



**АКТУАЛЬНЫЕ  
ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ**

УДК 621.3:620.9:62-83:697

ББК 31

А43

Редакционная коллегия:

*А. В. Косых*, ректор ОмГТУ;

*Б. Д. Женатов*, проректор по НР ОмГТУ;

*А. А. Татевосян*, декан ЭИИ ОмГТУ;

*А. В. Бубнов*, зав. каф. «Электрическая техника» ОмГТУ;

*В. Н. Горюнов*, зав. каф. «Электроснабжение  
промышленных предприятий» ОмГТУ;

*А. Г. Михайлов*, зав. каф. «Теплоэнергетика» ОмГТУ;

*П. А. Батраков*, доц. каф. «Теплоэнергетика» ОмГТУ (отв. редактор)

**Актуальные вопросы энергетики** : материалы Междунар. науч.-практ.  
А43 конф. (Россия, Омск, 17 мая 2017 г.) / Минобрнауки России, ОмГТУ ; [редкол.:  
П. А. Батраков (отв. ред.) и др.]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. – 408 с. : ил.

ISBN 978-5-8149-2453-7

Представлены результаты выполненных в вузах научно-исследовательских, опытно-конструкторских и внедренческих работ, отражающие проблемы энергоэффективности; генерации, трансформации и потребления электрической энергии; построения теплоэнергетических систем; электротехнических комплексов и систем.

Издание предназначено для научных и инженерно-технических работников, а также аспирантов и студентов технических вузов.

УДК 621.3:620.9:62-83:697

ББК 31

ISBN 978-5-8149-2453-7

© ОмГТУ, 2017



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ  
ACTUAL ISSUES OF ENERGY



<u>Д. В. Шагаров, К. В. Хацевский</u> ОмГТУ, г. Омск, Россия Анализ способов улучшения технических характеристик стабилизаторов напряжения .....	52
<u>С. В. Козлей, К. В. Хацевский</u> ОмГТУ, г. Омск, Россия Проблемы эксплуатации кабельных линий 10/0,4 кВ .....	56
<u>Л. С. Нифонтова, В. Д. Галдин, П. В. Кальницкий</u> ОмГТУ, г. Омск, Россия Влияние начальных параметров продуктов сгорания топлива и геометрии проточной части турбодетандера на место расположения скачка кристаллизации диоксида углерода .....	61
<u>В. Ю. Мирошник, Д. В. Батулько</u> ОмГТУ, г. Омск, Россия Определения места повреждения линии при однофазном замыкании на землю в сетях 6 – 35 кВ по параметрам аварийного режима.....	65
<u>М. К. Ширбаева, А. К. Кинжибекова</u> ПГУ им.С.Торайгырова, г. Павлодар, Казахстан Исследование теплофизических свойств брикетов из древесных опилок.....	69
<u>А. М. Фокин, А. И. Киселева</u> Филиал «НИУ «МЭИ» в г.Смоленске, Россия Разработка методики определения комплексного показателя качества тепловых сетей.....	73
<u>С. С. Плотников, А. Г. Михайлов, Д. В. Скворцов</u> ОмГТУ, г. Омск, Россия Современные теплотехнические измерительные приборы.....	78
<u>А. К. Кинжибекова, А. Ж. Алеева</u> ПГУ им. С. Торайгырова, г. Павлодар, Казахстан Исследование теплофизических характеристик брикетов из лузги подсолнуха .....	82
<u>Е. А. Шибанов, Д. В. Рысев</u> ОмГТУ, г. Омск, Россия Модернизация системы управления ветроэнергетической установкой .....	87
<u>Д. С. Осипов, Д. В. Коваленко, Б. Ю. Киселев</u> ОмГТУ, г. Омск, Россия Применение дискретного и пакетного вейвлет-преобразования для частотной декомпозиции сигналов в нестационарных режимах.....	90
<u>А. С. Никифоров<sup>1</sup>, Е. В. Приходько<sup>1</sup>, А. Е. Карманов<sup>2</sup>, А. Т. Кажобаева<sup>1</sup></u> <sup>1</sup> ПГУ им.С.Торайгырова, г. Павлодар Казахстан <sup>2</sup> АУЭС, г. Алмата, Казахстан Методика определения надёжности работы высокотемпературного оборудования по величине остаточного ресурса .....	100



УДК 62-533.6

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ РАБОТЫ  
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ПО ВЕЛИЧИНЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

А. С. Никифоров<sup>1</sup>, Е. В. Приходько<sup>1</sup>, А. Е. Карманов<sup>2</sup>, А. Т. Кажыбаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Павлодарский государственный университет им.С.Торайгырова,  
г. Павлодар, Казахстан

<sup>2</sup>Алматинский университет энергетики и связи, г. Алмата, Казахстан

*Аннотация* – В статье приводится описание существующих методик по оценке технического риска для высокотемпературных агрегатов; приведены их основные недостатки. На основе разработанного способа контроля теплового состояния обмуровки разработана методика определения надёжности работы высокотемпературного оборудования по величине остаточного ресурса. Разработанная методика определения надёжности работы высокотемпературного оборудования по величине остаточного ресурса позволяет вести непрерывный мониторинг, как теплового состояния обмуровки (футеровки), так и её остаточного ресурса.

*Ключевые слова* – надёжность, технический риск, обмуровка, остаточный ресурс.

#### I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вопросам оценки технического риска при работе высокотемпературных агрегатов уделяется значительное внимание. Анализ и расчёт технических рисков является обязательной составляющей при составлении декларации промышленной безопасности, разработке специальных технических условий, а также при обосновании опасности опасного производственного объекта. На предприятиях вводятся: анализ рисков на рабочих местах; оценка рисков в системе менеджмента охраны труда и др.

#### II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Таким образом, вопросам анализа рисков в последнее время уделяется большое внимание и выбор соответствующей методики и проведения корректного анализа (расчёта) технического риска – важная, и как мы дальше покажем, непростая задача.

#### III. ТЕОРИЯ

В настоящее время применяются следующие методы оценки риска. Качественный метод основан на оценке, которую выполняет группа специалистов. Методов качественного анализа достаточно много: чек-лист; что будет, если; HAZOP и т.д. Если провести анализ всех методик качественного анализа, то можно резюмировать – группа специалистов, ознакомившись с техническими условиями эксплуатации (или предполагаемой эксплуатации – для проектируемых объектов) должна дать оценку вероятности риска возникновения аварий, определить мероприятия по их недопущению, а также приоритет предлагаемых мероприятий. Для градации риска обычно используют от трёх до пяти оценок; при использовании трёхоценочной шкалы – риск неприемлемый, серьезный или незначительный. В качестве критерия данного метода можно выделить несколько важных моментов. Во-первых, субъективность в принятии решений. При подобных анализах рисков в качестве специалистов для работы в группе часто привлекают специалистов того же предприятия, которые



полностью знакомы с производством. Но при этом эти люди зависимы от руководства предприятия и высказывают своё мнение с учётом сокращения финансирования на техническое перевооружение, планов ремонтов и др. Это является недопустимым при оценке рисков, так как подобные «субъективные» результаты не отражают производственные реалии.

*Полуквантитативный метод* предполагает определение отдельных числовых значений вероятности последствий аварии. Одним из наиболее часто используемых способов определения величины рисков высокотемпературных установок является матричный способ. При его использовании риск может определяться как произведением вероятности события и размера ущерба. Вероятность события, как правило, принимается на основании статистических данных этого же предприятия. Недостатками методики является – отсутствие учёта износа оборудования, специфики его работы, а также возможности применения некорректных цифр для вновь установленного нестандартного оборудования, вследствие отсутствия статистики.

*Количественный метод* расчёта рисков предполагает проведение расчётов для различных сценариев возникновения аварии и сравнение полученных цифровых данных с допустимыми. Количественные методы анализа рисков также имеют значительную долю субъективизма их исполнителей. В литературе приводится множество примеров по расчётам рисков одной аварии с различными результатами. При этом результаты могут отличаться на 3 – 4 порядка. Приведём пример – ошибка оператора (работника). В соответствии с ГОСТ 12.1.004-91 эту величину можно принять равной  $1,52 \cdot 10^{-3}$ . При этом, если углубиться в данный вопрос, то можно найти целую градацию на ошибки оператора, зависящие от: возраста, выполняемой работы, величины стресса и др. Литература [1] предполагает что данную величину, в зависимости от упомянутых факторов можно взять в пределах от  $1 \cdot 10^{-4}$  до 1. А это лишь является малой составной частью значительного расчёта риска, в котором подобных значений может быть несколько десятков.

Расчёт рисков тесно связан с понятием работоспособности оборудования. При определении работоспособности оборудования для прогноза уровня безопасности часто используется метод имитационного моделирования. Такие работы включают, например, прогнозирование остаточной долговечности деталей судовых энергетических установок по критерию износа [2]. Использование имитационного моделирования позволяет перейти от детерминированного прогноза остаточного ресурса к вероятностной его оценке, что является исходной информацией для принятия мотивированных решений для повышения надёжности и безопасности судовых дизелей за счет обоснованного назначения сроков и режимов эксплуатации.

Таким образом, при применении этой методики устраняется недостаток, присущий количественным методам оценки – использование в расчётах рисков не цифр из справочников (статистики), а значений остаточной долговечности деталей, рассчитанных по критериям износа, усталостной прочности и др.

#### IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

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 обмуровки (футеровки) 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).

При эксплуатации обмуровок (футеровок) высокотемпературных установок (металлургических печей, кошей, обмуровок котлов) фактически действующие нагрузки и напряжения отличаются от расчетных. Для оценки величины остаточного ресурса воспользуемся методом оценки остаточного ресурса приборными методами, который предполагает применение встроенных приборов, предназначенных для оценки остаточного ресурса. То есть, приборы производят замеры температур, на основании которых производятся расчёты фактически возникающих температурных напряжений.

#### V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, на основании статистических данных производится построение зависимости остаточного ресурса обмуровки (футеровки) от величины температурных напряжений и их количества, превышающего допустимые.

Далее, по разработанной методике, производят расчёт возникающих температурных напряжений в процессе работы высокотемпературного агрегата [4].

В процессе кладки футеровки тепловых агрегатов в футеровку устанавливают датчики температуры на заданные расстояния от её внутренней поверхности. С момента начала разогрева теплового агрегата ( $t_0$ ) ведут отсчёт времени разогрева. Для расчётов определяют шаг по координате  $\Delta y$ , то есть расстояние между двумя ближайшими точками футеровки теплового агрегата, в которых будут определять температуры.

Для чего геометрически делят футеровку стены по толщине на такое количество равных участков, чтобы точки замера температур датчиками 3 и 4 попадали на границы участков между двумя ближайшими точками шага по координате (рис. 1).

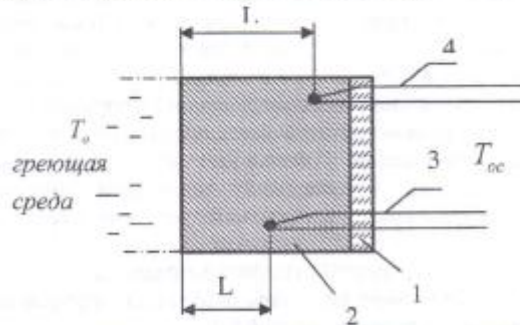


Рис. 1. Схема замера температур в обмуровке (футеровке)

Затем определяют шаг по времени  $\Delta t$ , то есть промежуток времени, через который будут определять температуры по сечению футеровки в выбранных точках.



Для определения температурных полей футеровки промышленного агрегата в момент времени  $\tau_1$  в процессе нестационарной теплопроводности снимают показания температуры датчиками температуры 3 и 4 ( $T_3$  и  $T_4$  соответственно).

Для дальнейших расчётов принимают, что температура по сечению футеровки перед процессом нагрева одинакова во всех точках и равна температуре окружающей среды.

Далее задаются первоначально температурой греющей среды  $T_0$ . Первоначальное значение этой температуры принимают минимальным из возможных (при данных условиях нагрева). Затем производят расчёт значений температур по сечению футеровки теплового агрегата для момента времени  $\tau_1$  по любой разностной схеме.

Если в рассматриваемый момент времени рассчитываемая температура в точке на расстоянии  $L_1$  от внутренней поверхности футеровки окажется равной  $T_3$  и температура в точке на расстоянии  $L_2$  от внутренней поверхности футеровки окажется равной  $T_4$  то расчёт прекращают. При этом полученное распределение температур по сечению футеровки будет искомым.

Если же это условие не будет выполнено, задаются другой температурой  $T_0$  и вновь повторяют расчёт.

На основании полученных данных (распределение температур) производится расчёт температурных напряжений. Затем используя зависимость остаточного ресурса обмуровки (футеровки) от величины температурных напряжений и их количества в режиме реального времени производится определение остаточного ресурса обмуровки.

#### VI. Выводы и заключение

Разработанная методика определения надёжности работы высокотемпературного оборудования по величине остаточного ресурса позволяет вести непрерывный мониторинг как теплового состояния обмуровки (футеровки) так и её остаточного ресурса. При этом определяющий фактор разрушения – температурные напряжения, превышающие предел прочности материала рассчитываются по разработанной схеме на основе численных методов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [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. – 436 с.
- [3] РД 26.260.004-91 «Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации» Изд-во НИИХИММАШ. М.: 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.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. С. Никифоров, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Теплоэнергетика», e-mail aleke4599@mail.ru  
Е. В. Приходько, к.т.н., доцент, профессор, e-mail john1380@mail.ru  
А. Е. Карманов, магистр, докторант, e-mail aman270685@mail.ru  
А. Т. Кажыбаева, магистрант, e-mail dilya\_880420@mail.ru