

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

СОДЕРЖАНИЕ

А. Д. Адамова, Ж.О. Оралбекова, М.Г. Жартыбаева, Н. Узаккызы Исследование метода помехоустойчивого кодирования информации - турбо-кодов.....	10
А. С. Аканова, Н. Н. Оспанова, А. С. Казанбаева, Г. А. Анарбекова, С. Е. Шарипова Методы прогнозирования в машинном обучении: обзор и сравнение	20
К. М. Акишев, А. Д. Тулегулов, М. Байжарикова, В. И. Карпов, Р. Аяп Оценка эффективности организации автоматизированной системы управления резервным энергоснабжением майнинговой фермы	33
Ж. С. Алимова О методах выявления скрытых взаимосвязей в данных Белсенді фазаланған антенна торының	50
А. А. Бектасова, А. К. Ашимова, К. Б. Шакенов, Е. А. Сарсенбаев Перспективы развития и анализ ветроэнергетического оборудования	61
Ж. Ш. Бермагамбетов, А. И. Огаркова, А. Б. Утегулов, И. В. Кошкин Внедрение системы генерации для повышения энергоэффективности собственных нужд котельных малой и средней мощности Костанайской области	76
У. Қ. Жалмагамбетова, А. М. Казамбаев, Н. Ж. Жуспекова Автономное энергоснабжение на твердом топливе и биогазе.....	92
М. Г. Жумагулов, А. А. Баубек, А. М. Грибков, С. А. Глазырин, М. В. Долгов. Краткий обзор сжигания отработанного масла в горелочных устройствах	103
Д. Д. Исабеков, В. П. Марковский Альтернативная токовая защита электродвигателей	117
Т. Б. Керибаева, К. Алибеккызы, К. Т. Кошекеев, А. Т. Байдилдина, метод моделирования интегрированных групп бпла	128
Е. Н. Колесников, Н. Ш. Жуматаев, А. Н. Новожилов, Д. М. Рахимбердинова4, Т. А. Новожилов Магнитный преобразователь тока с двумя магнитопроводами	144
Н. Ю. Колесниченко, С. Ф. Крутоус Исследование явления феррорезонанса	154
Г. Б. Курманбаев, И. У. Махамбаева, Г. Н. Камалова, Н. Г. Бекзулда Перспектива развития солнечных электрических	

станций в Кызылординской области Республики Казахстан	165
Р. Т. Касым, З. М. Әмірбекова, Т. Г. Сериков, А. С. Толегенова, А. А. Тленшиева Модель оптимизации сверхширокополосной многоантенной беспроводной передачи данных между интерфейсами	177
А. В. Мануковский, А. Б. Сагындык, О. М. Талипов Разработка помехоустойчивого радиоканала Для организации мониторинга работы электростанции «зеленой энергетики»	187
Е. А. Мартыненко, Н. К. Ердыбаева, А. С. Акаев, М. К. Бекмулдин, А. А. Туркач Компьютерное моделирование распределения температуры твс реактора ивг.1М	199
Б. Е. Машрапов, А. С. Барукин, А. Ж. Динмуханбетова3, Р. М. Машрапова, Д. Ә. Әмірбек Измерительные органы на герконах для релейной защиты линий электропередач.....	212
О. Д. Меирбекова, Н. Т. Рустамов, А. Н. Бергузинов, А. Г. Калтаев Создание системы распределенной генерации, работающей на базе газотурбинного двигателя.....	224
А.К.Мергалимова, С.Б. Ыбрай, А. В.Атыкшева, Б.Т.Бахтияр. Чистая угольная технология для растопки котлов	244
А. Д. Мехтиева, Т. С. Герасименко, Е. Ж. Сарсикеев Экспериментальные исследования влияния магнитных и электромагнитных полей на жесткость воды	256
А. Б. Мименбаева, А. Х. Нурбекова, Г. К. Бекмаганбетова, Н. Н. Никамбаева, Г. Н. Турсынғалиева Разработка моделей для прогнозирования урожайности в системе statistica	267
А. В. Нефтисов, И. М. Казамбаев, Л. Н. Кириченко, К. М. Жакупова, Д. Б. Уразаев Модель взаимодействия измеряющих преобразователей с вычислительными системами посредством технологии iiot.....	284
Е. В. Приходько, А. С. Никифоров, Н. М. Арипова, А. К. Кинжибекова, А. Е. Карманов Оценка остаточного ресурса футеровок высокотемпературных агрегатов	294
Б. К. Рахадиллов, Д. Н. Какимжанов, М. К. Даутбеков, О. В. Колисниченко Технология нанесения дуплексных покрытий на детали энергетического оборудования	307
Г. К. Сыдыкова, А. М. Айтуганова, А. Жансериковна Основные принципы построения озонметрических приборов	320

Бұл нәтижелер энергияны өндіру және бөлуді қоса алғанда, әртүрлі өнеркәсіптік жағдайларда практикалық құндылыққа ие.

Кілтті сөздер: релейлік қорғаныс, ашық архитектура, шифрлау, деректерді өңдеу, деректерді визуализациялау, заттар интернеті

*А. В. Нефтисов¹, И. М. Казамбаев², Л. Н. Кириченко³,

К. М. Жақупова⁴, Д. Б. Уразаев⁵

^{1,2,3,4,5} Astana IT University, Республика Казахстан, г. Астана

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗМЕРЯЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ ПОСРЕДСТВОМ ТЕХНОЛОГИИ ПОТ

Объектом данного исследования является модель взаимодействия между измерительными преобразователями и вычислительными системами, особое внимание уделяется ее применению в рамках промышленного Интернета вещей (IIoT) и облачных технологий. Настоятельной необходимостью, лежащей в основе этого исследования, является растущий спрос на точный и эффективный сбор, защиту и обработку данных в различных отраслях промышленности. Исследование направлено на удовлетворение этой потребности путем выяснения модели взаимодействия, которая оптимизирует измерительные вычислительные системы с помощью IIoT и облачных технологий. В результате наших исследований была разработана комплексная модель взаимодействия, которая охватывает весь процесс передачи данных. Эта модель объединяет сбор данных, аналитику, коммуникационные протоколы в режиме реального времени и безопасные методы передачи данных. Модель включает в себя структуру для сбора, передачи и анализа данных с высокой точностью и эффективностью. Значимость наших результатов заключается в способности модели решать критические задачи по сбору и обработке данных об электрической мощности, а также по мониторингу и защите от электрических неисправностей. Эти результаты имеют практическую ценность в различных промышленных условиях, включая производство, выработку и распределение энергии.

Ключевые слова: релейная защита, открытая архитектура, шифрование, обработка данных, визуализация данных, интернет вещей

МРНТИ 44.31.35

***Е. В. Приходько, А. С. Никифоров, Н. М. Арипова,
А. К. Кинжибекова, А. Е. Карманов**

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, разливочных 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 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.

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 (залитки) 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 значения, 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 проведён 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 термочувствительных 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/znakomstvo-s-sistemoy-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 tehnikeskikh 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. Aramjat // **Materials Science Forum.** – 2017. – **T.888.** – P. 66-70

3 **Turkin, I. I.** Osnovnye principy sozdanya slozhnyh tehnikeskikh 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. Т.3. – P. 166 – 173.

4 **Antoshuk, S. G.** Metod neirosetevogo prognozirovaniya izmeneniya sostoiannya 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-tolshhiny-futerovki-saveway/> (date of application: 12.08.2023).

6 Patent 2724135 RF, MPK G01N25/72. **Sposob opredeleniya ostatochnogo resursa teplovyh ogradzheniy 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 oborudovaniya [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 trgovli 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 stalerazlivochnyh kovshei za shet uvelicheniya kolichstva 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 oktybrya / 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