blow-off devices, thermal stream.

При очистке топочных экранов котлов с помощью водяной обдувки имеет место интенсивное термическое воздействие струи на экранные трубы. Для анализа термического воздействия струи: интенсивности теплообмена и времени контакта струи с обдуваемой поверхностью – обычно используются вводимые в топку зонды с установленными в них поверхностными термопарами [1]. Интенсивность теплообмена оценивается при этом по среднему за время охлаждения (контакта) коэффициенту теплоотдачи струи к наружной поверхности зонда. Коэффициент теплоотдачи находится из решения обратной задачи теплопроводности по экспериментально измеренной температуре и времени контакта.

Анализ указанных погрешностей, применительно к наиболее распространенной конструкции узла заделки термопар, был проведен на основе расчетов нестационарных температурных полей. Для проведения расчетов использовалась программа численного решения двумерной нелинейной задачи нестационарной теплопроводности методом тепловых балансов с конечно-элементной дискретизацией модели. В расчетной модели измерительный элемент был принят в виде пластины толщиной 5,0 мм и шириной 19,6 мм. Спай термопары помещен в центр пластины (по её ширине) и имеет идеальный контакт с металлом пластины. Ширина его (диаметр спая) $D = 1,0\text{--}2,6$ мм. Нижний край спая термопары расположен на расстоянии $\delta = 0,25\text{--}1,25$ мм от наружной поверхности. Толщина термоэлектродов $d = 0,2\text{--}1,0$ мм.

В качестве материала пластины принималась сталь марки 20 и 12Х1МФ, термопар – хромель-алюмель (ХА), хромель-копель (ХК). На наружной поверхности элемента (пластины) задавались условия третьего рода: коэффициент теплоотдачи $\alpha = 20$ и 65 кВт/(м²К), температура струи 40 °С. На боковых и внутренней поверхностях – идеальная теплоизоляция. Начальная температура пластины – 500 °С.

Внутренние полости узла заделки термопары (промежутки между телом пластины и термоэлектродами, а также между самими термоэлектродами) считались как воздушные прослойки с передачей тепла толь-

ко за счет теплопроводности. Сеточная модель (рис. 1) выбрана на основании предварительных расчетов, когда дальнейшее сгущение сетки не давало практического изменения получаемых узловых температур.

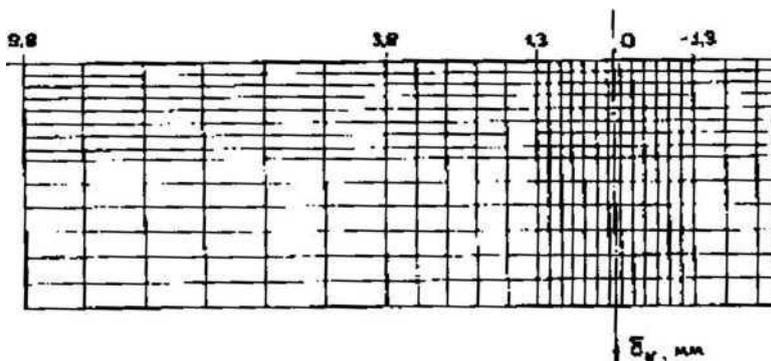


Рис. 1. Сеточная модель

Численный анализ оценки погрешности измерения термошочков в поверхностях нагрева при водяной обдувке показал, что последняя обусловлена заглублением эффективного места спая термопары относительно наружной поверхности, а также искажением локального температурного поля в узле заделки термопары из-за наличия полостей с высокими теплоизоляционными свойствами и отличий в теплофизических свойствах материалов термопары и металла поверхности нагрева.

На рисунках 2 и 3 представлены характерные температурные поля на внешней и внутренней границах спая диаметром 2,6 мм термопары ХА с термоэлектродами 1,0 мм, глубиной заделки нижней границы спая 1,25 мм в сплошной пластине из стали 20, при коэффициенте теплоотдачи от воды (с температурой 40 °С) к металлу $\alpha = 65 \text{ кВт}/(\text{м}^2\text{°С})$, начальной температуре пластины 500 °С и длительности охлаждения 0,8 с. Для сравнения построены температурные поля в соответствующих сечениях сплошной пластины. Из рисунков видно, насколько велики искажения температурных полей при часто применяемой заделке термопар, особенно если сравнивать температуры на нижней границе спая термопары (кривая на рис. 3), рассматриваемой в качестве «эффективного сечения», и температурой наружной поверхности сплошной пластины (прямая на рис. 2).

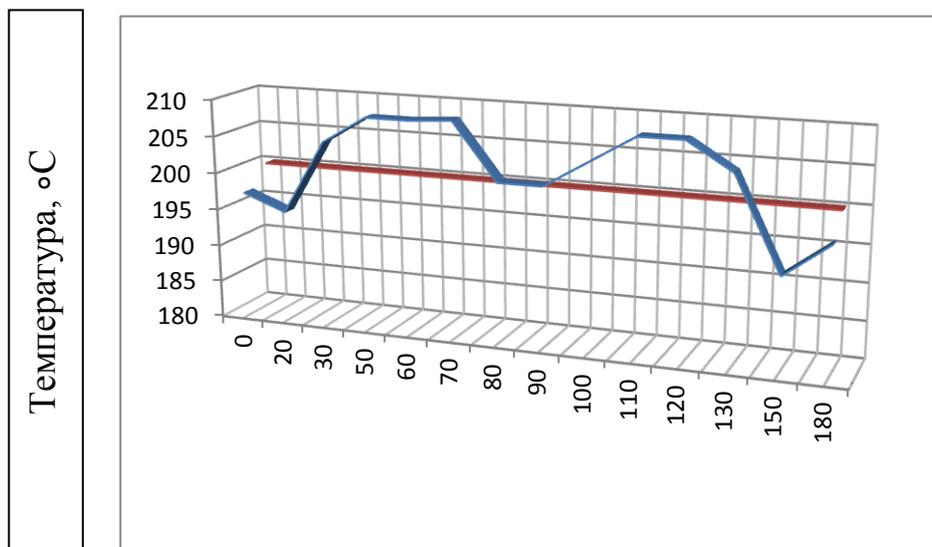


Рис. 2. Температурные поля на поверхностях спая термопары и пластины

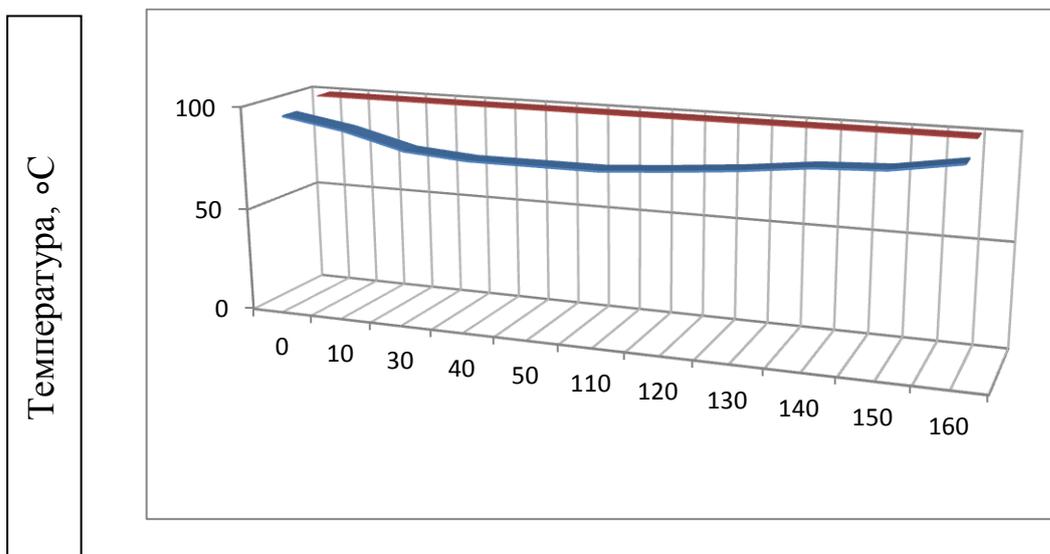


Рис. 3. Температурные поля в сечениях 1,2 мм от поверхности

По условиям минимального искажения температурных полей при тепловом ударе целесообразно применение термопар с диаметром термоэлектродов 0,3–0,5, глубиной заделки спаев ~ 0,5 мм и диаметром слая 1,0–1,5 мм. При этом относительные отклонения измеряемых и реальных термошоков будут составлять 10–30 % в зависимости от интенсивности и длительности термического воздействия, материалов термопары, основного металла и других факторов. Погрешность может быть снижена при введении поправок в результаты измерений после проведения расчетов с учетом реальной заделки термопар.

Эффективность очистки топочных экранов водяными обдувочными аппаратами оценивалась по изменению локальных коэффициентов тепловой эффективности (ψ_n), определяемых как отношение величины воспринятого теплового оттока (q_B) к величине падающего теплового потока (q_n) в той же точке. Суммарная эффективность очистки оценивалась по изменению температуры газов в поворотной камере до и после очистки (на котле БКЗ-500 также на уровне нижнего обреза ширм).

В качестве датчиков воспринятого теплового потока на котлах БКЗ-420 и БКЗ-500 использовались водоохлаждаемые тепломеры, которые устанавливались в существующие лючки топочной камеры на 100–150 часов. Показания тепломеров непрерывно фиксировались на самопишущих приборах типа КСП-4. Перед установкой тепломеры тарировались при помощи торцевого водоохлаждаемого зонда. Тарировочные характеристики тепломеров представлены на рисунке 4.

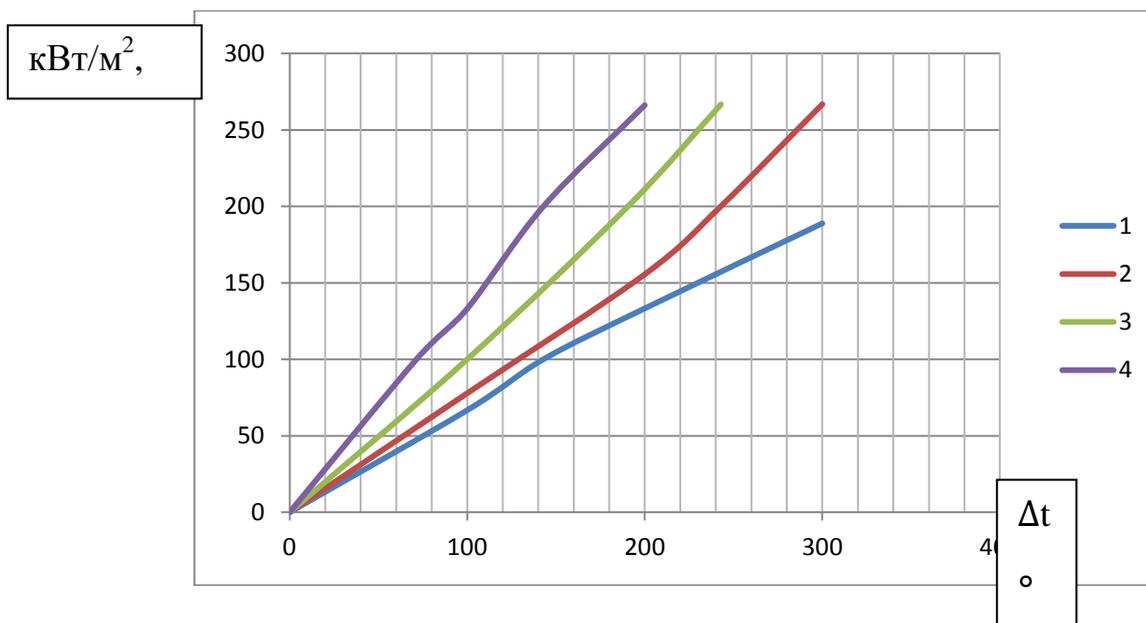


Рис. 4. Результаты тарировки тепломеров

Перед установкой теплометров в тех же лючках были проведены многократные измерения падающих тепловых потоков при различных нагрузках котла и сочетаниях работающих мельниц. Полученные зависимости вида $q_n=f(D_k)$ для котла БКЗ-500 представлены на рисунке 5. При обработке результатов исследований эффективности водяной обдувки использовались средние значения падающих тепловых потоков, определяемые по нагрузке котла. При этом абсолютная погрешность определения значений локальных коэффициентов тепловой эффективности находится в пределах $\pm 0,05$.

На котле П-67 в качестве датчиков воспринятого теплового потока использовались температурные вставки. Характеристика вставок представлена в [2] и проверялась расчетом с использованием результатов измерений падающего теплового потока в зонах гарантированной очистки.

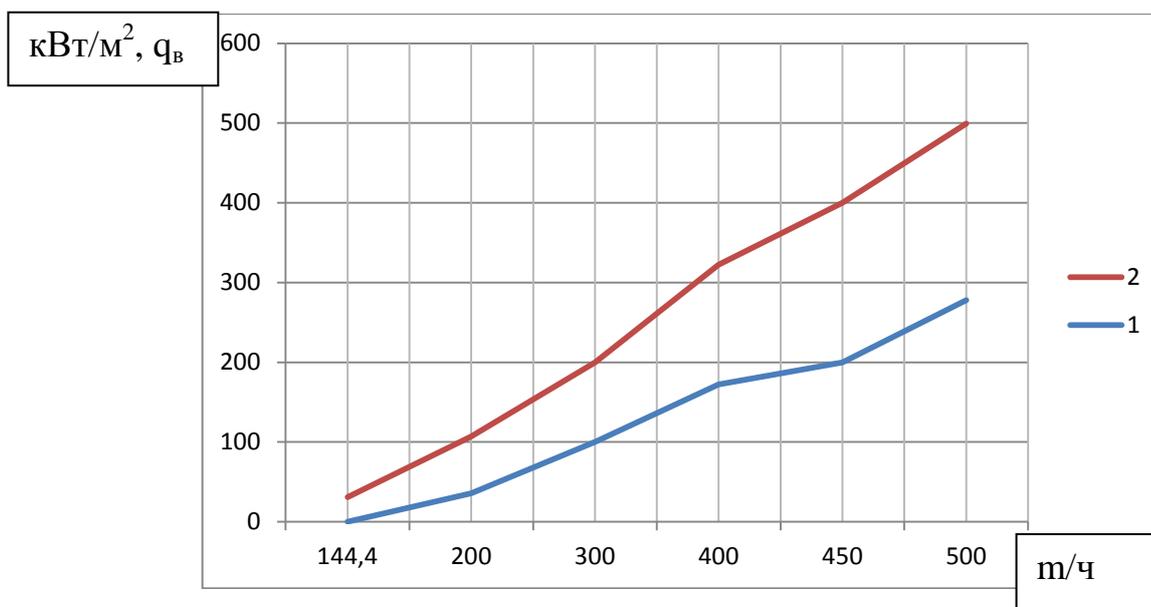


Рис. 5. Зависимость падающего теплового потока от нагрузки котла в лючках котла БКЗ-500

Контроль чистоты вставок после водяной обдувки осуществлялся визуально с помощью оптического водоохлаждаемого зонда. На котле П-67 проводились замеры термошоков, возникающих на очищаемой поверхности при работе водяных обдувочных аппаратов типа ОВГ. Измерение термошоков производилось специальным зондом с термопарами ХК на торцевой и боковой поверхности для фиксации прямого попадания струи и «термошоков растечки», возникающих при растекании воды от пятна орошения вдоль очищаемой поверхности. Глубина заделки спая 0,5–0,7 мм. Запись показаний производилась на ленте самопишущего милливольтметра Н-327 со скоростью движения ленты 1–10 мм/с. Зонд устанавливался в лючках, расположенных в расчетных зонах действия аппаратов ОВГ.

Выводы. Результаты проведенных замеров показали высокую эффективность водяной очистки топочных экранов на котлах БКЗ-420, БКЗ-500 и П-67. При этом воздействие холодной водяной струи на металл труб топочных экранов является минимальным и затрагивает тонкий поверхностный слой, не приводя к его разрушению, что подтверждается результатами проведенных расчетов и практических экспериментов.

Литература

1. Водяная обдувка топочных экранов с использованием дальнобойных аппаратов / М.В. Майданик, В.В. Васильев, Ю.П. Борисов [и др.]. – М.: Электрические станции, 1994. – № 4. – С. 7–11.
2. Таллермо Х.И., Сууркуус Т.Н., Пелла В.Э. Исследование состояния мембранных экранов в полупромышленных условиях при их водяной очистке // Тр. Таллин. политехн. ин-та. – 1983. – № 576. – С. 71–80.