

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2023)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/YBCY7199>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/DOXJ8734>

***Е. В. Приходько¹, А. С. Никифоров², Н. М. Арипова³,
А. К. Кинжибекова⁴, А. Е. Карманов⁵**

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

e-mail: john1380@mail.ru

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ФУТЕРОВОК ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АГРЕГАТОВ

В данной статье рассматривается способ оценки остаточного ресурса высокотемпературных агрегатов периодического действия в зависимости от продолжительности рабочей кампании работы футеровки. Анализ работы высокотемпературных агрегатов показывает, что срок службы высокотемпературного агрегата до ремонта во многом определяется продолжительностью работы футеровки. Это справедливо для электродуговых печей, разливных и промежуточных ковшей и ряда других агрегатов.

В предлагаемом способе учитывается влияние следующих факторов эксплуатации на остаточный ресурс работы футеровки: возникающих температурных напряжений (сжатия и растяжения), максимальной температуры футеровки, а также показателя качества огнеупорного материала – предела прочности (на сжатие и растяжение).

Учёт факторов эксплуатации производят при помощи корректирующих коэффициентов, которые зависят от величины отклонения параметров эксплуатации от нормативного значения.

Температурные напряжения в футеровке являются определяющим условием при оценке остаточного ресурса, так как снижение толщины футеровки именно вследствие действия температурных напряжений является наиболее частой причиной вывода высокотемпературных агрегатов в ремонт.

Полученная оценка остаточного ресурса разливного ковша согласуется с эксплуатационными данными.

На основании разработанного способа предлагается ряд технических и организационно-управленческих решений для снижения

вероятности аварии в ходе дальнейшей эксплуатации и повышения экономической эффективности технологического процесса.

Ключевые слова: остаточный ресурс, высокотемпературные агрегаты, факторы эксплуатации, футеровка, температурные напряжения.

Введение

Значение остаточного ресурса оборудования промышленных предприятий – важная для эксплуатационного персонала величина, характеризующая следующие области работы предприятия:

- планирование сроков планово-предупредительных ремонтов;
- оценка безопасности обслуживающего персонала;
- логистика поставок запасных частей и материалов для проведения ремонтов;
- сравнительный анализ показателей эксплуатации однотипного оборудования различных предприятий.

Остаточный ресурс высокотемпературных агрегатов является суммарным показателем двух основных групп факторов. Во-первых, это проектные решения, включающие выбор материалов, из которых изготовлено оборудование, технологии производства и др. К этой группе факторов можно также отнести и качество запасных частей и материалов. Во-вторых, это условия эксплуатации, включающие действие температур, давлений, химически агрессивных сред и т.д., разрушающе действующих на оборудование.

В условиях реальной эксплуатации возможен учёт влияния вышеперечисленных факторов на значение остаточного ресурса оборудования. Важным для оценки остаточного ресурса являются факторы, в значительной степени действующие на искомое значение, а также воздействие конкретного фактора, оказывающего влияние на значение остаточного ресурса.

Как отмечают исследования, стойкость футеровок высокотемпературных агрегатов в значительной степени зависит от воздействия температур и химического действия агрессивных сред. Кроме этого на продолжительность рабочей кампании работы высокотемпературного агрегата оказывают влияние следующие факторы: условия проведения промежуточных ремонтов, технология загрузки (заливки) технологического материала в агрегат и др. Задачами исследования для оценки остаточного ресурса является отбор факторов эксплуатации в значительной степени влияющих на продолжительность работы футеровки и численная оценка степени воздействия этих факторов [1].

Существующие качественные и количественные способы, применяемые в настоящее время для оценки остаточного ресурса высокотемпературных агрегатов по условиям надёжности работы футеровки, в основном, позволяют производить оценку на основании статистических данных работы агрегата за предыдущий период [2, 3]. Полученные таким образом данные, не дают объективной картины текущего состояния агрегата при его эксплуатации, и в большей степени подходят для оценки ресурса агрегата на стадии проектирования.

Разработан также ряд способов, позволяющих учитывать текущее состояние высокотемпературного агрегата при измерении его параметров в режиме on-line [4, 5]. Недостатком таких способов при определении остаточного ресурса является учёт влияния только одного фактора эксплуатации, например, температурных напряжений в футеровке при разогреве или охлаждении [6].

Следовательно, необходимо разработать способ оценки остаточного ресурса работы высокотемпературных агрегатов на основе статистических данных, с учётом фактического влияния факторов эксплуатации [7].

В последнее время в мировой промышленности, в связи с увеличением объёма производства промышленной продукции, наблюдается соответствующее увеличение потребления огнеупорных материалов. Так, согласно данным бюро национальной статистики агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан за май 2023 года импорт огнеупорных изделий в Казахстан составляет 48,9 % от общего потребления [8].

Оценка остаточного ресурса футеровок высокотемпературных агрегатов позволит не только снизить расход огнеупорных материалов, сократить затраты энергии на пусковые режимы, а также тепловые потери, но и повысить безопасность обслуживающего персонала [9]. Всё это приведёт к снижению энергоёмкости продукции промышленного производства и снижению себестоимости продукции.

Материалы и методы

Исследования работы футеровок высокотемпературных агрегатов периодического действия показали ряд факторов определяющие их остаточный ресурс:

– Температура работы: высокотемпературные агрегаты работают при экстремально высоких температурах, что может приводить к деградации материалов футеровки;

– Частота циклов: периодическое действие высокотемпературных агрегатов означает, что футеровки подвергаются повторным циклам нагрева

и охлаждения. Это может привести к термическому усталости материалов и возникновению трещин;

– Нагрузки: в процессе работы высокотемпературных агрегатов на футеровки могут действовать механические нагрузки, такие как вибрации, удары и давления. Это может приводить к физическому износу материалов футеровки;

– Воздействие агрессивных сред: в процессе работы высокотемпературных агрегатов на футеровки могут оказывать воздействие коррозии, абразивных частиц или химических веществ. Это может приводить к окислению, выщелачиванию или изнашиванию материалов футеровки;

– Качество материалов и конструкция: качество материалов, из которых сделана футеровка, и ее конструкция могут существенно влиять на ее остаточный ресурс работы. Выбор правильных материалов и оптимальная конструкция футеровки могут увеличить ее долговечность;

– Условия эксплуатации: условия, в которых работает высокотемпературный агрегат, такие как влажность, вибрация, загрязнение и другие агрессивные факторы, могут оказывать влияние на остаточный ресурс работы футеровки.

Учет всех этих факторов при анализе эксплуатации высокотемпературных агрегатов и их футеровок позволит определить причины возникновения повреждений и выбрать наиболее эффективные методы обслуживания и ремонта для увеличения их *срока службы*.

Предлагаемый нами способ позволяет учесть различные условия эксплуатации и их влияние на работу оборудования или процессов. Корректирующие коэффициенты могут быть определены на основе результатов испытаний, статистических данных или экспертных оценок. Таким образом, использование корректирующих коэффициентов позволяет более точно учесть влияние факторов эксплуатации и провести более реалистичный учет при планировании и оценке работоспособности оборудования или процесса [10].

Температурные напряжения в футеровке возникают из-за разности температур между рабочей средой и футеровкой, а также из-за неоднородного распределения температур внутри агрегата.

При увеличении температуры материал футеровки расширяется, что может привести к появлению напряжений. Они могут вызвать трещины, деформацию футеровки или отслаивание ее от основы. Постепенное разрушение футеровки из-за температурных напряжений может привести к снижению ее толщины и, как следствие, к уменьшению ее ресурса.

Для оценки остаточного ресурса футеровки необходимо учитывать не только величину и распределение температур, но и другие факторы, такие как свойства материала футеровки, качество установки и эксплуатационные условия агрегата. Также важно проводить регулярное мониторинг состояния футеровки и производить ремонт или замену вовремя, чтобы предотвратить серьезные повреждения и аварии.

Корректирующий коэффициент для учета возникающих температурных напряжений можно определить по формуле:

$$\omega = \frac{\sigma_{np}(\tau_1)}{\sigma_{расч}(\tau_1)},$$

где σ_{np} – среднее значение температурных напряжений на временном интервале, где значения температурных напряжений сжатия и растяжения превышают расчётные значение, МПа;

$\sigma_{расч}$ – расчётные значения температурных напряжений сжатия и растяжения на временном интервале, МПа;

τ_1 – время (продолжительность) где значения температурных напряжений сжатия и растяжения превышают расчётные значения, ч.

На основании таблицы 1 находят значение корректирующего коэффициента для учёта возникающих температурных напряжений сжатия K1, если требуется учесть возникающие температурные напряжения при сжатии материала. Аналогично, если требуется учесть возникающие температурные напряжения при растяжении материала, находят корректирующий коэффициент для учёта возникающих температурных напряжений растяжения K1/. Например, если полученное значение величины отклонения (повышения) напряжений сжатия от расчётных ω составляет 1,7, то корректирующий коэффициент для учёта возникающих температурных напряжений сжатия K1 будет равен 1,015.

Корректирующие коэффициенты определяют отклонением параметров эксплуатации от нормативных значений по таблице 1.

Таблица 1 –Значения корректирующих коэффициентов

Факторы эксплуатации	Значение корректирующего коэффициента, при величине отклонения фактора эксплуатации от нормативного значения при отклонении фактора эксплуатации:					
	от 1,5 до 2 раз	от 2 до 2,5 раз	от 2,5 до 3 раз	от 3 до 3,5 раз	от 3,5 до 4 раз	от 4 раз и выше
Температурные напряжения при разогреве K_1 (повышение)	1,015	1,02	1,03	1,05	1,08	1,1
Температурные напряжения при охлаждении K_1' (повышение)	1,03	1,04	1,06	1,1	1,16	1,2
	от 0 до 2 %	от 2 до 4 %	от 4 до 6 %	от 6 до 8 %	от 8 до 10 %	от 10 до 12 %
Температура футеровки K_2 (повышение)	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06
Предел прочности огнеупоров на сжатие K_3 (снижение)	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06
Предел прочности огнеупоров на растяжение K_3' (снижение)	1,015	1,03	1,045	1,06	1,075	1,09

Если значение прочности огнеупоров выше нормированного, то корректирующий коэффициент будет равен единице, так как изменение прочности не требуется учитывать. Если же значение прочности ниже нормированного, то корректирующий коэффициент будет меньше единицы. По таблице 1 можно определить значение корректирующего коэффициента в зависимости от отклонения прочности от нормативного значения. Этот коэффициент учитывает влияние температуры футеровки и прочности огнеупорных материалов на общую прочность конструкции.

Например, при превышении максимальной температуры футеровки над её расчётным значением на 5 % принимается корректирующий коэффициент для учёта максимальной температуры при работе футеровки $K_2 = 1,03$.

Значение действительной скорости износа материалов футеровки \mathcal{G}_o , мм/сут, корректируют коэффициентами, учитывающими отклонения параметров эксплуатации от расчётных по следующей формуле

$$\mathcal{G}_o = \mathcal{G}_{расч} \cdot K_1 \cdot K_1' \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_3',$$

где K_1 – корректирующий коэффициент для учёта возникающих температурных напряжений сжатия;

K_1' – корректирующий коэффициент для учёта возникающих температурных напряжений растяжения;

K_2 – корректирующий коэффициент для учёта максимальной температуры при работе футеровки;

K_3 – корректирующий коэффициент для учёта использования огнеупорного материала с пределом прочности на сжатие ниже паспортных значений;

K_3' – корректирующий коэффициент для учёта использования огнеупорного материала с пределом прочности на растяжение ниже паспортных значений;

$\mathcal{G}_{расч}$ – расчётная скорость износа материалов огнеупорного слоя футеровки высокотемпературного агрегата периодического действия, мм/сут. Расчётная скорость износа принимается как средняя скорость износа материалов огнеупорного слоя футеровки данного высокотемпературного агрегата периодического действия на основе статистических данных.

Остаточный ресурс $n_{пр}$ (в сутках) с учётом общего корректирующего коэффициента факторов эксплуатации определяют по формуле

$$n_{пр} = \frac{\delta_n - \delta_{мин}}{1,1 \cdot \mathcal{G}_o},$$

где δ_n – толщина огнеупорного слоя футеровки на момент оценки остаточного ресурса, мм;

$\delta_{мин}$ – минимальная толщина огнеупорного слоя обмуровки, при которой на высокотемпературном агрегате меняется обмуровка, мм.

1,1 – коэффициент запаса для неучтенных параметров. Это означает, что в расчетах остаточного ресурса футеровки высокотемпературных агрегатов периодического действия будет учитываться дополнительное значение, равное 10% от расчетного значения. Такой подход позволяет обеспечить дополнительную безопасность и учесть возможные неучтенные влияния параметров эксплуатации на остаточный ресурс футеровки.

\mathcal{G}_o – расчет скорости износа огнеупорных материалов футеровки высокотемпературного агрегата периодического действия с учетом отклонений параметров эксплуатации от расчетных, который позволяет: определить величину каждого из отклонений (отклонения возникающих температурных напряжений, отклонения максимальной температуры при работе футеровки, отклонения предела прочности используемого огнеупорного материала ниже паспортных значений), оценить влияние каждого отклонения на скорость износа огнеупорных материалов, рассчитать скорость износа огнеупорных материалов с учетом всех отклонений. Для этого необходимо умножить величину каждого отклонения на соответствующий коэффициент, учитывающий его влияние на скорость износа. Затем полученные результаты сложить. Результатом будет скорость износа огнеупорных материалов в мм/сут.

Результаты и обсуждения

Для оценки остаточного ресурса огнеупорного слоя сталеразливочного ковша был проведен сбор исходных данных по техническому состоянию агрегата: средняя продолжительность работы (рабочая кампания) сталеразливочного ковша до капитального ремонта составляет 40 плавов (циклов); начальная толщина рабочего слоя футеровки из периклазовых кирпичей – 135 мм; минимально допустимая толщина рабочего слоя футеровки – 75 мм; скорость снижения толщины футеровки высокотемпературного агрегата – 2,86 мм/сут; количество плавов на момент оценки остаточного ресурса – 24 (за 12 суток).

Корректирующие коэффициенты:

- с учётом возникающих температурных напряжений сжатия, рассчитанных с учётом изменения теплофизических и термочностных свойств: $K_1 = 1,08$;

- с учётом возникающих температурных напряжений растяжения: $K_1' = 1,1$;

- превышение температуры в течение 25 плавов не зафиксировано: $K_2 = 1$;

- по результатам измерения предела прочности на сжатие не было зафиксировано его отклонения от паспортного значения: $K_3 = 1$;

- по результатам измерения предела прочности на растяжение зафиксировано снижение значения предела прочности периклазового

огнеупора на величину до 2 %. Значение коэффициента K_3 / принимаем равным 1,015.

Значение действительной скорости износа материалов футеровки с учётом факторов эксплуатации составит 3,45 мм/сут. Значение остаточного ресурса $n_{\text{пр}}$ составит 7,11 суток.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP19675777).

Выводы

Полученная оценка остаточного ресурса разливочного ковша согласуется с эксплуатационными данными.

На основании разработанного способа предлагается ряд технических и организационно-управленческих решений для снижения вероятности аварии в ходе дальнейшей эксплуатации и повышения экономической эффективности технологического процесса.

В качестве технических решений можно выделить следующие:

– внедрение системы мониторинга и контроля качества производства, которая позволит отслеживать и анализировать все этапы процесса производства и оперативно реагировать на возможные отклонения;

– автоматизация процесса управления запасами и снабжения в целях обеспечения постоянного наличия необходимых материалов и запасных частей для проведения ремонтов вовремя;

– использование современных систем управления оборудованием и программного обеспечения для оптимизации процесса ремонта и повышения его эффективности;

– внедрение системы трекинга и контроля за выполнением плановых ремонтных работ, что позволит следить за сроками и качеством проведения работ, а также предотвращать возможные проблемы и задержки;

– применение новых технологий и методов ремонта, которые позволят сократить время и затраты на ремонтную деятельность и повысить ее качество.

Организационно управленческие решения:

– использование аналитических инструментов для определения причин возникновения сбоев и отказов оборудования и разработка мероприятий по их предотвращению;

– принятие решений о проведении регулярного технического обслуживания и профилактических работ для поддержания работоспособности оборудования;

– применение методов контроля и мониторинга работы оборудования, чтобы оперативно выявлять возможные проблемы и принимать меры по их устранению;

– установление эффективных систем коммуникации и сотрудничества между различными подразделениями организации, чтобы обеспечить обмен информацией и координацию действий при управлении оборудованием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Максимей, И. В.** Разработка имитационных моделей сложных технических систем : монография / И. В. Максимей, В. С. Смородин, О.М. Демиденко; М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т имени Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2014. – 298 с.

2 **Ajala, A. J.** Impact of Sintering Temperatures on Microstructure, Porosity and Mechanical Strength of Refractory Brick / A. J. Ajala, N. A. Badarulzaman, A. B. Aramjat // **Materials Science Forum.** – 2017. – [T.888.](#) – P. 66-70

3 Туркин, И. И. Основные принципы создания сложных технических объектов с активными системами управления / И. И. Туркин, В. В. Медведев, А. А. Воршевский, И. М. Калинин // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 1. Т.3. – С. 166–173.

4 **Антошук, С. Г.** Метод нейросетевого прогнозирования изменения состояния объектов диагностики на металлургическом производстве / С. Г. Антошук, В. А. Емельянов // Электротехнические и компьютерные системы. – 2014. – № 13. – С. 70–76.

5 Знакомство с системой контроля толщины футеровки SAVEWAY. [Электронный ресурс]. – <https://on-v.com.ua/novosti/tehnologii-i-nauka/znamstvo-s-sistemoj-kontrolya-tolshhiny-futerovki-saveway/> (дата обращения: 12.08.2023).

6 Патент 2724135РФ, МПК G01N25/72. Способ определения остаточного ресурса тепловых ограждений высокотемпературных агрегатов

7 **Герасимова, А. Г., Криксина, Е. Н., Головчук, Е. А.** Оценка остаточного ресурса работы высокотемпературных элементов энергетического оборудования // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2014. – № 2. – С. 86–89.

8 Статистика внешней, взаимной торговли и товарных рынков. [Электронный ресурс]. – <https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/foreign-market/> (дата обращения: 12.08.2023).

9 **Урбанович, Е. Е., Шкулькова, И. И., Коледа, И. В.** Увеличение стойкости футеровки комбинированных сталеразливочных ковшей за счет увеличения количества промежуточных ремонтов // Литейное производство

и металлургия, 2017. Беларусь: сборник трудов 25-й Международной научно-технической конференции, Минск, 18–19 октября / под общ. ред. Е. И. Маруковича. - Минск: БНТУ, 2017. – С. 186–188.

10 **Никифоров, А. С., Арипова, Н. М., Приходько, Е. В., Кинжибекова, А. К., Карманов, А. Е.** Способ определения остаточного ресурса футеровок высокотемпературных агрегатов периодического действия. Патент № 36293 Республика Казахстан, МПК G01N 25/00 опубл. 14.07.2023, бюл. № 28.

REFERENCES

1 **Maksimei, I. V.** Razrabotka imitacionnyh modelei slozhnyh tehniceskikh system: monografiya [Development of simulation models of complex technical systems: monograph]/ I.V. Maksimei, V.S. Smorodin, O.M. Demidenko; M-vo obrazovania RB, Gomelsky gos. un-t imeni F. Skoriny. – Gomel: GGU im. F. Skoriny, 2014. – 298 p.

2 **Ajala, A. J.** Impact of Sintering Temperatures on Microstructure, Porosity and Mechanical Strength of Refractory Brick / A. J. Ajala, N. A. Badarulzaman, A. B. Aranjat //Materials Science Forum. – 2017. – [T.888.](#) – P. 66-70

3 **Turkin, I. I.** Osnovnye principy sozdanya slozhnyh tehniceskikh obyektov s aktivnymi sistemami upravleniya [Basic principles of creating complex technical objects with active control systems]/ I.I. Turkin, V. V. Medvedev, A.A. Vorshevskii, I.M. Kalinin // Marine intelligent technologies. – 2019. –№ 1. T. 3. – P. 166–173.

4 **Antoshuk, S. G.** Metod neirosetevogo prognozirovanya izmenenya sostoianyia obyektov diagnostiki na metallurgicheskom proizvodstve [The method of neural network forecasting of changes in the state of diagnostic objects in metallurgical production] / S. G Antoshuk, V. A. Emelyanov // Electrical and computer systems. – 2014. – № 13. – P. 70–76.

5 Znakomstvo s sistemoi kontrolya tolshiny futerovki SAVEWAY [Introduction to the lining thickness control system SAVEWAY]. [Electronic resource]. – <https://on-v.com.ua/novosti/tehnologii-i-nauka/znakomstvo-s-sistemoy-kontrolya-tolshiny-futerovki-saveway/> (date of application: 12.08.2023).

6 Patent 2724135 RF, MPK G01N25/72. Sposob opredeleniya ostatochnogo resursa teplovyh ograzhdeniy vysokotemperaturnykh agregatov [Method for determining the residual life of thermal fences of high-temperature units]

7 **Gerasimova, A. G., Kriksina E. N., Golovchuk E. A.** Ocenka ostatochnogo resursa raboty vysokotemperaturnykh elementov energeticheskogo oborudovanya [Evaluation of the residual service life of high-temperature elements of power equipment] // Energy. News of higher educational institutions and energy associations of the CIS. – 2014. – № 2. – P. 86–89.

8 Statistika vneshnei, vzaimnoi torgovli i tovarnyh rynkov [Statistics of foreign, mutual trade and commodity markets], [Electronic resource]. – <https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/foreign-market/> (date of application: 12.08.2023).

9 **Urbanovich, E. E., Shkulkova, I.I., Koleda, I.V.** Uvelichenie stoikosti futerovki kombinirovannyh stalerazivochnyh kovshei za shet uvelichenya kolichestva promezhutochnykh remontov [Increasing the durability of the lining of combined steel filling buckets by increasing the number of intermediate repairs] // Foundry and metallurgy, 2017. Belarus: sbornik trudov 25-i Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferencii, Minsk, 18-19 oktyabrya / pod obsh. red. E. I. Marukovicha. - Minsk: BNTU, 2017. - P. 186-188.

10 **Nikiforov, A. S., Aripova N. M., Prikhodko, E. V., Kinzhibekova, A. K., Karmanov, A. E.** Sposob opredeleniya ostatochnogo resursa futerovok vysokotemperaturnykh agregatov periodicheskogo deistviya [Method for determining the residual life of linings of high-temperature units of periodic action]. Patent № 36293 Respublika Kazakhstan, MPK G01N 25/00 publ. 14.07.2023, byl. № 28.

Принято к изданию 18.09.23.

**Е. В. Приходько¹, А. С. Никифоров², Н. М. Арипова³,
А. К. Кинжибекова⁴, А. Е. Карманов⁵*

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫ ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ ҚАЛДЫҚ РЕСУРСЫН БАҒАЛАУ

Негізгі мақалада футеровка жұмысының жұмыс науқанының ұзақтығына байланысты мерзімді әсер ететін жоғары температуралы қондырғылардың қалдық ресурсын бағалау әдісі қарастырылады. Жоғары температуралы қондырғылардың жұмысын талдау көрсеткендей, жоғары температуралы қондырғының жөндеуге дейінгі қызмет ету мерзімі көбінесе футеровканың жұмыс уақытымен анықталады. Бұл электр догалы пештерге, құю және аралық шөміштерге және басқа да бірқатар қондырғыларға қатысты.

Ұсынылған әдіс келесі жұмыс факторларының футеровка жұмысының қалдық ресурсына әсерін ескереді: пайда болатын температура кернеулері (қысу және созылу), футеровканың

максималды температурасы, сондай – ақ отқа төзімді материал сапасының көрсеткіші-беріктік шегі (қысу және созылу).

Пайдалану факторларын есепке алу пайдалану параметрлерінің нормативтік мәннен ауытқу шамасына байланысты түзету коэффициенттерінің көмегімен жүргізіледі.

Футеровкадағы температуралық кернеулер қалдық ресурсты бағалау кезінде шешуші шарт болып табылады, өйткені температуралық кернеулердің әсерінен төсемнің қалыңдығының төмендеуі жоғары температуралы қондырғыларды жөндеуге шығарудың ең көп тараған себебі болып табылады.

Күю шөмішінің қалдық ресурсының алынған бағасы пайдалану деректеріне сәйкес келеді.

Әзірленген әдіс негізінде одан әрі пайдалану барысында апат ықтималдығын азайту және технологиялық процестің экономикалық тиімділігін арттыру үшін бірқатар техникалық және ұйымдастырушылық-басқарушылық шешімдер ұсынылады.

Кілтті сөздер: қалдық ресурс, жоғары температуралы қондырғылар, жұмыс факторлары, футеровка, температура кернеулері.

*E. V. Prikhodko¹, A. S. Nikiforov², N. M. Aripova³,

A. K. Kinzhibekova⁴, A. E. Karmanov⁵

^{1,2,3,4,5}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Accepted for publication on 18.09.23

EVALUATION OF THE RESIDUAL LIFE OF LININGS OF HIGH-TEMPERATURE UNITS

This article discusses a method for estimating the residual life of high-temperature periodic aggregates, depending on the duration of the lining's working campaign. An analysis of the operation of high-temperature units shows that the service life of a high-temperature unit before repair is largely determined by the duration of the lining. This is true for electric arc furnaces, filling and intermediate ladles and a number of other units.

The proposed method takes into account the influence of the following operational factors on the residual life of the lining: the resulting temperature stresses (compression and stretching), the maximum temperature of the lining, as well as the quality index of the refractory material – the tensile strength (compression and stretching).

The factors of operation are taken into account using correction coefficients, which depend on the magnitude of the deviation of the operating parameters from the standard value.

Temperature stresses in the lining are the determining condition when assessing the residual life, since a decrease in the thickness of the lining due to the action of temperature stresses is the most common reason for the withdrawal of high-temperature units for repair.

The obtained estimate of the residual life of the filling bucket is consistent with the operational data.

Based on the developed method, a number of technical and organizational and managerial solutions are proposed to reduce the probability of an accident during further operation and increase the economic efficiency of the technological process.

Keywords: residual resource, high-temperature aggregates, operating factors, lining, temperature stresses.

Теруге 18.09.2023 ж. жіберілді. Басуға 29.09.2023 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4140

Сдано в набор 18.09.2023 г. Подписано в печать 29.09.2023 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4140

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz