



**ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ
И СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ИНИЦИАТИВЫ
РАЗВИТИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА**

Омск
Издательство ОмГТУ
2011

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Омский государственный технический университет»

**ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ И СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ИНИЦИАТИВЫ
РАЗВИТИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

Материалы Международной научно-практической конференции

10 июня 2011 г.

Омск
Издательство ОмГТУ
2011

УДК 621.1
ББК 31.3
П78

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ:

- В. В. ШАЛАЙ* — ректор Омского государственного технического университета, Заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор — *председатель*;
- А. С. НЕНИШЕВ* — заведующий кафедрой «Теплоэнергетика» Омского государственного технического университета, доктор технических наук, профессор — *сопредседатель*;
- А. Г. МИХАЙЛОВ* — доцент кафедры «Теплоэнергетика» Омского государственного технического университета, кандидат технических наук;
- Т. В. НОВИКОВА* — доцент кафедры «Экономика и организация труда» Омского государственного технического университета, кандидат экономических наук.

П78 Проблемы, перспективы и стратегические инициативы развития теплоэнергетического комплекса: матер. Междунар. науч.-практ. конф. 10 июня 2011 г. / Под ред. В. В. Шалая, А. С. Ненишева, А. Г. Михайлова, Т. В. Новиковой. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2011. — 320 с.

ISBN 978-5-8149-1113-1

В материалах Международной научно-практической конференции рассматриваются проблемы и перспективы развития теплоэнергетического комплекса, формирующегося в новых социально-экономических условиях и законодательного обеспечения российской теплоэнергетики. Издание адресовано широкому кругу читателей — ученым, руководителям и специалистам организаций, студентам учебных заведений, а также всем, кого интересуют проблемы теплоэнергетики.

УДК 621.1
ББК 31.3

ISBN 978-5-8149-1113-1

© ГОУ ВПО «Омский государственный технический университет», 2011

Секция №1

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И
ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В СООТВЕТСТВИИ
С ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИЕЙ РОССИИ**

УДК 621.51

Г.С. Аверьянов, И.О. Щука

Омский государственный технический университет, г. Омск

МЕМБРАННЫЕ КОМПРЕССОРЫ

ДЛЯ СТАРТОВЫХ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В наземном оборудовании стартовых ракетных комплексов широко применяются мембранные насосы (МН) и мембранные компрессоры (МК), в которых используются жидкости или газы высокой чистоты, не допускаются потери и загрязнения их посторонними веществами при сжатии.

Наиболее широко применяются МН и МК с металлическими мембранами, совершающими упругие прогибы под действием поршневого или плунжерного привода. Достоинство поршневого и плунжерного приводов — возможность достижения больших отношений давления (до 30) в одной ступени, что обусловлено наличием развитой теплопередающей поверхности камеры сжатия (у МК) и малым мертвым пространством (у МН и МК) [1].

В МН и МК мембраны при сжатии не подвергаются одностороннему действию давления, что позволяет применять тонкие мембраны для создания высоких давлений недостатком мембранных насосов и МК является частый выход из строя мембран (низкий ресурс мембран).

Основной задачей данной работы является исследование мембранного блока с целью повышения ресурса мембраны.

МК и МН имеют со стороны масла распределительные диски, профилированные по форме мембраны в фазе полного объема всасывания. Масло к мембране подводится через отверстия равномерного расположенные по поверхности распределительного диска. Эксперименты показали, что подобное распределение отверстий приводит к возникновению гидравлического удара [1].

Для исключения возможности возникновения гидравлического удара необходимо выполнить условия одновременного заполнения всех элементарных кольцевых объемов заключенных между подложкой и мембранной. Выводится математическая модель, описывающая работу мембраны в МН компрессоре. Уравнение плоскости мембраны

$$y = a + ax, \quad (1)$$

где $a = v = 0$ в тот момент, когда мембрана расположена в горизонтальной плоскости.

Образующая поверхности распределительного диска описывается уравнением (рис.1)

**СЕКЦИЯ № 5. ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И НАГНЕТАТЕЛЬНЫЕ
МАШИНЫ**

Биялт М.А., Урьев Е.В. К вопросу надёжности сочленения роторов в валопроводе турбоагрегата 126

Биялт М.А., Урьев Е.В. Проблемы обеспечения качественной сборки роторов турбомашин и пути их решения 129

Бражникова М.А., Мирюгина О.С. Подбор комплектации мини-ТЭЦ на основе газопоршневых энергоагрегатов для снабжения различных объектов электричеством и теплом 132

Калекин В.С., Нефедченко А.Н. Двухступенчатый поршневой двигатель с самодействующими клапанами 137

Магер А.С., Рогалев А.Н., Зарянкин А.Е. Перспективы развития линейной компоновки основного оборудования ПГУ 140

**СЕКЦИЯ №6. ТЕПЛОМАССООБМЕН В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВКАХ**

Барakov А.В., Кожухов Н.Н., Козлова Ю.А. Регенерация теплоты уходящих газов 143

Белоглазов В.П., Комаров М.А., Мозжегоров А.С., Петрищев А.А., Рафальский И.В. Влияние разряжения на степень улавливания золы Экибастузского угля в пылевом бункере инерционно-вакуумного пылеуловителя 145

Голдобин Ю.М., Гальперин Л.Г., Скорик И.А., Новосёлов В.А. О радиационных характеристиках факела при выгорании полидисперсной коксовой пыли в одномерном стационарном потоке 148

Дахин С.В. Испарение водяных капель в парогенераторе турбоводородной энергоустановки 153

Кинжибекова А.К. Результаты исследования термонапряженного состояния обмуровки парового котла 154

Калекин В.С., Лебедева К.Ю. Исследование гидродинамики и тепло-массообмена в ректификационной колонне с прямоточной тарелкой 157

Лысяков А. И. Оценка температурных деформаций теплопередающих поверхностей теплообменных аппаратов 161

Михайлов А.Г., Воронцов А. Ю. Методы интенсификации конвективного теплообмена 167

Михайлов А.Г., Денисенко К.Ю., Шестаков А.И. Методы расчета теплообмена в топках котлов 172

Михайлов А.Г., Тербилов С.В. Численное моделирование течения реагирующих газов и теплообмена в топке газотрубного котла 177

Муравьев А. В. Экспериментальные исследования процесса образования отложений в каналах с кольцевыми турбулизаторами энергетических установок 179

Никифоров А.С., Приходько Е.В., Карманов А.Е. Определение теплофизических параметров огнеупорных материалов 183

Панфилов В.В. Комплексный водно-химический режим систем теплоснабжения 186

Солженикин П.А., Стогней В.Г., Бокарев Е.И. Исследование процесса конденсации в разнотемпературном канале на основе теории подобия 192

$$S = \frac{2.3wr}{\rho \varepsilon \lambda (t_n - t_w) \varepsilon^{\frac{4}{5}} u^{\frac{6}{5}}} \frac{(k\sigma)^{\frac{6}{5}}}{\varepsilon^{\frac{4}{5}} u^{\frac{6}{5}}}$$

Здесь, w – средняя скорость диспергирующей среды, м/с; r – скрытая теплота парообразования, Дж/кг; k – кинетическая энергия турбулентных пульсаций $\text{м}^2/\text{с}^2$; σ – коэффициент поверхностного натяжения диспергируемой жидкости, Н/м; ρ – плотность жидкости капли, $\text{кг}/\text{м}^3$; λ – коэффициент теплопроводности жидкости капли, Вт/(м·К); t_n – температура пара газа в конце зоны дробления, $^{\circ}\text{C}$; t_w – температура насыщения в камере испарения, $^{\circ}\text{C}$; ε – диссипация энергии турбулентности, $\text{м}^2/\text{с}^3$; u – разность пульсационных скоростей среды на расстоянии диаметра капли, м/с.

Результаты расчёта длины пути капли при испарении в зависимости от ее диаметра при следующих исходных данных: $w = 267$ м/с; $k = 100$ $\text{м}^2/\text{с}^2$; $t_n = 284,01$ $^{\circ}\text{C}$; $\varepsilon = 10^7$ $\text{м}^2/\text{с}^3$; $u = 3,2$ м/с, приведены в таблице.

Таблица 1
Зависимость длины пути капли при испарении от ее диаметра

S, м	0,000116	0,072315	0,289275	0,65085	1,125
d, мкм	1,00	25,00	50,00	75,00	100,00

Библиографический список

1. Дроздов И.Г. Моделирование гидродинамики и теплообмена высокоскоростного потока в камере испарения высокотемпературного водородного парогенератора / И.Г. Дроздов, С.В. Дахин, Н.Н. Кожухов, Д.П. Шматов, Э.Р. Огурцова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж. ГОУВПО ВГТУ, 2008. – Т. 4, № 11. – С. 114 – 119.

УДК 621.184.74

А.К. Кинжибекова

Иновационный Евразийский Университет, г. Павлодар

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБМУРОВКИ ПАРОВОГО КОТЛА

Обмуровка некоторых энергетических котлов состоит из огнеупорного и теплоизоляционного слоев, а также обмазки. Значительные колебания температурных полей в период разогрева и пуска котла являются причиной образования в конструкции трещин, через которые раскаленные агрессивные продукты сгорания попадают в огнеупорный слой и разрушают его.

Для изучения состояния обмуровки необходимо знать распределение температуры по ее толщине a , а также возникающие в связи с этим напряжения. Рассматриваемая постановка задачи основывается на двух предположениях: 1) предполагается отсутствие в уравнениях теплопроводности членов, учитывающих взаимосвязь механической и тепловой энергий, связанной с рассеиванием тепловой энергией при деформации; 2) материал ведет себя как упругое тело.

Такая постановка задачи эквивалентна следующим шести уравнениям, содержащим только компоненты напряжения (формулировка задачи в напряжениях):

$$\begin{aligned} (1+\nu)\nabla^2\sigma_{xx} + \frac{\partial^2\theta}{\partial x^2} + \alpha E \frac{1+\nu}{1-\nu}\nabla^2 T + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} &= 0; & (1+\nu)\nabla^2\sigma_{xz} + \frac{\partial^2\theta}{\partial x\partial z} + \alpha E \frac{\partial^2 T}{\partial x\partial z} &= 0; \\ (1+\nu)\nabla^2\sigma_{yy} + \frac{\partial^2\theta}{\partial y^2} + \alpha E \frac{1+\nu}{1-\nu}\nabla^2 T + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} &= 0; & (1+\nu)\nabla^2\sigma_{xy} + \frac{\partial^2\theta}{\partial x\partial y} + \alpha E \frac{\partial^2 T}{\partial x\partial y} &= 0; \\ (1+\nu)\nabla^2\sigma_{zz} + \frac{\partial^2\theta}{\partial z^2} + \alpha E \frac{1+\nu}{1-\nu}\nabla^2 T + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} &= 0; & (1+\nu)\nabla^2\sigma_{yz} + \frac{\partial^2\theta}{\partial y\partial z} + \alpha E \frac{\partial^2 T}{\partial y\partial z} &= 0, \end{aligned}$$

где $\theta = \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}$ – сумма нормальных напряжений.

Для определения напряжений в огнеупорном слое будем рассматривать обмуровку стенок топки парогенератора в виде плоской многослойной стенки. Считаем, что обмуровка свободна от поверхностных сил и температура меняется только по толщине $T = T(x, \tau)$. В этих условиях компоненты напряжения будут иметь вид: $\sigma_{yy} = \sigma_{zz} = \sigma(x)$, $\sigma_{xx} = \sigma_{xz} = \sigma_{yz} = \sigma_{xy} = 0$.

Компоненты напряжения будут удовлетворять уравнениям равновесия (с нулевыми объемными силами) и уравнениям совместности. Причем из шести уравнений совместности последние три удовлетворяются тождественно, а первые три удовлетворяются, если $\frac{d^2}{dx^2}[\sigma(x, \tau) + \frac{\alpha E}{1-\nu}T(x, \tau)] = 0$. Интегрирование дает следующий вид компонент напряжения [1]:

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma(x, \tau) = -\frac{\alpha E}{1-\nu}T(x, \tau) + C_1 + C_2 x.$$

Константы C_1 и C_2 можно выбрать исходя из того, что для любой температуры результирующая сила и результирующий момент, вызванные напряжениями σ_{yy} и σ_{zz} , были равны нулю на границе стенки, т.е.

$$\int_0^{\delta} \sigma(x, \tau) dx = \int_0^{\delta} \sigma(x, \tau) \cdot x dx = 0.$$

В итоге найденное таким образом решение имеет вид:

$$\sigma(x, \tau) = \frac{\alpha E}{1-\nu} \left[\frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} T(x, \tau) dx + \frac{3(x - \delta/2)}{\delta^3} \int_0^{\delta} T(x, \tau) x dx - T(x, \tau) \right]$$

С учетом того, что вес обмуровки достаточно большой и имеются стыковые соединения, в огнеупоре возникают значительно большие напряжения, чем при свободном состоянии. Поэтому:

$$\sigma(x, \tau) = \frac{\alpha \cdot E}{1 - \nu} \left[\frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} T(x, \tau) dx - T(x, \tau) \right] \quad (1)$$

В нашем случае температурное поле будет определяться по найденным экспериментально температурам внутренней поверхности обмуровки котла. Для определения входящего в решение интеграла воспользуемся методом Симпсона с использованием квадратичной интерполяции [3]. Определенный интеграл будем вычислять по формуле:

$$\int_0^{\delta} T(x, \tau) dx \approx \frac{\Delta x}{3} [T_1 + 4 \cdot (T_2 + T_4 + \dots + T_{n-1}) + 2(T_3 + T_5 + \dots + T_n) + T_{n+1}]$$

Численная модель позволит определить напряжения следующим образом

$$\sigma_i(x, \tau) = \frac{\alpha \cdot E}{1 - \nu} (W - T_i) \quad (2)$$

где $W = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} T(x, \tau) dx$ - среднеинтегральная температура, °С.

Для исследования условий работы обмуровки котла БКЗ-75-39 ФБ были проведены замеры температур ее внутренней поверхности в процессе разогрева по фронту парогенератора и его тылу на двух отметках. Результаты расчетов возникающих температурных напряжений представлен на рис. 1.

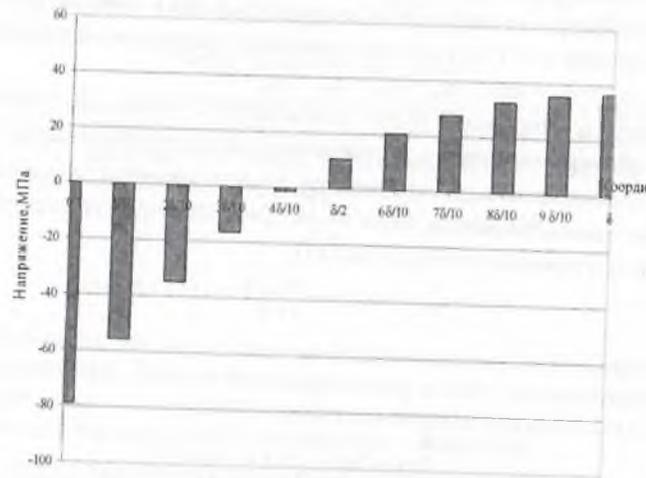


Рис. 1. Напряжения в огнеупорном слое обмуровки (момент времени 3:00)

Анализ показывает значительное превышение возникающих напряжений над допустимыми значениями. Максимальное значение напряжения сжатия больше допустимого почти в четыре раза, а напряжения растяжения – в девять раз. На рис. 2 представлены график изменения термических напряжений в огнеупорном шамотном слое в процессе разогрева котла. Максимум температурных напряжений в этом слое приходится на промежуток времени с 1:40 по 3:20.

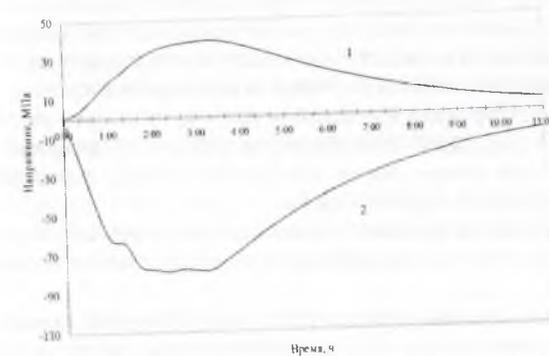


Рис. 2. Термические напряжения на внешней (1) и внутренней (2) поверхностях огнеупора

Библиографический список

1. Боли Б., Уэйнер Д. Теория температурных напряжений. – М.: Мир, 1964. – 520 с.
2. Гейтвуд Б.Е. Температурные напряжения. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1959. – 332 с.
3. Турчак Л.И. Основы численных методов: учебное пособие. – М.: Наука, 1987. – 320 с.

УДК 621.56

В.С. Калекин, К.Ю. Лебедева

Омский государственный технический университет, г. Омск

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И ТЕПЛОМАСООБМЕНА В РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЕ С ПРЯМОТОЧНОЙ ТАРЕЛКОЙ

Основным направлением технического развития в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности является создание и совершенствование колонных аппаратов, снабженных контактными массообменными устройствами различных типов и конструкций. Контактные массообменные устройства предназначены для осуществления конкретных технологических процессов, связанных с переносом компонентов перерабатываемых потоков между фазами, контактирующими в ходе реализуемого массообменного процесса.

Одной из важных задач, решаемых при разработке технологического процесса, является выбор оптимальных размеров и конструкции контактных устройств, что определяет экономичность процесса и качества разделения продук-