

**НАДЕЖНОСТЬ
И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ
ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АГРЕГАТОВ**



TORAIGHYROV UNIVERSITY
БҰҒАЛАР АГРЕГАТЫ

Министерство образования и науки Республики Казахстан

Некоммерческое акционерное общество
«Торайгыров университет»

А. С. Никифоров, Е. В. Приходько,
А. К. Кинжибекова, А. Е. Карманов, Ш. М. Нуркина

**НАДЕЖНОСТЬ И
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ
ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
АГРЕГАТОВ**

Монография

Павлодар
Toraighyrov University
2020

УДК 621.1:666.76
ББК 31.391.6

Н17

**Рекомендовано к изданию Ученым советом
НАО «Торайгыров университет»**

Рецензенты:

Кузнецов А. И. – д-р техн. наук, проф.;

Свидерский А. К. – д-р техн. наук, проф. Инновационного
Евразийского университета;

Алимгазин А. Ш. – д-р техн. наук, проф. Евразийского
национального университета имени Л. Н. Гумилева.

**Никифоров А. С., Приходько Е. В., Кинжибекова А. К.,
Карманов А. Е., Нуркина Ш. М.**

Н17 Надежность и энергоэффективность тепловой работы
высокотемпературных агрегатов : монография / А. С. Никифоров,
Е. В. Приходько, А. К. Кинжибекова, А. Е. Карманов,
Ш. М. Нуркина. – Павлодар : Toraihyurov University, 2020. –145 с.

ISBN 978-601-345-089-6

В монографии изложены теплотехнические характеристики
основных элементов высокотемпературных агрегатов. Дан анализ
условий тепловой работы футеровок промышленных печей.
Исследовано влияние условий эксплуатации высокотемпературных
установок на ресурс надежности службы футеровок.

Монография рекомендуется инженерно-техническим работникам,
а также студентам и магистрантам вузов.

УДК 621.1:666.76
ББК 31.391.6

© Никифоров А. С. и др., 2020

ISBN 978-601-345-089-6 © Торайгыров университет, 2020

За достоверность материалов, грамматические и орфографические ошибки
ответственность несут авторы и составители

Введение

В настоящее время в различных отраслях промышленности широко применяются промышленные печи различного назначения (металлургия, нефтехимия, строительство), сушильные установки в теплосиловых агрегатах. Для снижения тепловых потерь, удержания в заданном объёме расплавленных материалов и защиты обслуживающего персонала, части оборудования покрывают защитной обмуровкой (футеровкой). Минимальное значение толщины футеровки может составлять несколько сантиметров (у сушильных установок), тогда как максимальное – до 1,5 м (у крупных промышленных печей). Температурный градиент некоторых агрегатов по толщине футеровки может составлять порядка тысячи градусов Цельсия.

Теплотехнические процессы характеризуются большим многообразием и сложностью теплотехнических, термохимических процессов, протекающих с участием различных видов топлива, рудного и другого сырья в изменяющихся агрегатных состояниях. Это предъявляет высокие требования ко всем узлам конструкции высокотемпературных установок, в том числе и к футеровке.

Футеровка промышленных печей физически изнашивается наиболее быстро, и стоимость её, как правило, определяет длительность межремонтной кампании. Поэтому повышение стойкости и надёжности работы футеровки обеспечивает продление межремонтной рабочей кампании агрегатов. Возрастающие требования к надёжности работы при эксплуатации оборудования обязывают решать проблемы сокращения сроков простоя его как в ремонте, так и в период запуска или останова печей. Это может быть достигнуто, в частности, оптимальным управлением таких нестационарных процессов как разогрев и останова при эксплуатации оборудования, что позволит значительно повысить экономичность производства.

В современных условиях возрастает актуальность основной задачи производства – обеспечить потребителей достаточным количеством высококачественного продукта, применив при их производстве высокоэффективное технологическое оборудование и новые ресурсо- и энергосберегающие технологии.

С учётом того, что затраты на огнеупорные и теплоизоляционные материалы значительно сказываются на стоимости конечного продукта возникает необходимость применения инновационных технологий для снижения удельного расхода огнеупоров на единицу

Содержание

1	Введение	3
1.1	Конструкции высокотемпературных установок	5
	Основные характеристики и конструкции высокотемпературных агрегатов	5
1.2	Теплотехнические характеристики	12
1.2.1	Тепловой баланс и расход топлива	13
2	Конструктивные элементы ВТУ	19
2.1	Футовка высокотемпературных агрегатов	19
2.2	Основные функции футеровки	20
2.3	Анализ механизмов разрушения футеровок	22
3	Огнеупорные и теплоизоляционные материалы	28
3.1	Основные свойства огнеупорных материалов	28
3.2	Свойства теплоизоляционных материалов	32
4	Методы контроля термонапряженного состояния теплоотражающих конструкций ВТУ	37
5	Условия тепловой работы футеровок высокотемпературных установок	40
5.1	Характеристика службы огнеупорной защиты ВТУ	40
5.2	Обследование теплового состояния высокотемпературных агрегатов	48
5.2.1	Обследование вращающихся печей	48
5.2.2	Обследование сталеразливочных ковшей	53
6	Влияние условий эксплуатации агрегатов на ресурс надежности работы футеровок	54
6.1	Анализ теплового состояния теплотехнологических установок	54
6.2	Анализ структуры огнеупорных материалов после эксплуатации в агрегатах	55
7	Исследование теплотехнических и прочностных свойств огнеупорных и теплоизоляционных материалов	63
7.1	Исследование влияния температуры и условий эксплуатации на теплотехнические свойства огнеупорных материалов	63
7.1.1	Исследование влияния температуры на теплопроводность	63
7.1.2	Шамотные огнеупоры (марки ШЦУ)	66
7.1.3	Периклазоуглеродистые огнеупоры	67
7.2	Исследование предела прочности огнеупорных материалов на сжатие в зависимости от температуры	67
7.2.1	Методика экспериментального определения предела прочности огнеупорных материалов на сжатие в зависимости от температуры	68
7.2.2	Исследование предела прочности на сжатие огнеупоров (ШЦУ)	70
7.2.3	Исследование предела прочности на сжатие периклазоуглеродистых огнеупоров	70
7.2.4	Исследование предела прочности на сжатие огнеупоров HALBOR 400	72
7.3	Исследование влияния температуры и условий эксплуатации на теплотехнические свойства теплоизоляционных материалов	73
7.3.1	Зависимость коэффициента теплопроводности шамотного кирпича от температуры	74
7.3.2	Зависимость предела прочности шамотного огнеупора от температуры	75
7.3.3	Определение плотности используемых футеровочных материалов	76
7.4	Исследование влажности огнеупоров и теплоизоляции	76
8	Моделирование тепловой работы ВТУ	81
8.1	Математическая модель исследуемого объекта	81
8.2	Выбор численного метода решения задачи теплопроводности	83
8.3	Моделирование температурных полей футеровок	85
8.3.1	Печи спекания	85
8.3.2	Печи кальцинации	87
8.3.3	Сталеразливочные ковши	88
8.4	Определение термических напряжений	90
8.5	Результаты моделирования термонапряженного состояния футеровок	96
8.5.1	Печи спекания	96
8.5.2	Печи кальцинации	98
8.5.3	Сталеразливочные ковши	99
9	Совершенствование нестационарных тепловых режимов ВТУ	102
9.1	Пусковые режимы	102
9.1.1	Учет влажности используемых материалов при сушке футеровок	103
9.1.2	Режимы охлаждения и их влияние на термостойкость исследуемых агрегатов	110

10	Некоторые аспекты экономической эффективности эксплуатации высокотемпературных установок	126
	Литература	130
	Приложение А	137

Никифоров А. С., Приходько Е. В.
Кинжибекова А. К., Карманов А. Е., Нуркина Ш. М.

НАДЕЖНОСТЬ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АГРЕГАТОВ

Монография

Технический редактор З. Ж. Шокубаева
Ответственный секретарь А. К. Шукурбаева

Подписано в печать 17.09.2020 г.
Гарнитура Times.
Формат 29,7 x 42 ¼. Бумага офсетная.
Усл.печ. л. 8,3. Тираж 500 экз.
Заказ № 3653

Toraighyrov University
140008, г. Павлодар, ул. Ломова, 64