

Рис. 2 характеризует влияние размера частиц на интенсивность теплообмена между дисперсным потоком и погруженной трубной поверхностью. В области плотного слоя ($X \geq 0,14$ м) в отличие от рис. 1 не наблюдается существенного изменения α с изменением варьируемого параметра. Иная картина прослеживается в зоне расширенного слоя с широким термомсевдоожигением ($X = 0,03 \dots 0,14$ м). Для частиц, у которых размеры более $0,4 \cdot 10^{-3}$ м, нарастание α к верху аппарата происходит значительно слабее, чем у мелких частиц. Это объясняется их значительным перемешиванием в слое.

Влияние теплового потока на теплообмен между греющей погруженной поверхностью и дисперсным материалом показано на рис. 3. Величина теплового потока находится в прямой зависимости от коэффициента теплоотдачи, и для обычных псевдоожигенных слоев такая зависимость отчетливо просматривается, так как она преобладает при формировании абсолютной величины α . Здесь же, когда с увеличением теплового потока повышается толщина газовой прослойки и температура стенки, эффект возрастания α и Q подавляется ростом $T_{ст} - T$.

Для «качающейся» поверхности теплообмена отмеченное выше влияние сглаживается, чего нельзя не учитывать при конструировании аппарата и оценки ожидаемых энергетических затрат на десорбцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Несенчук А. П., Золотуха Д. В. Уточненное уравнение диффузии сорбированной фазы // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объед. СНГ).—1993.—№ 9—10.—С. 87—90.
2. Несенчук А. П., Шатон Л. В. Расчет тепло- и массообмена при сорбции в термомсевдоожигенном слое цеолита // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений).—1983.—№ 12.—С. 72—76.

Представлена кафедрой ПТЭ

Поступила 24.12.1993

УДК 662.997:537.22.001.24

ИСПЫТАНИЯ ПАССИВНОГО ВОЗДУШНОГО КОЛЛЕКТОРА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ¹

Кандидаты техн. наук, доценты ПОКОТИЛОВ В. В., ШАЛАК А. Д.

Белорусская государственная политехническая академия

В условиях умеренного климата для преобразования солнечной энергии в тепловую целесообразно использовать воздушные солнечные коллекторы с вынужденной циркуляцией воздуха (активные) или коллекторы с естественной циркуляцией воздуха (пассивные). Оптимальным для последних является вариант совмещения их с конструкциями и планировкой здания, что позволяет создать в целом объект так называемой «солнечной архитектуры».

Расчет коллектора включает решения теплотехнических, гидравлических и конструктивных задач. Эффективность работы коллектора оценивается его коэффициентом полезного действия (КПД), представляющим собой отношение полученной от него потребителем теплоты к энергии падающего на коллектор солнечного излучения

$$\eta = q_n / q_c \quad (1)$$

¹ Публикация статьи одобрена Редакционным советом по программе «Энергосбережение» для рассмотрения и практического внедрения в промышленность.

где q_n – теплопроизводительность коллектора, приведенная на 1 м^2 его площади, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

q_c – интенсивность падающего солнечного излучения в плоскости коллектора, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Существующие методики испытания активных и пассивных гелиосистем [1, 2] предлагают давать оценку КПД коллектора в зависимости от интенсивности солнечного излучения, разности температур теплоносителя и наружного воздуха с введением поправок на изменение расхода теплоносителя и другие параметры. Полученные результаты испытаний являются, как правило, индивидуальными для каждого типоразмера коллектора. При этом характеристики пассивного коллектора могут в значительной степени меняться при изменении системы теплопроводов (длины и сечения).

Величина η , обобщая условия и характер внешнего и внутреннего теплообменов, является функцией большого числа независимых переменных, характеризующих радиационный теплообмен и свободную конвекцию. Для оценки взаимозависимых процессов теплообмена предлагается воспользоваться теорией подобия, позволяющей выявить определяющие безразмерные комплексы. Ввиду сложности математического описания происходящих процессов используем метод размерностей.

Список размерных величин анализируем отдельно для активного и пассивного гелиоколлекторов.

Для активной гелиосистемы:

$$q_n = f(q_c, \Theta_n, \Theta_k, G/(F\rho), \nu, \rho, L); \quad (2)$$

для пассивной гелиосистемы:

$$q_n = f(q_c, \Theta_n, G/F, \nu), \quad (3)$$

где $\Theta_n = t_b - t_n$ – разность температур внутреннего и наружного воздуха;

$\Theta_k = t_k - t_b$ – то же, выходящего и входящего, $^{\circ}\text{C}$;

G – расход воздуха через коллектор, $\text{кг}/\text{с}$;

F – площадь коллектора, м^2 ;

ν – кинематическая вязкость воздуха, принимаемая по его средней температуре в коллекторе, $\text{м}^2/\text{с}$;

ρ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$;

L – размер коллектора в направлении движения воздуха, м .

В (2) величинами, имеющими независимую размерность, являются q_c , Θ_n , ν и L . Анализ размерностей производных величин позволяет составить определяющий критерий:

$$\frac{\Theta_k}{\Theta_n} \cdot \frac{(G/F)^2 \nu}{q_c L^2} = A. \quad (4)$$

Тогда зависимость (2) может быть записана в критериальном виде:

$$\eta = bA^n. \quad (5)$$

Константы b и n следует определить экспериментально.

Выражение (3) необходимо преобразовать с целью замены параметра G/F , который в условиях гравитационного движения является величиной переменной, зависящей от температурных и геометрических условий системы теплообмена. Выразим его через гидравлическую константу системы. При условии турбулентного течения, имеющего место в рассматриваемом случае, можно воспользоваться так называемой «характеристикой сопротивления» (S), которая является коэффициентом пропорциональности между потерей давления и квадратом величины расхода воздуха в гелиосистеме [3, 6]. Таким образом

$$G = \sqrt{\Delta p / S}, \quad (6)$$

где S – характеристика сопротивления, $\text{Па}\cdot\text{с}^2/\text{кг}^2$;

$\Delta p = p_c$ – соответственно потеря давления и циркуляционное давление в сети, Па ;

$$p_c = 0,5gh\nabla \rho \Theta_k, \quad (7)$$

где g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

h — разность отметок центров нагрева и охлаждения гелиосистемы, в данном случае входного и выходного патрубков коллектора, м;

$\nabla\rho$ — приращение плотности на один градус изменения температуры теплоносителя, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$.

Для теплоносителя воздуха $\nabla\rho = 0,004 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$. Тогда (7) примет вид

$$p_{\text{ц}} = \Delta p = 0,002gh\Theta_{\text{к}}. \quad (8)$$

На основании (6) и (7) зависимость (3) можно представить в виде

$$q_{\text{п}} = f(q_{\text{с}}, \Theta_{\text{н}}, 1/\sqrt{SF^2}, g, h, \Theta_{\text{к}}, \nu). \quad (9)$$

В качестве основных принимаем параметры с независимой размерностью: $q_{\text{с}}, \Theta_{\text{н}}, h, \nu$. При анализе размерностей производных величин получен следующий вид определяющего критерия:

$$\frac{\Theta_{\text{к}}}{\Theta_{\text{н}}} g \sqrt{\frac{h^3}{SF^2 q_{\text{с}} \nu}} = B. \quad (10)$$

Путем замены $S = \Delta p / S^2$ критерий (10) также может быть представлен в виде

$$\frac{\Theta_{\text{к}}}{\Theta_{\text{н}}} g \sqrt{\frac{h^3}{\Delta p q_{\text{с}} \nu}} = B. \quad (11)$$

В критериальном виде (9) можно записать

$$\eta = aB^m. \quad (12)$$

Константы a и m определяются из экспериментального исследования.

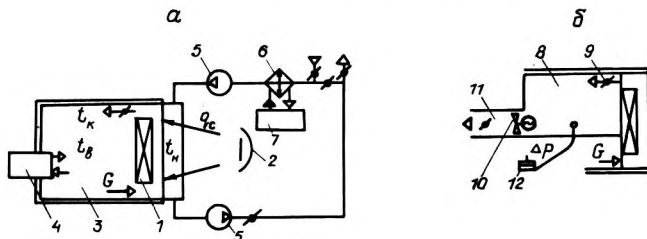


Рис. 1. Схема лабораторного стенда для теплотехнических (а) и аэродинамических (б) испытаний пассивных гелиоколлекторов: 1—испытуемый образец коллектора; 2—имитаторы солнечного излучения (галогенные излучатели ПКН-1000А); 3—термостатированная модель помещения; 4—кондиционер; 5—циркуляционные вентиляторы «наружного» воздуха; 6—воздухоохладитель поверхностного типа; 7—камера статического давления; 9—клапан-имитатор сопротивления сети; 10—вентилятор; 11—клапан для изменения расхода воздуха; 12—микроманометр

Испытания коллектора пассивной гелиосистемы проводились на лабораторном стенде, схема которого приведена на рис. 1. Компоновка стенда позволяла в широком диапазоне задавать и автоматически поддерживать температуру наружного воздуха у поверхности испытуемого коллектора, различную интенсивность имитируемого излучения путем изменения расстояния между коллектором и лампами, а также варьировать в широких пределах задаваемую аэродинамическую характеристику системы. Подвижность воздуха в контрольных сечениях измерялась электронным термоанемометром, интенсивность излучения — пиранометром полного излучения, а необходимые контрольные измерения температур — с помощью термомпар. Величина интенсивности излучения в каждом эксперименте принималась как средневзвешенная по площади коллектора. Испытания проводились при установившемся режиме.

Для определения значений S на коллекторе монтировалось оборудование аэродинамического стенда (рис. 1б). При различных задаваемых величинах расхода воздуха (G) измерялись потери давления в сети (Δp), по которым вычислялось среднее значение S .

Испытуемый коллектор монтировался в теплоизолированной касете стенда. На рис. 2 приведен общий вид коллектора. Данный тип его сочетает в себе функции наружной несущей стены и аккумулятора теплоты. Он разработан и изготавливается из традиционных строительных материалов для различного типа зданий [4, 5].

Ранее выполненные исследования на одном типоразмере коллектора позволили установить правомерность комплексной оценки тепловых и аэродинамических условий процесса путем использования в определяющем комплексе параметров Θ_k/Θ_n и $\sqrt{SF^2}$ [6]. В настоящем исследовании в результате испытания двух коллекторов различной высоты и площади была скорректирована функциональная зависимость для обобщения определяющего критерия по параметрам F и h .

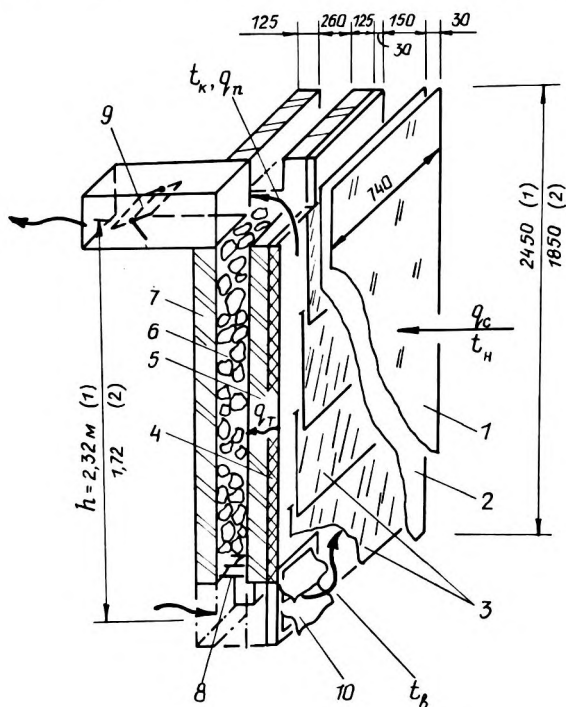


Рис. 2. Испытываемый пассивный воздушный солнечный коллектор: 1—стекло оконное толщиной 3 мм; 2—полиэтиленовая пленка; 3—тепловоспринимающие элементы из кровельной стали, покрытой ламповой сажой; 4—пенополистирол; 5, 7—кирпичная кладка из эффективного кирпича; 6—прослойка, заполненная теплоаккумулирующей засыпкой из камня среднего размера 100 мм; 8—решетка из арматурной сетки; 9—клапан-имитатор сопротивления сети; 10—обратный клапан

Значения определяющего критерия рассчитывались по (10). Величина η определялась в двух вариантах. В одном — как отношение $q_n/q_c = \eta_k$, а в другом — дополнительно учитывалось тепlopоступление в помещение от коллектора через его стенку $(q_n + q_r)/q_c = \eta_n$. Значение q_r измерялось с помощью тепломера. Полученные в результате расчета зависимости $\eta_k = f(B)$ и $\eta_n = f(B)$ приведены на рис. 3.

Следует отметить обобщающий характер предложенного критерия для приведенных на рис. 3 зависимостей, которые аппроксимируются выражениями:

$$\eta_k = 0,11B^{0,48}; \quad (13)$$

$$\eta_n = 0,15B^{0,41}. \quad (14)$$

Существующая в настоящее время методика обработки экспериментальных данных представляет результаты исследований солнечных коллекторов в виде $\eta_k = f(\Theta_n/q_c)$ для любого вида гелиосистем — активной или пассивной [1, 2, 7]. Приведенные в настоящей работе данные экспериментов были обработаны согласно существующей методике и в полученных результатах обработки, представленных на рис. 4, не было выявлено закономерностей. Разброс данных объясняется тем, что, кроме указанных в методике параметров Θ_n и q_c , на КПД пассивного коллектора влияют также факторы Θ_k , g и h , характеризующие циркуляционное гравитационное давление, а также значения SF^2 и ν , определяющие

сопротивление циркуляции теплоносителя в геосистеме. Таким образом, характеристику гелиоколлектора следует представлять различным образом для пассивных и активных геосистем.

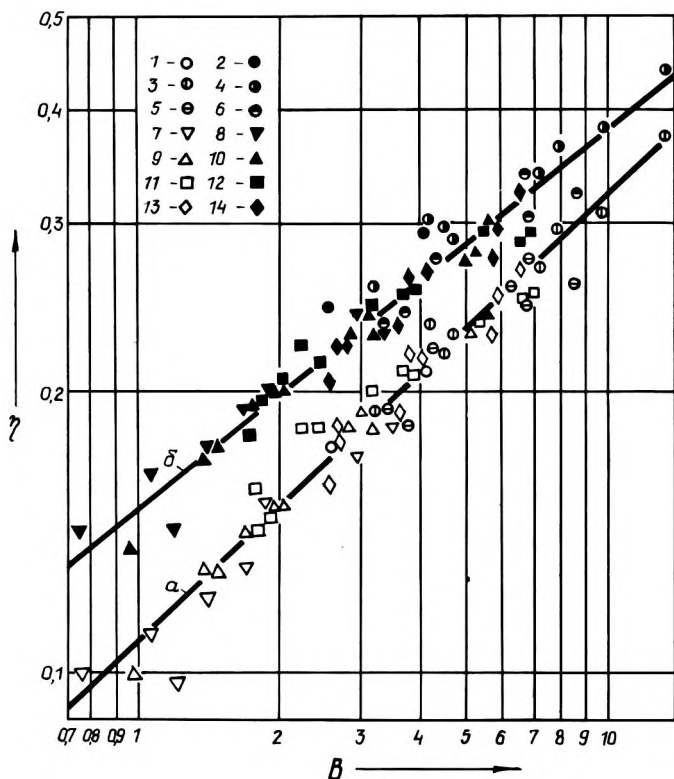


Рис. 3. Зависимость КПД коллектора от критерия В; а—эмпирическая зависимость (13); б—эмпирическая зависимость (14); условные обозначения:

Обозначения	h, м	F, м ²	S, Па·с ² /кг ²	q _c , Вт/м ²	t _н , °С
1, 2	2,32	1,81	19440	270 ... 510	2 ... 10
3, 4	2,32	1,81	7258	270 ... 510	0 ... 10
5, 6	2,32	1,81	2931	270 ... 510	- 5 ... 10
7, 8	1,72	1,37	18533	290 ... 550	- 5 ... 10
9, 10	1,72	1,37	6869	290 ... 550	- 7 ... 10
11, 12	1,72	1,37	5054	290 ... 550	- 10 ... 10
13, 14	1,72	1,37	2333	290 ... 550	- 5 ... 10

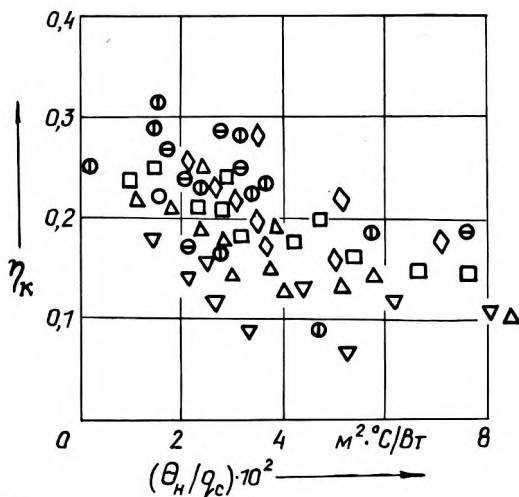


Рис. 4. Зависимость числа η_K от параметра Θ_n/q_c (условные обозначения на рис. 3)

Критерий В включает в себя неизвестный параметр t_k , который совместно с h и q_c задает интенсивность циркуляции теплоносителя в пассивной гелиосистеме. Учитывая, что $t_k - t_b = \Theta_k$ и $t_b - t_n = \Theta_n$, можно выразить $t_k - t_n = f(\Theta_n, q_c, h)$. Результаты обработки экспериментальных данных позволили найти вид этой функции

$$t_k - t_n = 1,127 (\Theta_n q_c h)^{0,36}. \quad (15)$$

На рис. 5 представлена ее графическая зависимость.

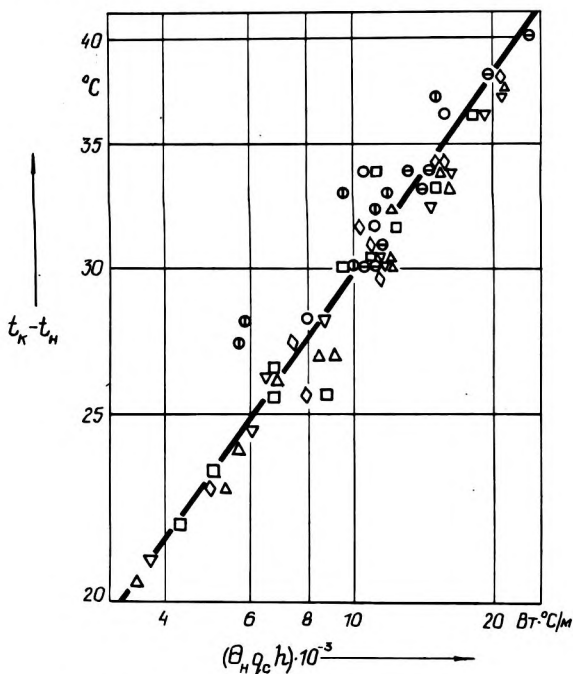


Рис. 5. Зависимость параметра $t_k - t_n$ от комплекса $\Theta_n q_c h$ (условные обозначения на рис. 3)

Выражения (10), (11), (13), (14), (15), совместно отражающие тепло- и аэродинамические характеристики пассивной гелиосистемы, являются основой для разработки методики проектирования гравитационных гелиосистем.

При проектировании энергоэкономичного здания необходимо сочетать между собой гелиосистему, его теплоаккумулирующие элементы, устройства для утилизации теплоты воздуха, воды, грунта с применением существующей в настоящее время номенклатуры строительных материалов и конструкций. Это возможно на основе принципов так называемой «солнечной архитектуры», которые включают энергоэффективные архитектурно-планировочные решения, а также увязанные с ними инженерные устройства здания, расчет которых выполнен на основании анализа климата района застройки [3, 7, 8].

Наиболее простым пассивным солнечным устройством является окно южной ориентации. За рубежом, как правило, применяют высокие окна для улучшения условий теплоизоляции пола, изготавливаемого из «теплоактивных» материалов с высокой плотностью и теплопроводностью (керамика, бетон и т. п.). Традиционная схема такого решения показана на рис. 6а.

В нашем строительстве применяют в основном полы из нетеплоемких материалов (деревянные, из линолеума и т. п.). Поэтому необходима иная схема, позволяющая использовать для аккумуляции солнечной энергии поверхности стен и потолка. В условиях радиационного режима Беларуси предлагаем на южной стороне здания устраивать широкие окна небольшой высоты в сочетании с широкими теплоемкими подоконниками (из бетона, камня и т. п.) и отражателями с наружной стороны (рис. 6б). При такой схеме оптимальным образом используется солнеч-

ное излучение, исключается перегрев воздуха в помещении, «блесткость» и улучшаются условия инсоляции помещения.

Приведенные выше результаты исследований солнечных устройств были использованы при тепловых расчетах проекта экспериментального индивидуального жилого дома, разработанного специалистами БГПА и института БелНИИГИПРОСЕЛЬСТРОЙ ГОССТРОЯ РБ. Большинство элементов дома по назначению являются многофункциональными, в результате чего его стоимость не превышает стоимости аналогичного дома традиционной архитектуры. Система отопления – воздушная с естественной циркуляцией теплоносителя. Она обеспечивает различные

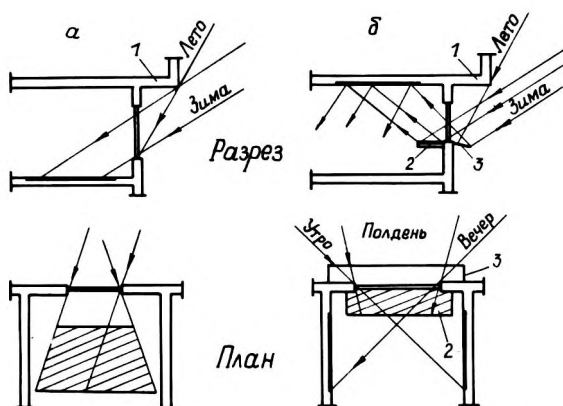


Рис. 6. Варианты формирования инсоляции помещений: а—традиционное решение с теплоаккумулирующим полом, б—предлагаемый вариант при наличии нетеплоемкого пола; 1—тенеобразующий козырек; 2—бетонный подоконник; 3—отражатель

режимы работы гелиосистемы, а также ее совместную работу с генератором теплоты в зимние месяцы. В качестве генератора теплоты предусматривается электрическая теплоаккумулирующая печь с дополнительной топкой для твердого топлива или, как вариант, водяной калорифер с газовым водогрейным котлом. Работа электрической печи предусматривается от ветроэнергетической установки (ВЭУ). За счет использования солнечной энергии, частичной утилизации теплоты удаляемого воздуха и предварительного подогрева наружного приточного воздуха годовая потребность в теплоте снижается более чем в 2 раза.

ВЫВОДЫ

1. Характеристики солнечного коллектора следует выявлять отдельно для пассивной и активной гелиосистем.
2. В качестве критерия оценки КПД солнечного коллектора предлагается безразмерный комплекс, с помощью которого имеется возможность обобщать результаты исследований и расчетов для разных типов размеров пассивных коллекторов одного вида.
3. Температура теплоносителя на выходе из пассивного гелиоколлектора является функцией интенсивности солнечного излучения, определяющего вертикального размера, а также температур наружного и внутреннего воздуха.
4. Для создания оптимальной конструкции гелиодома в климатических условиях Беларуси необходим комплекс решений, основными из которых следует считать: устройство воздушной гелиосистемы отопления, обеспечение многофункциональности отдельных элементов здания, оптимальный уровень теплоизоляции ограждений, утилизация теплоты от различного вида сбросов, использование на южной стене широких оконных проемов с отражателями и теплоемкими подоконниками, создание простых и эффективных систем управления тепловым режимом гелиодома и др.

1. Testing passive solar systems.—Building Services, 1987.—Vol. 9.—№ 2.—P. 59.
2. Goel V. K., Chandra Ram, Rauchaudhuri B. C. Experimental investigations on single absorber solar air heaters.—Energy Conversion and Management.—1987.—№ 612.—P. 43—50.
3. Арутюнян А. А., Покотиллов В. В., Шалак А. Д. Аэродинамика центральной гелио-электровоздушной системы отопления усадебного дома // Повышение энергетической эффективности систем теплоснабжения и вентиляции зданий и сооружений.—Челябинск: Челябинский политехн. ин-т, 1990.—С. 84—85.
4. А. с. 1627789 СССР, МКИ³ F24 J2/42. Система солнечного теплоснабжения / В. В. Покотиллов // Бюл. изобр.—1991.—№ 6—9 с.
5. А. с. 1663343 СССР, МКИ³ F24 J2/42. Гелиосистема / В. В. Покотиллов // Бюл. изобр.—1991.—№ 6—4 с.
6. Покотиллов В. В., Шалак А. Д., Ларин В. С., Долгих Н. Г. Теплообменные процессы в гелиосистемах теплоснабжения энергоэкономичных домов сельской местности Беларуси // Тепломассообмен-ММФ-92: Теплообмен в энергетических устройствах. Т. 10.—Мн.: АНК «ИТМО им. А. В. Лыкова» АНБ, 1992.—С. 162—165.
7. Андерсон Б. Солнечная энергия: Основы строительного проектирования / Пер. с англ. А. Р. Анисимова; Под ред. Ю. Н. Малевского.—М.: Стройиздат, 1982.—375 с.
8. Покотиллов В. В., Шалак А. Д., Арутюнян А. А. Экономическое обоснование необходимой площади солнечного коллектора гелиосистемы отопления здания // Энергосберегающие установки отопления, вентиляции и кондиционирования.—Ростов Н/Д: Рост. инж.-строит. ин-т, 1989.—С. 90—95.

Представлена кафедрой
отопления, вентиляции и
кондиционирования воздуха

Поступила 10.05.1993
После доработки 6.12.1993

УДК 666.97.035.55

О ВЫБОРЕ ТОЛЩИНЫ ИЗОЛЯЦИИ ТЕПЛОВЫХ КАМЕР ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Канд. техн. наук, доц. ГОПЧАРОВ Э. И.

Новополюцкий политехнический институт

Определение резервов экономии тепловой энергии с целью сокращения удельного теплопотребления на единицу выпускаемой продукции является актуальной задачей для ряда отраслей промышленности, в которых производится термическая обработка изделий в тепловых камерах периодического действия.

К таким установкам, например, относятся ямные пропарочные камеры для термообработки бетона и железобетона на предприятиях стройиндустрии. На их долю приходится около 80 % годового выпуска изделий, и фактический коэффициент полезного действия тех из них, ограждения которых выполнены из тяжелого бетона, редко превышает 20 % в основном из-за того, что теплоемкость ограждений в 5—6 раз превышает теплоемкость нагреваемых изделий [1].

Теплота, которая тратится на нагрев ограждений в процессе термообработки, уходит в окружающую среду в период охлаждения камеры и ее перегрузки. Толщина тепловой изоляции, определяющая наряду с ее теплофизическими свойствами термическое сопротивление ограждения тепловой камеры, является параметром, изменение которого возможно при проектировании, и она поддается инженерной оптимизации, т. е. подбор толщины ограждений можно осуществлять при условии, что экономические затраты на продукцию будут минимальными.

Проведем оптимизацию толщины ограждающих конструкций тепловых камер периодического действия методом базовой точки [2], основанным на получении обобщающих переменных для инженерных оптимизационных задач.