

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

ШМУ ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ПГУ

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

№ 2 (2018)

Павлодар

Investigation of refractory materials humidity^{1,2,3}S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.⁴Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 01.06.18.

Бұл мақалада жоғары температуралық агрегаттарды іске қосу алдындағы оқшауын кептіру режимді операциялары оны жылыту мақсатында қарастырылған. Құрылғыны дұрыс жылыту оның сенімділігі мен қызмет ету мерзімі байланысты болады. Оқшауларды қалыңдығына байланысты тез қыздыру нәтижесінде қабырғаның қызып тұрған бөліктерінен бу өтіп, қабырғаның салқындау қабатында будың конденсациясы болады. Осылайша, кептіру кезеңі кептірілетін материалдың қалыңдығына байланысты. Сонымен қатар, кептірудің кез келген сатысында судың булануы оның аумағына пропорционалды. Сондықтан материалдың қалыңдығын арттыру арқылы аймақ ұлғайтылса, онда кептіру жылдамдығы артады. Құрылғының жұмыс температурасының біртіндеп көтерілуі, қондырғының жұмыс істеу режимі мен оның жасалған материалдарының түріне байланысты.

In this article there are considered the drying regimes of refractory materials before starting operations for the purpose of heating high-temperature aggregates. The reliability and the service life of the installation depend on the correct heating of the unit. With rapid heating of the lining with a certain thickness of masonry, a situation is possible in which the steam from the heated sections, passing through the underheated places of the masonry, will cool and condense on the surface. Thus, the drying period is related to the thickness of the material to be dried. At the same time, the evaporation of water at any stage of drying of the masonry is proportional to its area. Therefore, if the area is enlarged by increasing the thickness of the material, then the drying speed accelerates. It is necessary to raise the operating temperature in the unit at such a rate that is dictated by the purpose of the installation and the type of firing materials, of which a high-temperature unit is made.

**A. S. Никифоров¹, E. В. Приходько²,
A. K. Кинзhibekova³, A. E. Карманов⁴**¹д.т.н, зав. кафедрой «Теплоэнергетика» Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;²д.т.н, профессор, кафедра «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;³д.т.н, ассоц. профессор, кафедра «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;⁴докторант, кафедра «Промышленной теплоэнергетики», Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан
e-mail: ²john1380@mail.ru**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ РАСЧЁТА
ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ФУТЕРОВКАХ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АГРЕГАТОВ**

В настоящей статье приводится описание разработанной программы для расчёта температурных напряжений, возникающих в футеровках высокотемпературных агрегатов. Исходный код программного обеспечения, разработанного в среде Delphi, написан на языке ObjectPascal, что позволяет использовать программный продукт на малоомощных персональных компьютерах и терминалах. Программа позволяет рассчитывать температурные поля в футеровки при нестационарных режимах, а также возникающие температурные напряжения. По результатам расчётов программа строит графики зависимости температуры от времени и температурных напряжений от времени. Ввод такого начального параметра, как температура внутренней поверхности футеровки может производиться автоматически (при введении скорости разогрева на участке) и вручную (для каждого момента времени), что позволяет получать рациональные графики разогрева агрегатов.

Ключевые слова: температурные напряжения, математическое моделирование, футеровка.

ВВЕДЕНИЕ

Методы моделирования широко применяются для исследования температурных полей в теплотехнологических агрегатах. Они позволяют прогнозировать тепловое состояние ВТУ, ее характеристики, определяя значения температурных полей с помощью вычислительной техники. Используя численные методы решения можно учитывать влияние различных факторов на распределение температур, тогда как определение этих параметров аналитическими методами часто создает неразрешимые трудности.

В общем случае тепловое состояние ВТУ математически описывается следующим уравнение теплопроводности [1]:

$$c'(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right) + q_v \quad (1)$$

Для дальнейшего построения математической модели тепловой работы высокотемпературных агрегатов (в нашем случае – сталеразливочный ковш) необходимо привести так называемые условия однозначности: начальные и граничные условия. В качестве граничных условий для рассматриваемых условий приняты следующие: на внутренней и внешней поверхности футеровки – граничные условия 3 рода (температура греющей среды). Начальные условия – задание температуры по сечению футеровки.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Запишем уравнение теплопроводности (1), в одномерной постановке с учётом начальных условий, следующим образом:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad 0 \leq x \leq 1 \quad (2)$$

Для решения поставленной задачи выберем неявную шеститочечную схему, являющуюся абсолютно устойчивой. Система линейных алгебраических уравнений, соответствующих неявной шеститочечной схеме решается методом прогонки [2]. Формулы для расчета прогоночных коэффициентов следующие:

$$\alpha_1 = \frac{f}{1+f}, \quad \beta_1 = \frac{(1+f) \cdot T_1^k + f \cdot T_2^k}{1+f}$$

$$\alpha_i = \frac{0,5 \cdot f}{f + 0,5 \cdot f \cdot (2 - \alpha_{i-1})},$$

$$\beta_i = \frac{0,5 \cdot f \cdot T_{i-1}^k + (1-f)T_i^k + 0,5 \cdot f \cdot T_{i+1}^k + 0,5 \cdot f \cdot \beta_{i-1}}{1 + 0,5 \cdot f \cdot (2 - \alpha_{i-1})}. \quad (3)$$

Температура правого граничного узла находится по формуле:

$$T_{n+1}^{k+1} = \frac{[1 - f \cdot (1+b)] \cdot T_{n+1}^k + f \cdot (T_n^k + 2 \cdot b \cdot T_0 + \beta_n)}{1 + f \cdot (1+b - \alpha_n)}. \quad (4)$$

После нахождения температуры в правом граничном узле, перемещаясь по сетке, справа налево, определяются значения температур по формуле:

$$T_i^{k+1} = \alpha_i \cdot T_{i+1}^{k+1} + \beta_i \quad i = 1, \dots, n. \quad (5)$$

Создание расчётного комплекса на основе математической модели тепловой работы футеровки позволит вести процесс разогрева с максимальными скоростями, возникающие температурные напряжения при которых не превышают предела прочности материалов.

Для разработки и функционирования проектируемой системы требуется операционная система семейства Windows. В качестве программного средства реализации выбрана среда разработки Embarcadero RAD Studio XE10 professional. Данная среда разработки приложений для рабочих групп позволяет быстро создавать приложения для ПК, Android и iOS.

Embarcadero RAD Studio XE10 – это комплексное решение для быстрой разработки приложений Windows, .NET, веб-приложений и приложений баз данных. RAD Studio XE поддерживает новые функции для повышения производительности приложений, оптимизации разработки и ускорения процесса создания мощных приложений Windows, .NET и веб-приложений.

Наличие широкого набора компонентов позволяет реализовать задачи хранения и обработки данных в клиент-серверных базах данных. Embarcadero RAD Studio XE10 professional позволяет разрабатывать программное обеспечение native-приложений для Windows, Mac, iOS и Android на базе единого исходного кода. Кроме того, выбранная среда разработки Delphi, имея низкие системные требования приложений, позволяет использовать

программный продукт на маломощных персональных компьютерах и терминалах.

Исходный код программного обеспечения, разработанного в среде Delphi, написан на языке ObjectPascal, основы которого преподаются в средней школе, начальных курсах колледжа и ВУЗа, что упрощает поиск разработчика в случае необходимости доработки программного обеспечения.

Вопрос автоматизации остро стоит в любой отрасли, программное обеспечение позволяет провести вычислительные и аналитические процессы, которые в большинстве случаев невозможны в выполнении человеком, за короткое время и с высокой точностью.

Программа ТЭИС позволяет провести вычисление массива температур и напряжений. Благодаря возможности подключения к СОМ-порту терминала или ПК, Разработка имеет потенциал модификации в сторону получения актуальных исходных данных напрямую с агрегата. Цикличность алгоритма вычислений позволяет анализировать его результаты и прогнозировать график изменения температуры и напряжения в определенном временном отрезке, моделируя работу агрегата. Данная модификация позволит предупредить критические границы переменных и изменить параметры работы агрегата во избежание поломки и аварийной ситуации.

Для работы с программой требуется дважды кликнуть на файл TEIS.exe. При запуске программы пользователю открывается начальное окно (рисунок 1) позволяющее ввести исходные данные в поля соответственно буквенным обозначениям.

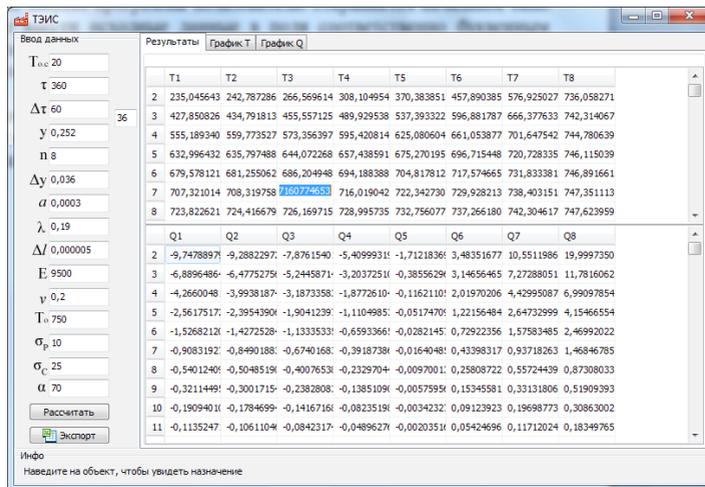


Рисунок 1 – Основное окно программы

Так же при наведении курсора на поле ввода данных, внизу окна программы появляется сообщение с описанием целевого значения переменной.

Ввод такого начального параметра, как температура внутренней поверхности футеровки может производиться автоматически (при введении скорости разогрева на участке) и вручную (для каждого момента времени), что позволяет получать рациональные графики разогрева агрегатов.

Для начала расчета необходимо кликнуть на кнопку «Рассчитать», далее программа вычисляет значения температур и напряжений по формулам (3–5) записывая результаты в таблицы.

Далее программа составляет графики температур и напряжений по данным результатам, позволяющие неограниченно приближать и отдалять график, а также сохранять как изображение на устройство.

На рисунке 2 показан пример графика роста температуры.

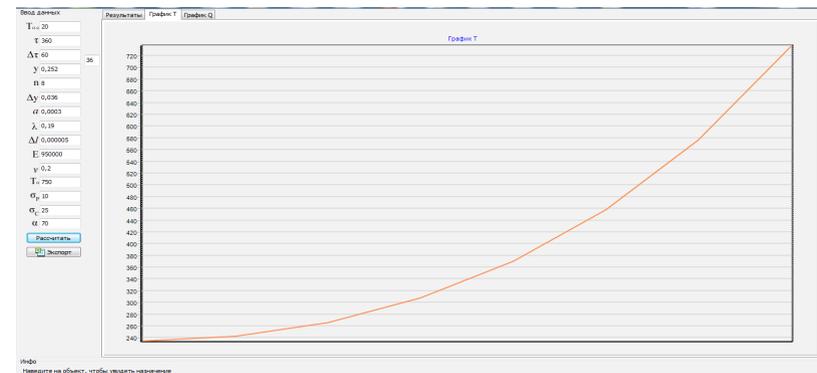


Рисунок 2 – График роста температуры в процессе разогрева

ВЫВОДЫ

Таким образом, для удобства пользования разработанной методикой была разработана блок-схема и компьютерная программа. Исходный код программного обеспечения, разработанного в среде Delphi, написан на языке ObjectPascal, что позволяет использовать программный продукт на маломощных персональных компьютерах и терминалах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Михеев, М. А., Михеева, И. М. Основы теплопередачи. – изд. 2–е, стереотип. – М. : Энергия, 1977. – 344 с.
- 2 Самарский, А. А. Теория разностных схем. – М. : Наука, 1989.

Материал поступил в редакцию 01.06.18.

A. C. Никифоров¹, E. B. Приходько², A. K. Кинжибекова³, A. E. Карманов⁴

Жоғары температуралы агрегаттардың футеровкаларындағы температуралық кернеулер есебінің бағдарламасын әзірлеу

^{1,2,3}С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

⁴Алматы Энергетика және Байланыс Университеті,

Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы.

Материал 01.06.18 баспаға түсті.

A. S. Nikiforov¹, E. V. Prihodko², A. K. Kinzhibekova³, A. E. Karmanov⁴

Development of the program for calculation of temperature voltages in lots of high-temperature units

^{1,2,3}S. Toraihyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

⁴Almaty University of Power Engineering and Telecommunications,

Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 01.06.18.

Бұл мақалада жоғары температуралы агрегаттардың футеровкаларында пайда болатын температуралық кернеулер есебі үшін әзірленген бағдарламаның сипаттамасы беріледі. Delphi ортасында әзірленген программалық жабдықтаудың бастапқы коды Object Pascal тілінде жазылған, бұл программалық өнімді төмен қуатты жеке компьютерлер мен терминалдарда пайдалануға мүмкіндік береді. Бағдарлама стационарлық емес жағдай кезіндегі футеровкадағы температуралық өрістерді, сонымен қатар пайда болатын температуралық кернеулерді есептеуге мүмкіндік береді. Есептердің нәтижесі бойынша бағдарлама температураның уақытқа және температуралық кернеулердің уақытқа тәуелділігінің графигін құрастырады. Футеровканың сыртқы бетінің температурасы сияқты бастапқы параметрдің енгізілуі автоматты түрде (үлескідегі жылыту жылдамдығын енгізу кезінде) және қолмен (әрбір уақыт моменті үшін) іске асырыла алады, бұл агрегаттарды жылытудың рационалды графиктерін алуға мүмкіндік береді.

This article describes the developed program for calculating the temperature stresses that arise in the lining of high-temperature aggregates. The source code of the software developed in the Delphi environment is written in ObjectPascal, which allows you to use the software on low-power personal computers and terminals. The program allows calculating the temperature fields in the lining under non-stationary conditions, as well as the resulting temperature stresses. Based on the results of calculations, the program builds plots of temperature versus time and temperature stresses versus time. Input of such an initial parameter as the temperature of the internal surface of the lining can be made automatically (with the introduction of the heating speed at the site) and manually (for each moment of time), which allows us to obtain rational schedules for heating the units.