

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МОРСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ. БЕЗОПАСНОСТЬ МОРСКОЙ ИНДУСТРИИ»

VIII INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "MARINE TECHNOLOGY AND ENGINEERING. SAFETY OF THE MARINE INDUSTRY"

СЕКЦИЯ «НАВИГАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ И ВЕДЕНИЯ ПРОМЫСЛА»

SECTION "NAVIGATION AND FISHING SAFETY"

<i>Данилов Ю.А., Рагулина И.Р.</i> Исследование стесненных условий навигационных аварий – поиск численных решений.....	4
<i>Ермаков С.В.</i> Методика формирования рейтинга навигационного оборудования морских судов.....	9
<i>Ермаков С.В., Морозова С.Ю.</i> Метод оценки поперечной метацентрической высоты судна с использованием спутникового компаса	17
<i>Мойсеенко С.С.</i> Правовые аспекты определения «морского риска».....	23
<i>Тимофеев В.К., Бураковский П.Е., Гуральник Б.С., Иконописцев И.И.</i> Определение степени риска экипажа рыбопромыслового судна при работе в потенциально опасных районах Мирового океана.....	28
<i>Якута И.В.</i> Обеспечение сохранности мореходных качеств лесовоза при затоплении машинного отделения	35

СЕКЦИЯ «ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПОСТРОЙКИ И РЕМОНТА СУДОВ»

SECTION "INOVATIVE METHODS IN SHIP DESIGN, CONSTRUCTION AND REPAIR"

<i>Бураковский Е.П., Бураковский П.Е., Дмитровский В.А.</i> Опыт использования технологии SPH для определения внешних сил, действующих на носовую оконечность судна в условиях ее захвата волной	43
<i>Бураковский П.Е.</i> Применение кусочно-аналитических решений при исследовании поведения бортовых перекрытий судовых корпусов за пределом упругости	48
<i>Веровкин В.И., Игушев В.Ф., Веровкин С.В.</i> Технологические меры повышения стойкости стальных корпусов судов к электрохимической коррозии.....	54
<i>Веровкин В.И., Игушев В.Ф., Терюшева С.А.</i> Влияние содержания кремния в стальных обшивках судов на их коррозионную стойкость.....	64
<i>Дектярев А.В., Гришин П.Р., Морозов В.Н.</i> Вопросы применения биоразлагаемых материалов в судостроении на примере полилактида.....	71
<i>Притыкин А.И., Лаврова А.С.</i> Влияние перфорации на несущую способность балок корпусов судов.....	80

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ИНДУСТРИИ»

SECTION "ELECTRICAL SYSTEMS OF THE MARINE INDUSTRY OBJECTS"

<i>Белей В.Ф., Брижак Р.О., Харитонов М.С.</i> Некоторые результаты исследования показателей качества электрической энергии на ряде судов флота рыбной промышленности.....	87
<i>Кажекин И.Е., Благинин В.А., Рагозин С.Н., Вольский В.А.</i> Защитные устройства для безопасности учебных парусных судов «Крузенштерн» и «Седов»	94
<i>Качесов В.Е., Финашин Р.А.</i> Импульсное резистивное заземление в судовых и портовых электросетях	102
<i>Никишин А.Ю., Харитонов М.С., Никитакос Н.</i> Перспективы использования возобновляемой энергетики в рамках концепции нулевого выброса порта Калининград	110
<i>Новоселов К.А.</i> Комплексная система контроля и управления на судах с колесным движительно-рулевым комплексом.....	118
<i>Павликов С.А.</i> Система управления пневматической муфтой	122
<i>Савенко А.А., Геллер Б.Л.</i> Анализ решений по разработке береговой зарядной станции для электрического парама.....	127
<i>Харитонов М.С., Кажекин И.Е., Кугучева Д.К.</i> Методика сбора информации об однофазных повреждениях изоляции в судовом электрооборудовании.....	135
<i>Чижда С.Н., Молчанов С.В., Матюнин П.А.</i> Перспективы использования судовых синхронных электрических машин с постоянными магнитами	140
<i>Шабалин Л.Д., Савенко А.Е., Савенко П.С.</i> Исследование качества электроэнергии на судах района Керченской паромной переправы	151

СЕКЦИЯ «СУДОВЫЕ И СТАЦИОНАРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ»

SECTION "SHIP AND STATIONARY POWER PLANTS"

<i>Архипов М.И., Филонов А.Г.</i> Результаты испытаний путевого жалюзийного сепаратора пара для производственных и отопительных котельных	157
<i>Глазков Д.Ю.</i> Величина эмиссии сажи с отработавшими газами судовых дизелей в зависимости от действующих факторов при объёмно-плёночном смесеобразовании.....	162
<i>Дорош К.С., Волкова Л.Ю.</i> Численный расчет параметров топливной аппаратуры судового двухтактного двигателя внутреннего сгорания MAN B&W серии MC.....	173
<i>Закиров С.З., Волкова Л.Ю.</i> Особенности конструктивного исполнения топливных насосов высокого давления судовых дизелей.....	179
<i>Кошелев С.В., Сластихин Ю.Н.</i> Расчётно-экспериментальное определение коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи воздухоохладителя с тиснёными рёбрами.....	184
<i>Никифоров А.С., Приходько Е.В., Кинжибекова А.К., Карманов А.Е.</i> Исследование процесса охлаждения футеровки ВТУ при выводе из эксплуатации	193
<i>Селин В.В., Юрков С.В., Беркова Е.А.</i> Исследование возможностей повышения эффективности работы теплофикационной установки, утилизирующей древесные отходы.....	198
<i>Толмачёв А.В.</i> Рациональная регулировка дизельного двигателя.....	203

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ФУТЕРОВКИ ВТУ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Никифоров Александр Степанович, профессор, д-р техн. наук
Приходько Евгений Валентинович, профессор, канд. техн. наук
Кинжибекова Акмарал Кабиденовна, ассоциированный профессор, канд. техн. наук,
Карманов Амангельды Ерболович, доктор PhD

Торайгыров университет, г. Павлодар, Казахстан, e-mail: aleke4599@mail.ru

В статье приведены результаты исследований процесса охлаждения футеровки печей спекания. Производится анализ состояния футеровки при выводе печи в ремонт. Показана методика и результаты расчёта распределения температур и термических напряжений по сечению футеровки в процессе охлаждения. Показано, что возникающие напряжения превышают допустимый уровень. Разработаны графики охлаждения, которые позволяют сократить время охлаждения агрегата более чем на 2 часа.

Введение

При периодической работе высокотемпературных установок (ВТУ) имеются технологические периоды времени, в течение которых необходимо охладить футеровку из состояния с температурой, равной температуре рабочего тела (на выпуске) до температуры, при которой возможно проведение ремонтных работ (согласно правилам промышленной безопасности – при 40 °С). Эти периоды времени связаны, как правило, с проведением частичных ремонтов – замены части износившейся футеровки.

Практика эксплуатации печей спекания показывает, что основной зоной термического разрушения футеровки при охлаждении является зона кальцинации, перед гарнисажем. Вид разрушений – скалывание кирпича плитками толщиной 1 – 2 см, полями в несколько квадратных метров (рисунок 1). Указанная форма разрушений – результат термических ударов при нестационарных режимах (разогреве и охлаждении).



Рис. 1. Состояние футеровки зоны кальцинации

Необходимо учесть, что снижение температуры кладки при охлаждении идет от горячего конца к холодному, в силу чего в глубине печи воздух всегда горячий, в то время как в зоне охлаждения и кальцинации – воздух холодный и вызывает жесткий термический удар на футеровке. Поэтому охлаждение обычно производят следующим образом – в начале охлаждения тягу на дымососах делают минимальную, вплоть до остановки одного дымососа. При падении температуры кладки до 600 °С и ниже, когда опасность растрескивания кирпича снимается, темп охлаждения увеличивают до рабочих нагрузок на дымососы.

Согласно правилам эксплуатации, градиент температур по высоте кирпича ориентировочно составляет 50 °С / см и поэтому, если предварительно перед интенсивным охлаждением мягко подостудить рабочую поверхность футеровки до температуры 600 – 700 °С, то это гарантирует выравнивание температуры до безопасного градиента по высоте на 3 – 4 см и разрушения практически не будет.

При среднем состоянии печи время подстуживания кладки составляет 3 – 4 часа, однако это время значительно может изменяться на печи со значительным слоем гарнисажа, остановке аварийной без разгрузки и т.д., поэтому назначение режима охлаждения определяется опытом агломератчика и его добросовестностью, т.е. человеческим фактором.

При всех режимах и условиях полного охлаждения печь должна непрерывно вращаться – крепкий спек, плав – обязательно, нормальный спек – как правило, должны выкручиваться на главных приводах с прижатием тяги перед переводом на вращение печи от вспомогательного привода. Вращение печи на вспомогательном приводе должно идти до конца охлаждения.

Среднее время охлаждения печи – 12 часов.

Абсолютное сжатие шва кладки при нагретом состоянии печи может достигать 0,5 мм на каждый шов. Поэтому, если кладку охлаждать очень быстро, не дожидаясь охлаждения корпуса и его сжатия, то можно за одно охлаждение расшатать всю кладку – темп охлаждения печи кроме первого этапа – подстуживания, надо соотносить с охлаждением корпуса, учитывая, что зимой и на ветру темп охлаждения может быть назначен выше, летом – должен быть назначен ниже.

Особенно мягко надлежит охлаждать печи с малым гарнисажем и малым остатком материала в печи, так как при равной тяге и других внешних условиях охлаждения в этом случае теплосъем от футеровки, а значит и напряжения в кладке – максимальные.

Охлаждение печи тягой до предельно низких температур проводить не следует – останавливать охлаждение печи и её вращение надлежит при теплой футеровке.

Методология

Первым этапом разработки графиков охлаждения печи спекания является определение температурных полей футеровки при существующем процессе охлаждения.

В общем случае тепловое состояние рабочего слоя футеровки высокотемпературного агрегата математически описывается следующим уравнением:

$$\frac{dT}{d\tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{\rho \cdot c}, \quad (1)$$

где a – коэффициент температуропроводности, м²/с;

q_v – мощность внутренних источников тепла, Вт/м³;

ρ – плотность вещества, кг/м³;

c – теплоёмкость вещества, Дж/(кг·К).

Для решения задачи внутреннего теплообмена в рабочем слое футеровки примем некоторые допущения. В случае остывания печи спекания будем считать размеры в направлении осей x и z неограниченными, а толщину в направлении оси y конечной; поверхность стены (с учётом диаметра, равного 5 метрам) будем считать плоской. Температура изменяется только по толщине, внутренних источников тепла нет. С учётом того, что $\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial z} = 0$, математическая формулировка одномерной задачи теплопроводности будет иметь следующий вид:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}, \quad 0 < y < H \quad (2)$$

С учётом известных температур на внутренней поверхности футеровки, определяемых интенсивностью работы дымососа, имеем граничные условия 1 рода:

$$T_{y=0} = T_i. \quad (3)$$

На внешней поверхности футеровки граничные условия 3 рода:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial y_{y=H}} = \alpha(T_0 - T_{y=H}). \quad (4)$$

Начальные условия будут представлены заданным начальным распределением температур в футеровке. Зная начальную температуру на внутренней поверхности и учитывая стационарный характер распределения теплоты при эксплуатации в печи, имеем:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0, \quad 0 \leq y \leq H. \quad (5)$$

Разобьём всю толщину футеровки H на n конечных элементарных слоёв (шаг по координате), толщина каждого из которых равна Δy , то есть:

$$H = n \cdot \Delta y. \quad (6)$$

Отсчёт времени ведётся с конечными интервалами $\Delta \tau$ (шаг по времени). Примем шаг по времени, равный 600 с., а шаг по координате 50 мм (при толщине слоя 200 мм.).

Введём также ещё одно допущение – примем температуру внутренней поверхности футеровки равной температуре охлаждающей среды, то есть отнесём данную задачу к классу задач по охлаждению тел, обладающих значительным внутренним термическим сопротивлением. Зная начальное распределение температуры в стенке, можно рассчитать распределение температуры в любой момент времени по формуле [1]:

$$\frac{t-t_1}{t_i-t_1} = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cdot e^{-(n\pi/2)^2 \cdot \Delta \tau} \cdot \sin\left(\frac{n\pi}{H}\right) \cdot y,$$

где $n = 1, 3, 5, \dots$;

t – температура поверхности в момент времени τ , °С;

t_i – температура поверхности в начальный момент времени, °С;

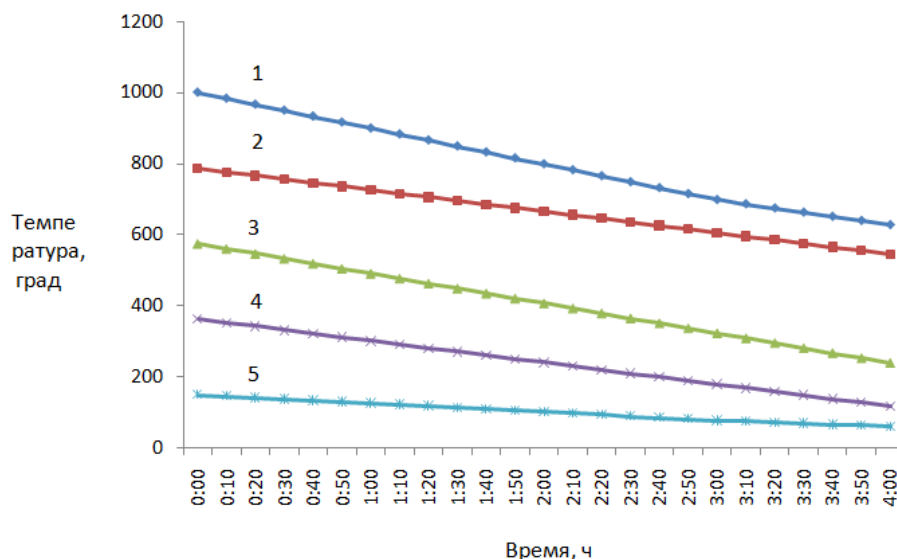
t_1 – температура окружающей среды, °С.

Результаты

Для расчёта возникающих температурных напряжений в футеровке зададимся следующими исходными данными: первоначальная температура поверхности – 1000 °С; «подстуживание» осуществляется в течение 4 часов до температуры 600 °С, то есть со средней скоростью 100 °С/ч. и в дальнейшем процесс охлаждения ведётся со скоростью 73 °С/ч.

Футеровка изготовлена из шамотных кирпичей марки ШЦУ, имеющих предел прочности на сжатие 25 МПа; предел прочности на растяжение 5 МПа [2].

С учётом начальной температуры на внутренней поверхности футеровки и скорости её снижения, произведём расчёт температур по сечению с шагом 10 минут по формуле (7). На рисунке 2 показана динамика изменения температур футеровки печи спекания в разных точках по толщине в процессе охлаждения.

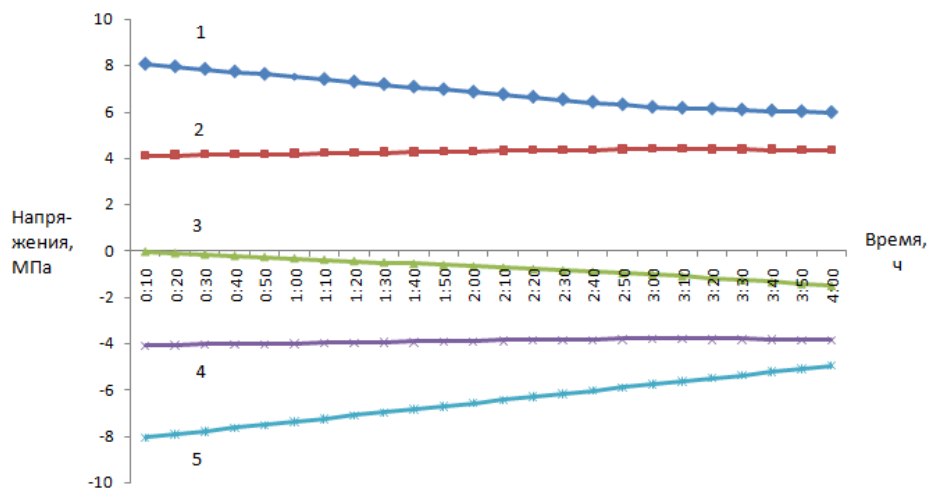


1 – на внутренней поверхности футеровки; 2 – на $\frac{1}{4}$ толщины футеровки (от внутренней поверхности); 3 – на $\frac{1}{2}$ толщины футеровки (от внутренней поверхности); 4 – на $\frac{3}{4}$ толщины футеровки (от внутренней поверхности); 5 – на внешней поверхности футеровки

Рис. 2. Динамика изменения температур футеровки печи спекания в разных точках по толщине в процессе охлаждения

Имея данные по распределению температур в футеровке произведём расчёт температурных напряжений, согласно методике, описанной в [3].

На рисунке 3 показаны графики значений возникающих температурных напряжений в печи спекания в разных точках по толщине в процессе охлаждения.



1 – на внутренней поверхности футеровки; 2 – на $\frac{1}{4}$ толщины футеровки (от внутренней поверхности); 3 – на $\frac{1}{2}$ толщины футеровки (от внутренней поверхности); 4 – на $\frac{3}{4}$ толщины футеровки (от внутренней поверхности); 5 – на внешней поверхности футеровки

Рис. 3. Значения возникающих температурных напряжений в футеровке печи спекания в разных точках по толщине в процессе охлаждения

Анализ полученных данных показывает, что начальный этап процесса охлаждения сопровождается превышением напряжений растяжения. Максимальные значения напряжений растяжения возникают на внешней поверхности слоя футеровки.

При допустимом уровне (пределе прочности на растяжение) равном 5 МПа максимальное напряжение растяжения составляет 8,038 МПа в момент времени 0 ч 10 мин, что в 1,6 раза выше

допускаемого. По мере охлаждения значения напряжений падают и при достижении 4 часов охлаждения они принимают допустимые значения (4,95 МПа). В дальнейшем, на следующем этапе охлаждения (со скоростью 73 °С/ч), напряжения не превышают предела прочности материала.

Напряжения сжатия, при охлаждении по указанному графику, находятся в допустимых пределах. Максимальное возникающее напряжение сжатие в момент времени 0 ч 10 мин составляет 8,063 МПа, что составляет 32,25 % от предела прочности на сжатие используемых материалов. Это, в частности, можно объяснить и значительной разницей в пределе прочности шамота ШЦУ на сжатие и растяжение: 25 МПа и 5 МПа соответственно.

Таким образом, можно сделать вывод, что имеющаяся скорость охлаждения печей спекания в период «подстуживания» (100 °С/ч) не является рациональной с позиции возникающих температурных напряжений. Напряжения растяжения превышают допустимый предел на протяжении всего периода «подстуживания», при этом максимальное значение возникающих напряжений превышает в 1,6 раза предел прочности на растяжение.

Дальнейшие расчёты показывают, что для снижения возникающих температурных напряжений до нормируемого уровня необходимо снизить скорость охлаждения до 60 °С/ч в течение первых 4 часов. Дальнейшее охлаждение можно вести со скоростью 100 °С/ч. Первоначально, согласно заводскому графику, процесс охлаждения печи с температуры 1000 °С до 40 °С идёт: 4 часа со скоростью 100 °С/ч и 9 ч 20 мин со скоростью 60 °С/ч. При замене этого графика на новый: 4 часа со скоростью 60 °С/ч и 7 ч 17 мин со скоростью 100 °С/ч в результате получим, что общее время охлаждения сократится более чем на 2 часа (рисунок 4).

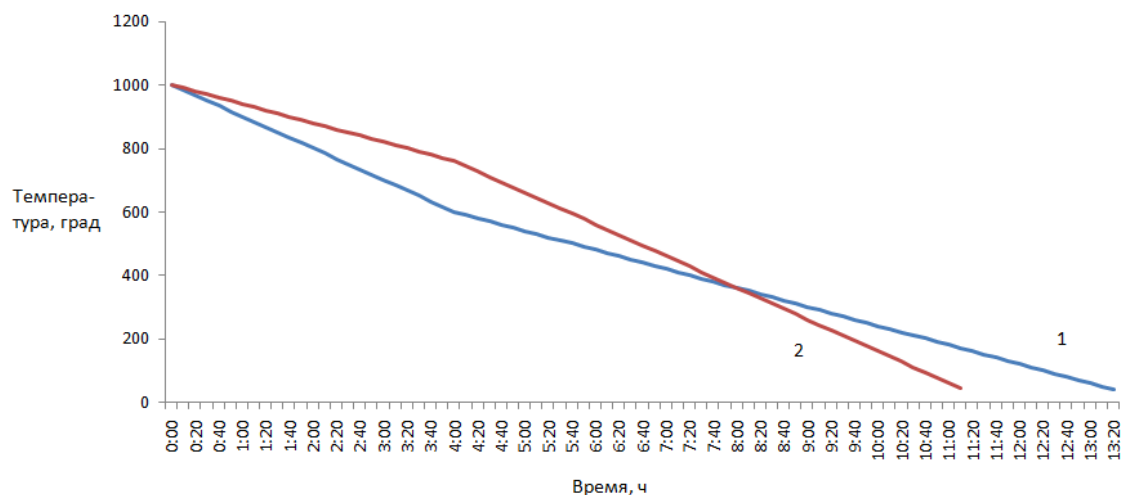


Рис. 4. Графики охлаждения печи спекания: 1 – действующий; 2 – предлагаемый

Выводы

Анализ службы футеровок показывает, что при быстром нагреве футеровки поверхностные слои кладки, обращенные в рабочее пространство, испытывают напряжения сжатия. При быстром охлаждении поверхностные слои находятся под воздействием растягивающих напряжений. При прочих равных условиях для огнеупорной футеровки более опасно быстрое охлаждение, чем быстрый нагрев, вследствие плохой сопротивляемости огнеупоров растяжению и хорошей – сжатию. В практике часто встречаются случаи разрушения футеровки в результате недостаточного предварительного разогрева кладки или отсутствия его [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шнейдер П. Инженерные проблемы теплопроводности. М. Иностранная литература 1960. – 478 с.

2 Карманов А.Е., Приходько Е.В., Никифоров А.С. Исследование теплофизических параметров теплоизоляционных материалов. Наука. Технологии. Инновации // Сборник научных трудов в 10 ч. / под ред. доц. О.В. Боруш. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – Часть 4. С. 215-219.

3 Никифоров А. С., Приходько Е.В., Кинжибекова А. К., Карманов А. Е. Разработка программы расчёта температурных напряжений в футеровках высокотемпературных агрегатов. Вестник ПГУ, серия «Энергетическая», №2, 2018. С. 253-260

4 Словиковский В.В., Гуляева А. В. Влияние режимов разогрева футеровок тепловых агрегатов и продолжительности хранения огнеупоров на стойкость огнеупорной кладки. Новые огнеупоры №6, 2015, с. 9-13.

RESEARCH OF THE LINING COOLING PROCESS IN HIGH-TEMPERATURE UNITS (HTU) DURING THEIR DECOMMISSION

Nikiforov Aleksandr Stepanovich, prof., doctor of technical sciences

Prikhod'ko Evgenij Valentinovich, prof., Ph.D.

Kinzhibekova Akmaral Kabidenovna, associate prof., Ph.D.

Karmanov Amangeldy Erbolovich, Ph.D.

Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: aleke4599@mail.ru

The article reports on the results of the research of the lining cooling process in sintering furnaces. The analysis of the lining state is carried out when the furnace is taken out for repair. The work conveys the methodology and results of calculating the distribution of temperatures and thermal stresses over the lining cross section during cooling. It demonstrates that the arising stresses exceed the allowable level. Thus, cooling schedules have been developed to reduce the cooling time of the unit by more than 2 hours.

УДК 620.91/.98(470.26)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ, УТИЛИЗИРУЮЩЕЙ ДРЕВЕСНЫЕ ОТХОДЫ

Селин Виктор Васильевич, канд. тех. наук, профессор

Юрков Сергей Валерьевич, доцент

Беркова Елена Анатольевна, старший преподаватель

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,

Калининград, Россия, e-mail: viktor.selin@klgtu.ru; sergej.yurkov@klgtu.ru; ele-

na.berkova@klgtu.ru

Исследуются возможности повышения эффективности работы теплофикационной установки, утилизирующей отработанные деревянные шпалы. Выполнено теоретическое обоснование ее реконструкции с надстройкой паровой турбины. Разработана принципиальная тепловая схема для предлагаемого варианта реконструкции. Определены параметры, расходы и направления потоков рабочих тел в агрегатах и узлах теплофикационной установки до и после реконструкции.

Заинтересованность руководства предприятий в повышении эффективности производства, снижении энергозатрат, увеличении конкурентоспособности выпускаемой продукции или предоставляемых услуг приводит к внедрению в производственный цикл разного рода инновационного оборудования. Кроме того, возросший интерес государства к экологическим проблемам [1], в частности, к утилизации отходов производства, заставляет искать пути избавления от этих отходов,