

Выводы

Таким образом, предложен метод подготовки исходной выборки для расчета линейной регрессии с использованием муравьиного алгоритма. Применение этого метода позволяет ускорить процесс поиска в общем массиве записей, снижающих коэффициент множественной корреляции, и исключить их при формировании исходной выборки.

Литература

1. Генкин А.Л. Моделирование и оптимизация процесса горячей прокатки полос. М., 2012. 168 с.
2. Клячкин В.Н. Модели и методы статистического контроля многопараметрического технологического процесса. М., 2011. 196 с.
3. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. Кн. 1. Производство горячекатаных листов и полос. М., 2008. 640 с.

4. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы // Математика в приложениях. 2003. №4. С. 70–75.

References

1. Genkin A.L. *Modelirovanie i optimizaciia processa gorjachei prokatki polos* [Optimization and modernization of hot strip mill rolling]. Moscow, 2012, 168 p.
2. Kliachkin V.N. *Modeli i metody statisticheskogo kontrolya mnogoparametricheskogo tehnologicheskogo processa* [Models and methods of multiparametrical statistical control of technological process]. Moscow, 2011, 196 p.
3. Kononov Ju.V. *Spravochnik prokatchika. Spravochnoe izdanie v 2-h knigah. Kniga 1. Proizvodstvo goriachekatanых listov i polos* [Reference book of rolling mill operator. Vol 1 of 2. Producing hot strips and rolls]. Moscow, 2008, 640 p.
4. Shtovba S.D. Murav'inye algoritmy [Ant colony algorithms]. *Matematika v prilozheniiah* [Useful mathematics], 2003, №4, pp. 70–75.

УДК 662. 957

Ю.В. Цымбалюк

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ С ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Проведенные автором исследования тепловых аккумуляторов с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом и высокотеплопроводными инклюзивами различной формы позволили разработать методику расчета основных параметров тепловых аккумуляторов такого типа. Произведена оценка условий применения и размещения тепловых аккумуляторов, вида и свойств фазопереходного теплоаккумулирующего материала и его режимные параметры. Задаваясь значением полезно используемого количества теплоты, получаемого в период разрядки аккумулятора, можно определить объем теплового аккумулятора. Определен объем теплового аккумулятора с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом в зависимости от различных режимных параметров, в том числе: от коэффициента теплопередачи через стенки аккумулятора, периода разрядки, коэффициента формы аккумулятора при различных значениях полезно использованного количества тепла, полученного во время разрядки. С повышением количества накопленного тепла и периода разрядки необходимый объем теплоаккумулятора возрастает, при этом большее влияние оказывает изменение количества саккумулированного тепла.

Теплоаккумулирующий материал фазового перехода, тепловой аккумулятор, плотность теплового потока, режим разрядки теплового аккумулятора, толщина образования новой фазы, высокотеплопроводные инклюзивы.

On the basis of studies of heat accumulators with phase-transitive material of high heat conductivity and inclusive of various forms we developed a method of calculation of main parameters of heat accumulators of this type. Conditions and placement of heat accumulators, the type and properties of the heat accumulating phase transitive material and its operating parameters were assessed. Assigning the value of the useful amount of heat produced during discharge of the battery, you can determine the amount of the heat accumulator. The volume of the heat accumulator with a heat storage phase-transitive material, depending on the coefficient of heat transfer through the wall of the battery, discharge period, and the shape factor of the battery at different values of absorbed amount of heat generated during discharge were determined. With the increase in the amount of accumulated heat and discharge period the required volume of the heat accumulator increases, with more impact of the change in the amount of accumulated heat.

Heat storage material in phase transition, heat storage, the density of the heat flow, the thermal discharge accumulators, the thickness of the new phase formation, the high heat inclusive.

Введение

В современных системах автономного теплоснабжения кроме источников, работающих на традиционных видах топливных ресурсов, могут использоваться и альтернативные теплоисточники на основе солнечной и ветровой энергии [1], [2]. В то же время их использование затрудняется неравномерностью поступления, поэтому для обеспечения стабильного функционирования систем с возобновляе-

мыми источниками энергии (ВИЭ) целесообразно применение теплоаккумуляторов с теплоаккумулирующим материалом фазового перехода (ТАМФП). На рис. 1 показана установка фазопереходного теплоаккумулятора в компоновке с гелиоустановкой и теплогенератором индивидуального типа (к примеру, газовым водонагревателем). Холодная вода из бака запаса холодной воды 1, пройдя через гелиоколлектор, поступает в бак – аккумулятор теплоты с ТАМ

ФП, далее вода с температурой 45–55 °С поступает в водоразборную арматуру системы горячего водоснабжения. В случае, если интенсивность солнечного излучения недостаточна для нагева до температуры 45 °С, вода из бака-аккумулятора догревается до необходимой температуры в водоподогревателе. Солнечная энергия, накопленная в теплоаккумуляторе, позволяет в 1,5–2,0 раза сократить расход газа на систему горячего водоснабжения.

Применение теплоаккумулирующих материалов фазового перехода обеспечивает большую объемную плотность аккумулируемой энергии и позволяет существенно уменьшить массу и объем теплоаккумуляторов. Проведенные автором исследования тепловых аккумуляторов с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом и высокотеплопроводными инклюзивами различной формы позволили разработать методику расчета основных параметров тепловых аккумуляторов такого типа. Произведена оценка условий применения и размещения тепловых аккумуляторов, вида и свойств фазопереходного теплоаккумулирующего материала и его режимные параметры, определен объем теплового аккумулятора в зависимости от заданных значений полезно используемого количества теплоты, получаемого в период разрядки аккумулятора [3], [6].

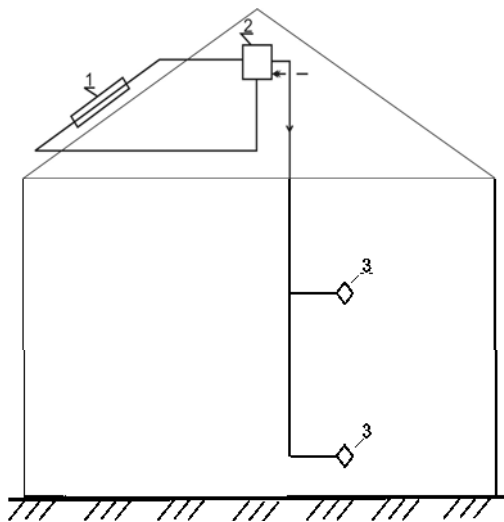


Рис. 1. Вариант установки тепловых аккумуляторов в компоновке с теплогенераторами и гелиоприставками в жилых зданиях: 1 – гелиоколлектор, 2 – аккумулятор с теплоаккумулирующим материалом фазового перехода и высокотеплопроводными инклюзивами, 3 – водоразборный прибор

Основная часть

Анализ энергоэффективности теплоаккумуляторов с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом. Для оценки энергоэффективности теплоаккумуляторов с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом может быть использован такой показатель, как энергетический КПД.

Количество теплоты, аккумулируемое при плавлении ТАМФП

$$Q_A = \rho_{\text{ж}} V_A [c_T (t_{\text{пл}} - t_1) + r + c_{\text{ж}} (t_2 - t_{\text{пл}})],$$

где V_A – объем теплоаккумулятора; t_1, t_2 – температура ТАМФП до и после зарядки.

Потери теплоты за циклы зарядки и разрядки теплоаккумулятора

$$Q_A^{\text{пот}} = k_A F_A (t_A^{\text{CP1,2}} - t_0) \tau_{3, \text{P}},$$

где k_A – коэффициент теплопередачи через стенки теплоаккумулятора $k_A \cong 1/R_{\text{ти}}^A = \lambda_{\text{ти}}^A / \delta_{\text{ти}}^A$; $t_A^{\text{CP1,2}}$ – средние за период зарядки τ_3 и период разрядки τ_{P} температуры ТАМФП; t_0 – температура окружающей среды в месте установки теплового аккумулятора.

Количество теплоты, затраченное в период зарядки

$$Q_A^{\text{зат}} = \rho_{\text{ж}} V_A [c_T (t_{\text{пл}} - t_1) + r + c_{\text{ж}} (t_2 - t_{\text{пл}})] + k_A F_A (t_A^{\text{CP1}} + t_0) \tau_3,$$

а количество теплоты, получаемое в период разрядки

$$Q_A^{\text{пол}} = \rho_{\text{ж}} V_A [c_T (t_{\text{пл}} - t_1) + r + c_{\text{ж}} (t_2 - t_{\text{пл}})] - k_A F_A (t_A^{\text{CP2}} + t_0) \tau_{\text{P}}.$$

Коэффициент полезного действия теплоаккумулятора, который выражает отношение накопленного и полезно используемого тепла, с учетом теплопотерь через ограждающие конструкции

$$\eta_A = \frac{1 - \frac{\beta_A \tau_{\text{P}} (t_{\text{пл}} + \Delta t_2^A / 2 - t_0)}{R_{\text{ти}}^A V_A^{0,33} \rho_{\text{ж}} (c_T \Delta t_1^A + r + c_{\text{ж}} \Delta t_2^A)}}{1 + \frac{\beta_A \tau_3 (t_{\text{пл}} - \Delta t_1^A / 2 - t_0)}{R_{\text{ти}}^A V_A^{0,33} \rho_{\text{ж}} (c_T \Delta t_1^A + r + c_{\text{ж}} \Delta t_2^A)}}, \quad (1)$$

где $\Delta t_1^A = t_{\text{пл}} - t_1^A$ и $\Delta t_2^A = t_2^A - t_{\text{пл}}$ – переохлаждение и перегрев; $\beta_A = F_A / V_A^{0,67}$ – коэффициент формы теплоаккумулятора.

Формула (1) применима для расчета коэффициента полезного действия теплоаккумуляторов с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом для местных тепловых энергетических комплексов и энергоустановок с альтернативными энергоисточниками [4], [5]. С ростом величины термического сопротивления $R_{\text{ти}}^A$, объема V_A и температуры t_0 КПД увеличивается, а с ростом β_A , времени зарядки τ_3 , времени разрядки τ_{P} , переохлаждения Δt_1^A и перегрева Δt_2^A – уменьшается.

В качестве примера на рис. 2 и 3 приведены результаты расчетов коэффициента полезного действия теплоаккумуляторов в соответствии с формулой (1) для типовых эксплуатационных условий: время зарядки 8 ч, время разрядки от 4 до 48 ч, термическое сопротивление тепловой изоляции от 0,1 до 3,0 м²·К/Вт, объем теплоаккумулятора от 0,1 до 100 м³. В расчетах принимаются теплофизические

свойства технического парафина (плотностью 880 кг/м^3 , с удельной теплоемкостью жидкой и твердой фазы

$c_{\text{ж}} = 2,1 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$ и $c_{\text{т}} = 2,08 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$, теплотой фазового перехода $r = 189 \text{ кДж/кг}$, температурой плавления 60°C). Коэффициент формы теплоаккумулятора принимается равным 6 (для прямоугольного параллелепипеда с высотой, равной длине и ширине, т.е. куба), переохлаждение и перегрев теплоаккумулирующего материала принимается равным 10°C .

Как видно из рис. 2 при возрастании объема теплоаккумулятора с $0,1$ до 100 м^3 и периоде разрядки 4 ч коэффициент полезного действия теплоаккумулятора возрастает с $0,88$ до $0,99$, а при периоде разрядки 48 ч – с $0,36$ до $0,93$, т.е. в $1,5$ – $2,5$ раза.

По рис. 3 очевидно, что при возрастании объема теплоаккумулятора с $0,1$ до 100 м^3 при термическом сопротивлении тепловой изоляции $0,5 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$ коэффициент полезного действия теплоаккумулятора возрастает с $0,68$ до $0,96$, а при термическом сопро-

тивлении $3,0 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$ – от $0,94$ до $0,99$, т.е. в $1,1$ – $1,5$ раза.

Таким образом, целесообразно увеличивать термическое сопротивление тепловой изоляции, однако оптимальное значение может быть определено на основе технико-экономического расчета теплового аккумулятора с различной толщиной теплоизоляции, выполненной из различных материалов.

Теплоаккумуляторы могут иметь разную форму в зависимости от вида трансформатора возобновляемых энергоисточников, места установки теплоаккумулятора, возможностей изготовления и т.д. Формулы для расчета их основных геометрических параметров приведены в табл. 1. Минимальному значению коэффициента формы $\beta_{\text{А}}^{\text{min}}$, определяемого из условия $\frac{d\beta_{\text{А}}^{\text{min}}}{d(h/d)} = 0$, соответствует максимальное при равных прочих условиях значение КПД теплового аккумулятора $\eta_{\text{А}}^{\text{max}}$.

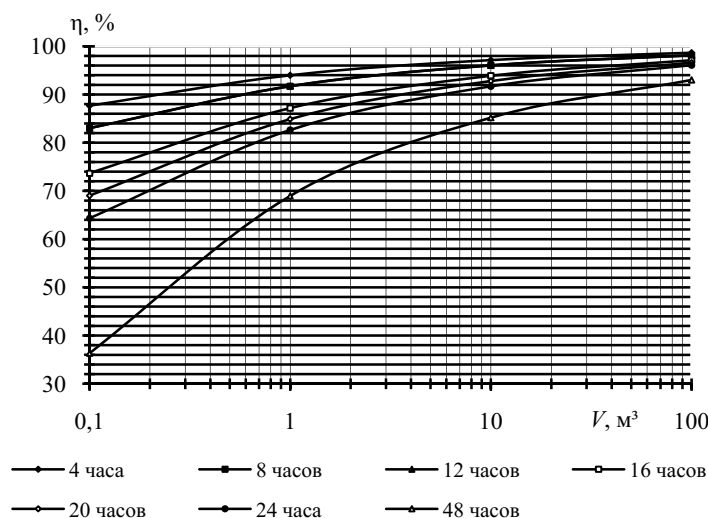


Рис. 2. Зависимость коэффициента полезного действия теплоаккумулятора от его объема $V_{\text{А}}$ и времени разрядки $t_{\text{р}}$, ч.

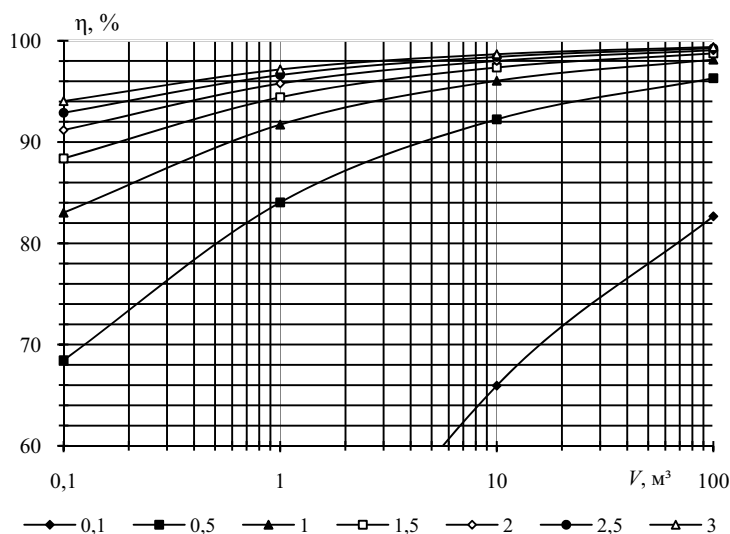


Рис. 3. Зависимость коэффициента полезного действия теплоаккумулятора от его объема $V_{\text{А}}$ и термического сопротивления тепловой изоляции $R_{\text{ти}}$, ($\text{м}^2\cdot\text{К/Вт}$)

Основные геометрические параметры теплоаккумуляторов различной конфигурации

№	Форма аккумулятора	F_A	V_A	β_A
Аккумуляторы с плоскими стенками				
1	Прямоугольный параллелепипед ($l = b = a$)	$4ah + 2a^2$	$a^2 h$	$4,00 \frac{\frac{h}{a} + 0,50}{\left(\frac{h}{a}\right)^{0,67}}$
2	Треугольная призма ($\beta = 90^\circ$)	$2 + \sqrt{2} al + a^2$	$\frac{a^2 l}{2}$	$5,42 \frac{\frac{l}{a} + 0,29}{\left(\frac{l}{a}\right)^{0,67}}$
3	Четырехугольная пирамида	$2a\sqrt{h^2 + \frac{a^2}{4}} + a^2$	$\frac{a^2 h}{3}$	$4,18 \frac{\sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 + 0,25} + 0,50}{\left(\frac{h}{a}\right)^{0,67}}$
Аккумуляторы, имеющие криволинейные стенки				
4	Цилиндр	$\pi d h + \frac{\pi d^2}{2}$	$\frac{\pi d^2 h}{4}$	$3,70 \frac{\frac{h}{d} + 0,50}{\left(\frac{h}{d}\right)^{0,67}}$
5	Цилиндр с полусферической крышкой и коническим днищем	$\pi d h + \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{2}\right) \frac{\pi d^2}{2}$	$\frac{\pi d^2 h}{3} + \frac{\pi d^3}{12}$	$1,46 \frac{\frac{h}{d} + 0,85}{\left[0,33\left(\frac{h}{d}\right) + 0,08\right]^{0,67}}$
6	Труба в трубе	$\pi d l + \frac{\pi d^2}{2}$	$\frac{\pi (d - d_0)^2 l}{4}$	$3,70 \frac{\frac{l}{d} + 0,50}{\left\{1 - \left(\frac{d_0}{d}\right)^2\right\} \left(\frac{l}{d}\right)^{0,67}}$

Используя отношения между объемом и геометрическими параметрами из табл. 1, можно определить основные линейные размеры h, d, l, a теплового аккумулятора (желательно при их оптимальном соотношении при $\beta_A^{\min}$).

В качестве примера на рис. 4 и 5 показаны зависимости коэффициента формы теплоаккумуляторов разной формы от отношения основных геометрических размеров.

Как видно из рис. 3, для теплоаккумуляторов с плоскими стенками коэффициент формы изменяется от 5,5 до 10,9, т.е. практически в 2 раза. Причем минимальное значение этого коэффициента 5,5 соответствует аккумулятору в форме пирамиды, для параллелепипеда минимум 6,0, для аккумулятора призматической формы 6,8, что говорит о том, что более эффективно применение аккумулятора в форме пирамиды.

Как видно из рис. 5, для теплоаккумуляторов цилиндрической формы коэффициент формы изменяется от 4,9 до 8,2, т.е. в 1,7 раз. Минимальное значение этого коэффициента 4,9 соответствует цилиндру с полусферической крышкой и коническим днищем, для цилиндра минимум 5,6, для аккумулятора формы труба в трубе 6,0.

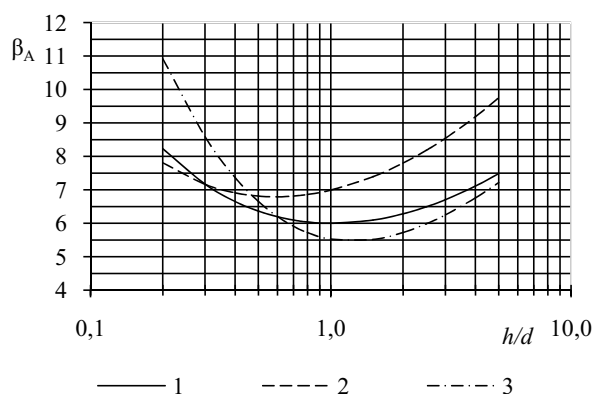


Рис. 4. Значения коэффициента формы теплоаккумуляторов с плоскими стенками в зависимости от отношения основных геометрических размеров: 1 — прямоугольный параллелепипед; 2 — треугольная призма; 3 — четырехугольная пирамида

Для аккумуляторов любой из форм получается, что наименьшее значение коэффициента формы соответствует отношению основных геометрических параметров, равному 1 (для большинства, за исключением аккумуляторов призматической и пирамидальной формы). Это, очевидно, связано с тем, что у

аккумуляторов призматической и пирамидальной формы площадь сечений меняется по высоте.

Расчет основных параметров теплоаккумулятора с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом и высокотеплопроводными включениями может быть произведен по алгоритму, представленному в табл. 2.

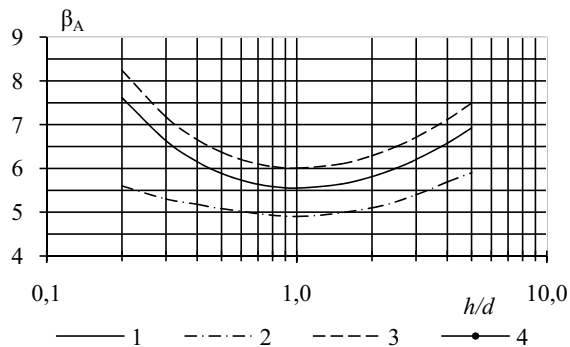


Рис. 5. Значения коэффициента формы аккумуляторов с криволинейными стенками в зависимости от соотношения основных геометрических размеров: 1 – цилиндр; 2 – цилиндр с полусферической крышкой и коническим днищем; 3 – труба в трубе

Таблица 2

Расчет основных параметров теплоаккумулятора с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом и высокотеплопроводными включениями

Рассчитываемая величина	Обозначение	Используемая формула
Количество полезно используемого тепла	$Q_A^{\text{пол}}$	$Q_A^{\text{пол}} = Q_A^{\text{сут}}$
Коэффициент эффективности применения инклюзивов	$k_{\text{ЭИ}}$	$k_{\text{ЭИ}} = 1 + 4\phi_{\text{И}} \text{Fo}_{\text{И}}^{0,50} \text{Ko}^{-0,50} \times \left(\frac{c_{\text{И}}}{c}\right)^{0,50} \left(\frac{\rho_{\text{И}}}{\rho}\right)^{0,50} \left(\frac{\delta_{\text{И}}}{b_{\text{И}}}\right)^{0,50}$
Тепловой поток через боковые поверхности высокотеплопроводного пластинчатого инклюзива	$Q_{\text{П}}$	$Q_{\text{П}} = l_{\text{П}} \sqrt{\frac{8\lambda_{\text{Э}} \lambda_{\text{П}} \delta_{\text{П}} \Delta T^2}{b - \delta_{\text{П}}}}$
Количество ярусов высокотеплопроводного инклюзива в ТАМФП	$n_{\text{Я}}$	$n_{\text{Я}} = 8,9 \frac{h \Delta T \sqrt{\lambda_{\text{Э}} \lambda_{\text{П}}}}{Q_{\text{П}} k_{\text{ЭИ}}}$
Коэффициент формы теплоаккумулятора	β_A	$\beta_A = F_A / V_A^{0,67}$
КПД теплоаккумулятора с ТАМФП и ВИ	$\eta_{\text{ТА}}$	$\eta_{\text{ТА}} = \frac{1 - \frac{\beta_A \tau_{\text{П}} (t_{\text{П1}} + \Delta t_2^A / 2 - t_0)}{R_{\text{ТИ}}^A V_A^{0,33} \rho_{\text{Ж}} (c_{\text{Т}} \Delta t_1^A + r + c_{\text{Ж}} \Delta t_2^A)}}{1 + \frac{\beta_A \tau_{\text{Э}} (t_{\text{П1}} - \Delta t_1^A / 2 - t_0)}{R_{\text{ТИ}}^A V_A^{0,33} \rho_{\text{Ж}} (c_{\text{Т}} \Delta t_1^A + r + c_{\text{Ж}} \Delta t_2^A)}}$

Выводы

В заключении необходимо отметить, что анализ энергетической эффективности теплоаккумуляторов с фазопереходными теплоаккумулирующими материалами позволяет сделать нижеследующие выводы.

Наибольшее влияние на коэффициент полезного действия теплоаккумулятора оказывают: объем теплоаккумулятора, период зарядки и разрядки, термическое сопротивление. Наибольшее влияние оказывает коэффициент формы, который зависит от геометрии и отношения основных геометрических размеров. Из теплоаккумуляторов цилиндрической формы наиболее эффективными являются теплоаккумуляторы с полусферической крышкой и коническим днищем. Из теплоаккумуляторов с плоскими стенками – аккумуляторы пирамидальной формы. Геометрически оптимальным является теплоаккумулятор с наименьшим значением коэффициента формы, равным 4,9–5,5 и отношением основных размеров, равным 1.

Литература

1. Гераськин М.В., Цымбалюк Ю.В. Исследование различных видов автономных источников энергии для систем теплоснабжения // Инженерные системы и сооружения. 2013. Т. 1. С. 195.
2. Муканов Р.В., Цымбалюк Ю.В. Использование механического теплогенератора в автономных системах теплоснабжения // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2013. Т. 1. № 3 (6). С. 46–48.
3. Цымбалюк Ю.В. Автономные системы теплоснабжения многоквартирных и блокированных жилых домов с применением фазопереходных теплоаккумуляторов // Перспективы развития строительного комплекса: Материалы VIII Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. 2014. С. 59–63.
4. Цымбалюк Ю.В. Аналитическое исследование теплообмена в слоях теплоаккумулирующего материала фазопереходных тепловых аккумуляторов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2015. № 1 (11). С. 56–62.
5. Цымбалюк Ю.В., Гераськин М.В. Основы расчета фазопереходных тепловых аккумуляторов для автономной системы теплоснабжения многоквартирных и блокированных жилых домов // Инженерные системы и сооружения. 2014. Т. 2. № 4 (17). С. 71–75.
6. Цымбалюк Ю.В., Плотников В.В. Схемные решения применения фазопереходных тепловых аккумуляторов в автономных системах теплоснабжения // Фундаментальные научные основы систем жизнедеятельности и информационно-строительного инжиниринга в условиях прибрежных зон: Материалы IV Международного научного форума молодых ученых, студентов и школьников. 2015. С. 107–110.

References

1. Geras'kin M.V., Tsymbaliuk Yu.V. Issledovanie razlichnykh vidov avtonomnykh istochnikov energii dlia sistem teplosnabzheniia [A Study of various types of energy sources for heating systems]. *Inzhenernye sistemy i sooruzheniia* [Engineering systems and facilities], 2013, T. 1, p. 195.
2. Mukanov R.V., Tsymbaliuk Yu.V. Ispol'zovanie

mekhanicheskogo teplogeneratora v avtonomnykh sistemakh teplosnabzheniia [The Use of mechanical heat generator in standalone heating systems]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiia* [Civil Engineering Bulletin of the Caspian], 2013, T. 1, № 3 (6), pp. 46–48.

3. Tsymbaliuk Iu.V. Avtonomnye sistemy teplosnabzheniia odnokvartirnykh i blokirovannykh zhilykh domov s primeneniem fazoperekhodnykh teploakkumulatorov [Autonomous system of heating of one-family and blocked houses with the use of heat storage phase-transitive]. *Perspektivy razvitiia stroitel'nogo kompleksa: Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, molodykh uchenykh i studentov* [Prospects of development of construction complex. Materials of the VIII International scientific and practical conference of teaching staff, young scientists and students], 2014, pp. 59–63.

4. Tsymbaliuk Iu.V. Analiticheskoe issledovanie teploobmena v sloiakh teploakkumuliruiushchego materiala fazoperekhodnykh teplovykh akkumulatorov [Analytical study of heat transfer in the heat storage layer of phase-transitive material of heat accumulators]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik*

Priaspia [Construction engineering Caspian journal of], 2015, № 1 (11), pp. 56–62.

5. Tsymbaliuk Iu.V., Geras'kin M.V. Osnovy rascheta fazoperekhodnykh teplovykh akkumulatorov dlia avtonomnoi sistemy teplosnabzheniia odnokvartirnykh i blokirovannykh zhilykh domov [Fundamentals of calculation of phase-transitive heat accumulators for Autonomous systems of a heat supply of single-family and blocked houses]. *Inzhenernye sistemy i sooruzheniia* [Engineering systems and facilities], 2014, T. 2, № 4 (17), pp. 71–75.

6. Tsymbaliuk Iu.V., Plotnikov V.V. Skhemnye resheniia primeneniia fazoperekhodnykh teplovykh akkumulatorov v avtonomnykh sistemakh teplosnabzheniia [Schematics of the phase-transitive use of heat accumulators in Autonomous heat supply systems]. *Fundamental'nye nauchnye osnovy sistem zhiznedeiatel'nosti i informatsionno-stroitel'nogo inzhiniringa v usloviakh pribrezhnykh zon: Materialy IV Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma molodykh uchenykh, studentov i shkol'nikov* [Scientific basis of life systems and of information and construction engineering in the conditions of coastal zones. Materials of IV International scientific forum of young scientists, students and schoolchildren], 2015, pp. 107–110.

УДК 541.124

А.А. Чернов, П.А. Марьяндышев, Е.В. Панкратов, В.К. Любов
Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова
(г. Архангельск)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОЧНОГО ПРОЦЕССА НИЗКОЭМИССИОННОГО ВИХРЕВОГО КОТЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ANSYS FLUENT

В работе представлены результаты моделирования топочного процесса низкоэмиссионного вихревого котельного агрегата Е-220/100 (ПК-10), работающего на угольном топливе, с помощью программного пакета Ansys Fluent. Проведено сравнение данных, полученных в ходе промышленно-эксплуатационных испытаний низкоэмиссионных вихревых котлоагрегатов, с результатами их математического моделирования. Сравнение показало приемлемую сходимость для задач данного уровня.

Численное моделирование, математическая модель, котлоагрегат, аэросмесь, теплообмен, аэродинамика, уголь.

The work presents results of numerical simulation of the combustion process in low-emission vortical coal boiler with software package *Ansys Fluent*. The experimental data were compared with the data of mathematical modeling. The comparison showed an acceptable convergence of the objectives of this level which confirms the validity of a mathematical model.

Numerical simulation, mathematical model, boiler, air-fuel mixture, heat transfer, aerodynamics, coal.

Введение

В условиях резкого изменения ценовой политики продаж нефти и газа в развитых странах интерес к использованию твердого топлива как к основному мировому энергоносителю продолжает неуклонно повышаться. В России с окончанием «газовой паузы» и намечающимися тенденциями к более глубокой переработки нефти увеличивается доля потребления угля в теплоэнергетике. Тем не менее, вопрос развития новых энергоэффективных технологий сжигания углей в энергетике является наиболее актуальным на сегодняшний день.

Запасы угля в России достаточны, чтобы обеспечить всю тепловую и электрическую нагрузку в стране в ближайшие 50 лет. Но для того, чтобы угольное топливо было конкурентноспособным в сравнении с природным газом, ядерным и другими видами топлива, должны быть решены следующие

проблемы: уменьшение выбросов углекислого газа посредством повышения КПД, снижение выбросов оксидов азота и серы до безопасных уровней рассеивания в окружающей среде [1].

Одним из направлений комплексного повышения технико-экономических и экологических показателей работы котлов является их перевод на низкоэмиссионную вихревую технологию сжигания [2]–[4]. Основные принципы построения вихревого топочного процесса изложены в работах В.В. Померанцева и его школы [2]–[5] и были промышленно подтверждены при модернизации котлоагрегатов в РФ, Польше, США и Чехии.

Технология низкоэмиссионного вихревого сжигания открывает дополнительные возможности по организации совместного сжигания углей и биотоплив. Многократная принудительная циркуляция топливных частиц в вихревом потоке позволяет обеспе-