



**Уральский  
федеральный  
университет**  
имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

**ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»**

**Институт новых материалов и технологий**

**Кафедра «Теплофизика и информатика в металлургии»**

**VII Всероссийская научно–практическая конференция  
студентов, аспирантов и молодых учёных**

**«Теплотехника и информатика  
в образовании, науке и производстве» (ТИМ'2018)  
с международным участием**



**17–18 мая 2018 г.**

<i>Смирнов А. И., Богатова Т. Ф., Осипов П. В.</i> Анализ влияния типа топливоподачи на эффективность ПГУ–ВЦГ .....	291
<i>Смирнов Д. К., Богатова Т. Ф.</i> Газотурбинные установки открытого и замкнутого циклов .....	296
<i>Степанов Д. Н., Рыжков А. Ф.</i> Анализ перспективных методов демеркуризации синтез-газа.....	300
<i>Тимошенко С. Н., Ярошенко Ю. Г., Губинский М. В.</i> Энергоэффективные направления модернизации электродуговых печей литейного класса .....	304
<i>Томилов Н. А., Гольцев В. А.</i> Разработка конструкции газовой тигельной печи для плавки цветных металлов .....	318
<i>Торопов Е. В., Лымбина Л. Е., Ярошенко Ю. Г.</i> Адаптация радиационных свойств продуктов сгорания топлив в интервале температур 1000...2000 К .....	322
<i>Уваисова М. Г., Приходько Е. В.</i> Определение остаточного ресурса тепловых ограждений высокотемпературных агрегатов.....	328
<i>Фадеева А. А., Лошкарев Н. Б.</i> Разработка методики перевода отопления методической печи №3 НЛМК на природный газ.....	333
<i>Феокистов А. В., Морин С. В., Бедарев С. А., Казимиров С. А., Темлянец М. В.</i> Разработка комплексной детерминированной математической модели процесса плавки материалов в твердопливной низкошахтной печи .....	337
<i>Цымбал В. П., Сеченов П. А., Оленников А. А.</i> Моделирование гравитационной сепарации методом сглаженных частиц (SPH).....	342
<i>Черемискина Н. А., Лошкарев Н. Б., Лавров В. В., Спирин Н. А.</i> Исследование тепловой работы современной конструкции камерной печи барабанного типа.....	347
<i>Черных В. Н., Денисов М. А.</i> Актуализация архивных экспериментов ВНИИМТ для валидации современных методик расчета газодинамики огневых камер.....	353
<i>Шаврин Е. Г., Юрьев Б. П.</i> Расчет теплообмена в слое обжигаемых офлюсованных окатышей и параметров зоны обжига .....	357
<i>Швыдкий В. С., Куделин С. П., Носков В. Ю.</i> Математическая модель процесса обжига известняка в шахтной печи .....	362

УДК 62-533.6

**М. Г. Увансова, Е. В. Приходько**

Павлодарский государственный университет имени С.Торайгырова,  
г. Павлодар, Республика Казахстан

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТЕПЛОВЫХ ОГРАЖДЕНИЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АГРЕГАТОВ**

### **Аннотация**

*В статье приводится описание методов прогнозирования величины остаточного ресурса. Далее приводится разработанная методика определения остаточного ресурса тепловых ограждений высокотемпературных агрегатов, применимая к агрегатам периодического действия незначительно изменяющейся толщиной футеровки в процессе работы. Суть методики заключается в оценке рациональности использования агрегата в очередном цикле по значениям суммарной величины разности температур до вывода агрегата в ремонт, полученной на основании статистических данных.*

*Разработанная методика определения остаточного ресурса работы высокотемпературного оборудования по величине разности температур позволяет вести непрерывный мониторинг, как теплового состояния футеровки, так и её остаточного ресурса. При этом определяющим фактором разрушения является значение температурных напряжений, превышающих предел прочности используемого материала.*

**Ключевые слова:** надёжность, технический риск, обмуровка, остаточный ресурс, прогнозирование, методика.

### **Abstract**

*The article describes methods for predicting the value of the residual resource. The developed procedure for determining the residual life of thermal fences for high-temperature aggregates, applicable to aggregates of periodic action with slightly varying liner thickness during operation, is given below. The essence of the methodology is to evaluate the rationality of using the unit in the next cycle based on the total value of the temperature difference before the unit is taken out for repair, obtained on the basis of statistical data.*

*The developed technique for determining the residual life of high-temperature equipment by the difference in temperature allows continuous monitoring of both the thermal state of the lining and its residual life. In this case, the determining factor of failure is the value of temperature stresses exceeding the ultimate strength of the material used.*

**Key words:** reliability, technical risk, lining, residual resource, forecasting, methodology.

Теплоэнергетика – это неотъемлемая часть экономики страны, которая обеспечивает потребности населения в электрической и тепловой энергии. В теплоэнергетической отрасли не всегда есть возможность быть уверенным в количественной оценке риска, который присутствует на производстве, так как методы определения риска еще не изучены до конца.

Риски бывают внешние и внутренние. К внешним рискам относят регулировочные и рыночные риски. Но особое внимание уделяется внутренним рискам, таким как, стратегические, операционные, технологические и технические риски [1].

Внезапные отказы оборудования, сбои работы оборудования в технологических процессах, нерегулярные ремонтные работы и их профилактика – всё это

относится к техническому риску. И нашей главной задачей является его уменьшение и сведение к минимуму. Если учесть, что повсеместный износ оборудования на предприятиях постсоветского пространства может достигать до 70 %, то актуальность данного вопроса не вызывает сомнений.

Расчёт рисков тесно связан с понятием работоспособности оборудования. Необходимость определения остаточного ресурса оборудования возникает при продлении срока его службы за пределы, нормативного для безопасности его эксплуатации, а также при планировании периодичности контроля его технического состояния и ремонтов, обеспечивающей надёжность, безопасность и эффективность функционирования оборудования [2].

Для прогнозирования остаточного ресурса в зависимости от срока эксплуатации оборудования применяют два подхода. При малом сроке эксплуатации (относительно нормативного) и, следовательно, незначительной поврежденности оборудования используют только информацию о нагруженности оборудования. При сроке эксплуатации, который близок к нормативному, или значительном износе элементов оборудования, дополнительно исследуется их степень поврежденности. Преимуществом первого подхода является его меньшая трудоемкость, а преимущество второго – более достоверный прогноз и возможность определения дополнительного резерва ресурса оборудования.

В зависимости от того, какая достоверность прогноза нам необходима, и возможностей получения информации, применяют следующие методы прогнозирования: упрощенный, основанный на детерминированных моделях, и уточненный, базирующийся на вероятностных моделях.

В первом методе отклонения контролируемых параметров относят к погрешностям методов контроля, случайным помехам и при прогнозировании остаточного ресурса в расчетах их учитывают с помощью коэффициентов запасов, а во втором методе – их используют в качестве дополнительной информации, что позволяет повысить достоверность прогнозирования.

Возможность прогнозирования величины остаточного ресурса обеспечивается при одновременном наличии следующих условий [3]:

- известны параметры технического состояния, определяющие техническое состояние элементов несущих и ограждающих конструкций;
- известны критерии предельного состояния элементов конструкций;
- имеется возможность периодического (или непрерывного) контроля значений параметров технического состояния.

В рассматриваемом нами случае – разрушении футеровки (обмуровки) высокотемпературного агрегата выполняются все три условия. В качестве параметра технического состояния, определяющего разрушение обмуровки, выделим скорость изменения температуры (температурные напряжения). Другие важные факторы, влияющие на разрушение: качество применяемых материалов; конструктивные характеристики; влияние агрессивных сред и др. Влияние вышеперечисленных факторов значительно ниже температурных перепадов и их можно снизить посредством контроля (качество выполнения работ) или считать постоянными (влияние агрессивных сред).

Так как при определённых скоростях подъёма температур в материале футеровки начинают образовываться микротрещины и микроповреждения материала, то предлагаемый способ заключается в том, чтобы прогнозировать когда необходимо выводить оборудование в ремонт. Это позволит исключить внезапные отказы оборудования и аварии.

При эксплуатации футеровок высокотемпературных установок (металлургических печей, ковшей, обмуровок котлов) для оценки величины остаточного ресурса воспользуемся методом оценки остаточного ресурса приборным методом, который предполагает применение встроенных приборов, предназначенных для измерения температуры.

Для начала необходимо найти распределение температур по всей толщине слоя обмуровки. Средняя температура огнеупорного слоя и температуры точек, в которых производится расчет температурных напряжений, замеряются на работающем оборудовании. На основании этих замеров производятся расчеты фактически возникающих температурных напряжений.

Остаточный ресурс футеровок ряда высокотемпературных агрегатов, при эксплуатации которых толщина футеровки значительно не изменяется, зависит в первую очередь от значения величин температурных напряжений, превышающих допустимые, их продолжительности, а также от длин зон сжатия и растяжения, в которых температурные напряжения, превышают допустимые. Действие остальных факторов – агрессивного действия среды, качества применяемых материалов и проводимых работ, уровень вибрации и др. можно принять постоянными для данного агрегата при постоянных условиях работы. Рассмотрим высокотемпературные агрегаты периодического действия, у которых рабочая кампания состоит из нескольких циклов нагрева ограждающих конструкций.

Предлагается следующий способ оценки остаточного ресурса ограждающих конструкций высокотемпературного агрегата. Первым этапом необходимо разместить датчики температуры в огнеупорном слое при учёте ограничения по глубине установки датчиков. Количество датчиков и расстояние от внутренней поверхности выбирают исходя из эксплуатационных ограничений, связанных с возможностью аварийных ситуаций (нарушением герметичности и др.). Количество и размещение датчиков температуры будут влиять на точность расчётов. По данным температурных датчиков рассчитывают температурные поля по сечению футеровки.

Вторым этапом находят возникающие напряжения  $\sigma$  по формуле:

$$\sigma = -\frac{\alpha \cdot E}{1-\nu} \cdot (T_{cp} - T_i) \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплового расширения,  $(1/^\circ\text{C})$ ;

$T_{cp}$  – средняя температура огнеупорного слоя,  $^\circ\text{C}$ ;

$T_i$  – температура точки, в которой производится расчёт температурного напряжения,  $^\circ\text{C}$ ;

$L$  – толщина огнеупорного слоя, м.

$E$  – модуль упругости материала, МПа

$\nu$  – коэффициент Пуассона.

Для всех огнеупорных материалов существуют значения предела прочности на растяжение  $\sigma_p$  и сжатие  $\sigma_c$ . Если предел прочности материала превышен при данной скорости разогрева, то происходит растрескивание теплового ограждения и образуется микротрещина.

Первый множитель в формуле (1) можно принять постоянным. Таким образом, возникающие напряжения будут зависеть только от разности температур ( $T = T_{cp} - T_i$ ). Из этого следует, что мы можем судить о величине остаточного ресурса по одной величине  $T$ .

Первоначально, собрав статистику по значениям величины разности температур до вывода агрегата в ремонт (обозначим это суммарное значение  $\sum T$ ), можно, опираясь на это значение оценивать рациональность использования агрегата в очередном цикле. Естественно, что величину  $\sum T$  необходимо рассчитать как для зоны сжатия, так и для зоны растяжения.

Таким образом, методика прогнозирования величины остаточного ресурса тепловых ограждений высокотемпературных агрегатов заключается в следующем. На основании статистических данных производится определение величины суммарного значения  $\sum T$ , которое определяет необходимость вывода агрегата в ремонт.

Далее, после капитального ремонта агрегата с заменой футеровки, производят расчёт возникающих температурных напряжений в процессе работы высокотемпературного агрегата, например по [4]. На основании полученных данных (распределений температур) производится расчет температурных напряжений и подсчёт разности температур для данной рабочей кампании после капитального ремонта  $\sum T_1$ . В показатель  $\sum T_1$  будут входить данные по разности температур только для случаев превышения температурных напряжений над допустимыми, то есть те, которые вызывают разрушения.

Последним шагом является оценка остаточного ресурса перед очередным циклом разогрева (после  $n$  циклов). Для этого из статистических данных определяется среднее суммарное значение разностей температур за один цикл  $\sum T_{cp}$ . Условием пуска агрегата в очередной цикл будет являться следующее условие:

$$\sum T^i - n \cdot \sum T_{cp}^i \geq T_{cp}^i,$$

где левая часть неравенства и будет определять остаточный ресурс.

Схема реализации разработанной методики представлена на рисунке 1.

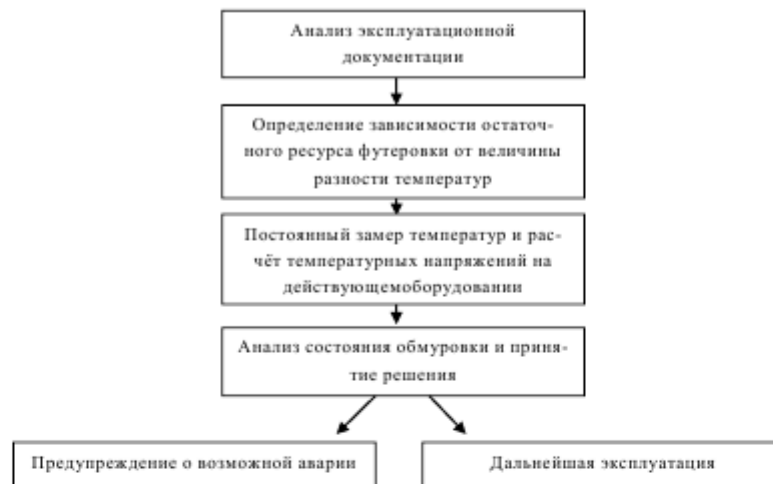


Рис. 1. Схема методики определения остаточного ресурса работы высокотемпературного оборудования

Разработанная методика определения остаточного ресурса работы высокотемпературного оборудования по величине разности температур позволяет вести непрерывный мониторинг, как теплового состояния футеровки, так и её остаточного ресурса. При этом определяющим фактором разрушения является значение температурных напряжений, превышающих предел прочности используемого материала.

#### Список использованных источников

1. Безопасность жизнедеятельности / Под ред. С.В. Белова. – М.: Высш. шк., 1999. – 448 с.
2. Медведев В.В. Применение методологии формализованной оценки безопасности при проектировании судовой энергетической установки и ее элементов. – СПб.: Реноме, 2008.
3. РД 26.260.004–91 «Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации». – М.: НИИХИММАШ, 1992. – 50 с.
4. Способ определения теплового состояния футеровки теплового агрегата: пат. 26932 Республика Казахстан: МКИ G 01 K 13/00/ А.С. Никифоров, Е.В. Приходько, А.К. Кинжибекова, Е.О. Кучер, Г.Н. Никонов; опубл. 15.05.2013, Бюл. №5. – 3 с.: ил.