

Ю. В. Шипулина, М. Ш. Каримов, М. Ф. Руденко

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК
НА РЕАКТОР ГЕНЕРАТОРА-АДСОРБЕРА
ГЕЛИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

Yu. V. Shipulina, M. Sh. Karimov, M. F. Rudenko

**METHODS OF DETERMINATION OF HEAT LOADS
ON THE REACTOR OF THE GENERATOR-ADSORBER
OF THE SOLAR-POWERED REFRIGERATING INSTALLATION**

Рассматривается моделирование оптической части конструкции генератора-адсорбера. Приведена математическая модель расчета генератора-адсорбера, проанализировано распределение температурных полей и тепловых потоков в поперечном сечении в простой и ребренной конструкции генератора-адсорбера. Проанализированы различные конструктивные решения реактора, повышена эффективность его функционирования в гелиоэнергетической установке.

Ключевые слова: генератор-адсорбер, моделирование оптической части, зеркальные концентраторы, математическая модель, тепловые потоки, распределение температурных полей.

The modeling of the optical part of the generator-adsorber is considered. A mathematical model for calculating the generator-adsorber is presented and the distribution of temperature fields and heat flows in the cross section in a simple ribbed design of the generator-adsorber are analyzed. The different reactor designs are studied and the efficiency of their functioning in the solar-powered installation is increased.

Key words: generator-adsorber, modelling of the optical part, mirror concentrators, mathematical model, heat flows, distribution of temperature fields.

Гелиоэнергетические холодильные установки адсорбционного типа циклического автономного действия могут устанавливаться на морских буровых установках, стационарных островных и береговых объектах, в портах и терминалах и предназначаются для получения охлажденной питьевой воды, кондиционирования и охлаждения помещений, замораживания и хранения медикаментов и скоропортящейся продукции и других нужд.

В гелиоэнергетических адсорбционных холодильных установках генератор-адсорбер совмещенного типа [1–4] является одним из важных аппаратов. Основным элементом генератора-адсорбера – реакторы, установленные в гелиоприемное устройство типа «горячий ящик» между зеркальными концентраторами. В реакторы генератора-адсорбера засыпается адсорбент, например активированный уголь. Под действием солнечной энергии днем происходит обогрев наружных поверхностей корпуса реактора, теплота через стенки передается насыщенному аммиаком адсорбенту и с определенной температуры начинается выделение адсорбата из адсорбента, который в виде газообразной фазы сжижается в конденсаторе. Этот период времени работы гелиоэнергетической холодильной установки называется периодом регенерации. При охлаждении сухого адсорбента (активированного угля) в ночной период времени в реакторах начинается поглощение аммиака из испарителя – начинается период зарядки. Работа гелиоэнергетической холодильной установки протекает циклично – так же циклично, как изменяется температура окружающей среды.

Эффективность работы гелиоэнергетической холодильной установки циклического действия во многом зависит от работы реакторов генератора-адсорбера. Обзор отечественных и зарубежных литературных источников и исследование собственных конструкций гелиоэнергетических холодильных установок выявил недостатки в работе совмещенных генераторов-адсорберов, состоящих из гелиоприемного устройства типа «горячий ящик», концентрирующих зеркальных элементов, реакторов и некоторых других элементов. Это требует перспективной проработки конструкции именно этого аппарата. Основными недостатками аппарата являются: недостаточное количество теплоты (в отдельные дни) для полного обогрева всей массы насы-

ценного сорбента в реакторах при суточном освещении солнцем и, как следствие, низкие значения температуры в объеме насыпной массы сорбента; снижение эффективности работы вследствие значительного объема воздуха под прозрачной оболочкой гелиоприемника и большого количества реакторов в одной конструкции генератора-адсорбера; повышение стоимости аппарата в связи с увеличением массогабаритных характеристик.

Конструирование оптической части гелиоприемного устройства генератора-адсорбера гелиоэнергетической холодильной установки можно начать с элементов корпуса реактора и зеркал в аппарате.

Методики расчета и анализ эффективности оптических характеристик гелиоприемных устройств с плоскими зеркальными концентраторами на различные формы адаптирующих поверхностей были рассмотрены нами в [5–7]. На рис. 1 представлены соотношения оптического моделирования конструкции генератора-адсорбера. В основу моделирования оптической части положено два принципа: первый – угол падения солнечного луча на зеркальную поверхность полностью отражается, и угол падения равен углу отражения луча; второй – вся энергия солнечного луча (прямого и отраженного), падающая на адаптирующую поверхность, целиком поглощается. Гелиоприемное устройство генератора-адсорбера представляет собой удлиненную конструкцию (на рис. 1 представлен профиль конструкции), состоящую из плоских зеркальных поверхностей, имеющих определенный угол раскрытия Θ , град, расположенных симметрично относительно центральной плоскости.

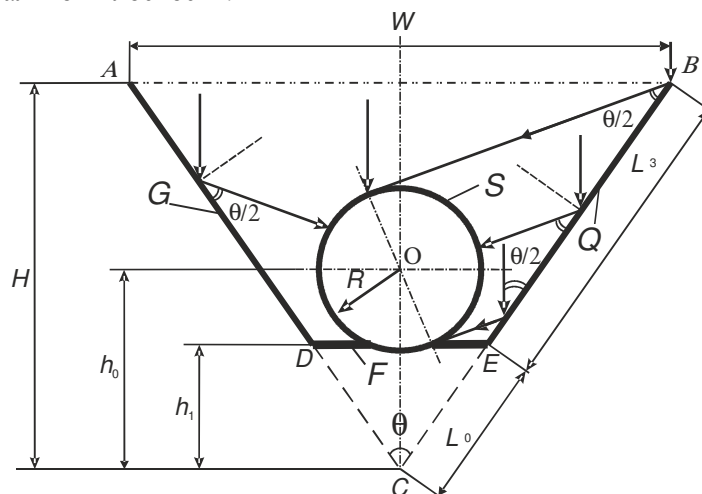


Рис. 1. Моделирование оптической части конструкции генератора-адсорбера гелиоэнергетической холодильной установки

В симметричной части зеркал устанавливается круглая трубка корпуса реактора с наружным радиусом r , мм. Ширина раскрытия зеркал W , мм. Полная длина конструкции аппарата l , мм. Q и G , мм², – поверхности зеркал, отражающих солнечные лучи. S , мм², – поверхность трубки цилиндрического реактора, адаптирующая солнечное излучение. F , мм², – поверхность металлической подложки, адаптирующей солнечное излучение. На основании анализа концентрической эффективности солнечного облучения круглой поверхности в плоских зеркалах при соотношении $W/2 \cdot R = 3,5$ был выбран угол раскрытия зеркал Θ , град. Длина зеркал L_3 рассчитана таким образом, чтобы при перпендикулярном облучении концентраторов (вдоль оси симметрии аппарата) и при однократном отражении лучей от верхней до нижней кромки поверхностей G и Q солнечные лучи полностью попадали на внешнюю поверхность S реактора. При таких условиях и перпендикулярном освещении солнцем цилиндрическая конструкция корпуса реактора будет иметь трехкратное облучение энергией солнечной радиации. Кроме того, нижняя подложка DE с поверхностью F работает как прямое ребро и передает дополнительную теплоту на нижнюю часть реактора при хорошем контакте с корпусом. Тогда основные элементы конструкции аппарата можно выразить через соотношения радиуса реактора R и фиктивного угла раскрытия зеркал Θ .

$$h_1 = R \cdot \cos(\Theta/2) / \sin(\Theta/2); \quad (1)$$

$$L_0 = R / \sin (\Theta / 2); \quad (2)$$

$$W / 2 = 3,5 \cdot R; \quad (3)$$

$$L_3 = (W / 2) / \sin (\Theta / 2) - R / \sin (\Theta / 2); \quad (4)$$

$$H = (L_0 + L_3) / \cos (\Theta / 2). \quad (5)$$

На основании оптических параметров моделирования и баланса энергетических потоков разработана теплоэнергетическая модель конструкции генератора-адсорбера гелиоэнергетической холодильной установки, профиль конструкции которого представлен на рис. 2. Конструкция трапециевидальной формы имеет прочный металлический корпус 1 и изоляцию 2 с пяти сторон (торцевые стороны конструкции не показаны), зеркальные отражатели 3, внутренний стальной корпус реактора 4 с активированным углем 5, двухстекольное покрытие 6 со стороны облучения солнцем и металлическую подложку под реактором 7.

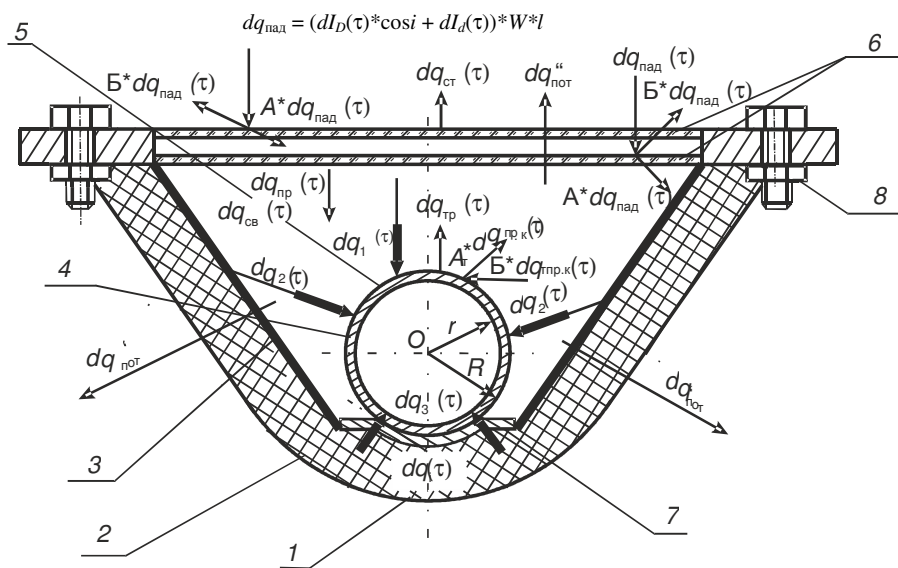


Рис. 2. Модель генератора-адсорбера гелиоэнергетической холодильной установки:

- 1 – корпус элемента гелиоприемника; 2 – изоляция корпуса; 3 – плоские зеркальные отражатели; 4 – наружный корпус реактора; 5 – адсорбент (активированный уголь); 6 – двухстекольное покрытие; 7 – металлическая подложка; 8 – крепежные болты

На корпус реактора, как видно на модели, подводится теплота в виде потока $dq_1(\tau)$ – лучистой энергии на видимую поглощающую поверхность площадью $\pi \cdot R \cdot l$ и отраженной $dq_2(\tau)$ от зеркал G, Q на поглощающую поверхность площадью $2 \cdot \pi \cdot R \cdot l$, в виде потока $dq_3(\tau)$ – от теплоты, подводимой за счет металлической плоской поверхности подложки.

$$dq_1(\tau) = [dq_{пр.к}(\tau) - dq_{пр.к}(\tau)A_{\tau} - dq_{1пр.к}(\tau)B_{\tau}], \quad (6)$$

где $dq_{пр.к}(\tau)$ – доля полезной теплоты, проходящей в «горячий ящик» и идущей на обогрев корпуса реактора, Вт; A_{τ}, B_{τ} – соответственно коэффициенты поглощения и отражения солнечной энергии от трубки.

$$dq_2(\tau) = [dq_{пр.к}(\tau) - dq_{пр.к}(\tau)A_{\tau} - dq_{1пр.к}(\tau)B_{\tau}]C_0, \quad (7)$$

где C_0 – коэффициент оптической концентрации на поглощающую поверхность, $C_0 = (2 \cdot \pi \cdot R \cdot l) / (2 \cdot \pi \cdot R \cdot l)$.

$$dq_3(\tau) = \lambda_{\tau} \cdot \delta_0 \cdot m \cdot dT_0(\tau) \cdot th(m \cdot b), \quad (8)$$

где $\lambda_{\tau}, \lambda_0$ – коэффициент теплопроводности материала трубы и металлической подложки соответственно, Вт/(м · К); δ_{τ}, δ_0 – толщина трубы и подложки соответственно; R, r – внешний и внутренний радиусы трубы, м; T_0 – температура у основания подложки, К; $m = [2 \cdot \alpha / (\lambda_0 \cdot \delta_0)]^{0,5}$ – комплекс

теплофизических переменных; α – коэффициент теплоотдачи от металлической подложки конвекцией, Вт/(м²·К); $b = 2 \cdot r$ – длина ребра, м; $th(m \cdot b) = [e^{(m \cdot b)} + e^{-(m \cdot b)}] / [e^{(m \cdot b)} - e^{-(m \cdot b)}]$ – функция гиперболического тангенса, число $e = 2,7183$.

Теперь рассмотрим, как и из чего формируются полезная тепловая нагрузка на реактор генератора-адсорбера, равная

$$dq'_{\text{пол}}(\tau) = dq_1(\tau) + dq_2(\tau) + dq_3(\tau). \quad (9)$$

Величина теплового потока, падающего на остекленную оболочку генератора-адсорбера, выполненного по типу конструкции «горячего ящика», выражается следующим уравнением:

$$Q_{\text{пад}} = \sum dq_{\text{пад}}(\tau) = (dI_{\text{д}}(\tau) \cdot \cos i + dI_{\text{д}}(\tau)) W \cdot l, \quad (10)$$

где $Q_{\text{пад}}$ – мощность полной падающей солнечной энергии на поверхность гелиоприемника за время облучения в течение светового дня, Вт; $dq_{\text{пад}}(\tau)$ – мощность падающей солнечной энергии за конкретный промежуток времени ($\tau = 1$ ч); l – длина реактора генератора-адсорбера, м; $dI_{\text{д}}(\tau)$ – мощность потока прямого солнечного излучения, Вт/м²; $dI_{\text{д}}(\tau)$ – мощность потока диффузионной солнечной радиации, Вт/м²; $\cos i$ – коэффициент перевода потока солнечной энергии на перпендикулярную к гелиоприемнику поверхность.

$$\cos i = \cos(90 - \varphi + \mu) \sin \delta + \sin(90 - \varphi + \mu) \cos \delta \cdot \cos \tau, \quad (11)$$

где i – угол падения солнечных лучей на перпендикулярную поверхность гелиоприемника, град; φ – угол широты местности, град; μ – угол наклона поверхности гелиоприемника к горизонту земли, град; δ – угол склонения солнца (функция времени года, по астрономическому календарю), град; τ – часовой угол движения солнца, град.

Тогда тепловой поток в единицу времени, проходящий через остекленную оболочку в «горячий ящик», будет выражаться уравнением

$$dq_{\text{пр}}(\tau) = K_{\text{пз}} K_{\text{пп}} [dq_{\text{пад}}(\tau) - dq_{\text{пад}}(\tau) A - dq_{\text{пад}}(\tau) B - \varepsilon_{\text{ст}} c_0 (T_{\text{ст}}(\tau)/100)^4], \quad (12)$$

где $K_{\text{пз}}$, $K_{\text{пп}}$ – соответственно коэффициент потери энергии при прохождении потока солнечной радиации от запыленности стекла и коэффициент потери энергии из-за двухстекольного покрытия в конструкции «горячего ящика»; A , B – соответственно коэффициенты поглощения и отражения солнечной энергии от стекла; $\varepsilon_{\text{ст}} c_0 (T_{\text{ст}}(\tau)/100)^4$ – собственное излучение стекла по формуле Стефана – Больцмана, Вт; $\varepsilon_{\text{ст}}$ – степень черноты стекла; c_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела; $T_{\text{ст}}(\tau)$ – абсолютная температура стекла в единицу времени, К.

Количество солнечной энергии, падающей на поверхность трубки корпуса реактора, будет складываться из следующих составляющих: энергия от потока на видимую часть трубки; энергия отраженного потока от плоских зеркальных концентраторов; энергия от нижней подложки под цилиндрическим реактором.

Следует учесть, что проходящая в «горячий ящик» солнечная энергия расходуется также на подогрев элементов конструкции генератора-адсорбера (металлические части, изоляционный материал конструкции «горячего ящика», зеркал и т. п.), воздуха в замкнутом объеме и потери через внешние стенки «горячего ящика» (как изолированные поверхности, так и верхнюю остекленную часть) за счет разности значений температуры нагретых элементов аппарата и температуры внешней окружающей среды, причем эти потери сильно зависят от внешних условий: от скорости обдувания внешней поверхности корпуса ветром и направления ветра, от толщины и качества изоляции, от толщины и количества стекол гелиоприемного устройства, от влажности.

Энергию на подогрев элементов конструкции генератора-адсорбера можно определить так:

$$dq_i(\tau) = \sum m_i \cdot c_i \cdot \Delta t_i, \quad (13)$$

где m_i – масса соответствующего материала i -го элемента конструкции; c_i – теплоемкость материала i -го элемента конструкции; Δt_i – разность значений температуры i -го элемента конструкции за период между замерами и расчетами тепловых потоков.

Энергию на подогрев воздуха в замкнутом объеме гелиоприемника можно определить по следующей формуле:

$$dq_{\text{св}}(\tau) = 0,9 (4 \cdot V \cdot \varepsilon_{\text{в}} \cdot c_{\text{д}} / H \cdot (dT_{\text{ср.в}}(\tau)/100)^4), \quad (14)$$

где $dq_{св}(\tau)$ – собственное поглощение энергии воздухом в единицу времени, Вт; $V = \{12,25 \cdot r^2 \times [\text{tg}(\Theta/2)] - \pi \cdot r^2 - r^2/[\sin(\Theta/2) \cdot l]\} \cdot l$ – объем воздуха в замкнутом пространстве «горячего ящика», м³; $H = 3,5 \cdot r \cdot \text{tg}(\Theta/2)$ – толщина воздушного слоя, м; $dT_{ср.в}(\tau)$ – средняя абсолютная температура воздуха внутри «горячего ящика» в единицу времени, К; ϵ_b – степень поглощения (черноты) воздуха.

Определим энергию потерь из «горячего ящика» в окружающее пространство через изолированную поверхность и стекло. Условно считаем, что элемент конструкции гелиоприемника имеет верх площадью $W \cdot l$, м², дно площадью $M_{\text{дна}} = l \cdot \{[3,5 \cdot r \cdot \text{tg}(\Theta/2) - r \cdot \text{tg}(\Theta/2)] \pi [90 - (\Theta/2)]/180\}$, м²; две боковые стенки общей площадью $2L_3 \cdot l$, м²; два торца площадью $T_{\text{тор}} = 2 \cdot [(2 \cdot r + 2 \cdot \delta_{\text{из}})(H - h_1) + (2,5 \cdot r + \delta_{\text{из}}) 2(H - h_1) + \pi \cdot r^2 (1/2 - \Theta/360) - r^2] l$, м².

Тогда

$$dq'_{\text{пот}}(\tau) = K' (M_{\text{дна}} + 2 \cdot L_3 \cdot l + T_{\text{тор}}) [dT_{ср.в}(\tau) - dT_{\text{нар}}(\tau)]; \quad (15)$$

$$dq''_{\text{пот}}(\tau) = K'' \cdot W \cdot l [dT_{ср.в}(\tau) - dT_{\text{нар}}(\tau)], \quad (16)$$

где $dq'_{\text{пот}}(\tau)$ – потери тепла через изолированные элементы конструкции генератора-адсорбера в единицу времени, Вт; $dq''_{\text{пот}}(\tau)$ – потери тепла через элемент остекления конструкции «горячего ящика» в единицу времени, Вт; K' , K'' – соответственно коэффициенты теплопередачи через элементы изолированной конструкции и стекло, Вт/(м²·К); $dT_{\text{нар}}(\tau)$ – изменение температуры наружного воздуха в единицу времени, К.

$$K' = 1/[(1/\alpha_b) + (\delta_{\text{из}}/\lambda_{\text{из}}) + (1/\alpha_{\text{нар}})],$$

$$K'' = 1/[(1/\alpha_b) + [(2 \cdot \delta_{\text{ст}}/\lambda_{\text{ст}}) + (\delta_b/\lambda_b)] + (1/\alpha_{\text{нар}})],$$

где α_b , $\alpha_{\text{нар}}$ – коэффициенты теплоотдачи от внутренней и наружной поверхности плоской конструкции «горячего ящика» соответственно, Вт/(м²·К); $\delta_{\text{из}}$, $\delta_{\text{ст}}$, δ_b , $\lambda_{\text{из}}$, $\lambda_{\text{ст}}$, λ_b – соответственно толщины, м, и коэффициенты теплопроводности, Вт/(м·К) изоляции, стекла, воздуха между стеклами; $\alpha_b = \text{const}$; $\alpha_{\text{нар}}$ – зависит от условий внешней среды и ее можно рассчитать по уравнению [8].

При умеренном и сильном ветре

$$\alpha_{\text{нар}} = 0,0296 \cdot \lambda_{\text{нар}} \text{Re}_b^{0,8} \cdot \text{Pr}_b^{0,43} \cdot (\text{Pr}_b/\text{Pr}_{\text{ст}})^{0,25}/l',$$

где $\lambda_{\text{нар}}$ – коэффициент теплопроводности наружного воздуха, Вт/(м·К); l' – параметр конструкции «горячего ящика», обдуваемого ветром, м; $\text{Re}_b = (\omega_b \cdot l')/\nu_b$ – критерий Рейнольдса; ω_b – скорость ветра, м/с; ν_b – коэффициент кинематической вязкости наружного воздуха, м²·с; $\text{Pr}_b = \nu_b/\alpha_b$ – критерий Прандтля для воздуха при наружной температуре; $\text{Pr}_{\text{ст}}$ – критерий Прандтля для воздуха при температуре наружной поверхности «горячего ящика»; α_b – коэффициент теплопроводности воздуха, м²·с.

Тогда доля полезного тепла, проходящего в «горячий ящик» и идущего на обогрев корпуса реактора, будет равна:

$$dq_{\text{пр.к}}(\tau) = dq_{\text{пр}}(\tau) - dq_{св}(\tau) - dq'_{\text{пот}}(\tau) - dq''_{\text{пот}}(\tau) - dq_i. \quad (17)$$

При высоких значениях температуры наружной стенки трубы следует учитывать собственное излучение ее поверхности, равное:

$$dq_{\text{ст}}(\tau) = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot l \cdot \epsilon_r \cdot c_0 \cdot dT_1(\tau)/100^4. \quad (18)$$

Тогда суммарное полезное тепло, передаваемое насыщенному адсорбенту, будет равно:

$$dq_{\text{пол}}(\tau) = dq_1(\tau) + dq_2(\tau) + dq_2(\tau) - dq_{\text{ст}}(\tau). \quad (19)$$

Полное полезное тепло, передаваемое реактору генератора-адсорбера за световой день, с 6 часов утра до 18 часов вечера, будет равно:

$$Q_{\text{пол}} = \int_{\tau=06}^{\tau=18} dq_{\text{пол}}(\tau). \quad (20)$$

Для расчета полезных тепловых нагрузок, воспринимаемых реактором генератора-адсорбера гелиоэнергетической холодильной установки, на основании формул (1)–(20) была разработана расчетная программа в программе Mathcad.

Расчетные значения полезной тепловой нагрузки по разработанной программе были проверены экспериментально на собранном стенде, представляющем конструкцию генератора-адсорбера. Замеры солнечной радиации определялись по показаниям пиранометра и актинометра, температура поверхностей корпуса реактора, стекла и других элементов – хромель-копелевыми термопарами с цифровым вольтметром, параметры теплоносителей – термометрами. Через корпус конструкции пустого реактора пропускали водоглицериновый раствор.

Полезная тепловая нагрузка за контрольный промежуток времени определялась по следующей формуле:

$$dq'_{\text{пол}}(\tau) = G_{\text{ж}} \cdot c_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} (T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}) d\tau,$$

где $G_{\text{ж}}$ – объемный расход жидкого теплоносителя, $\text{м}^3/\text{с}$; $c_{\text{ж}}$ – теплоемкость жидкого теплоносителя, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкого теплоносителя, $\text{кг}/\text{м}^3$; $T_{\text{вых}}$, $T_{\text{вх}}$ – температура жидкого теплоносителя на входе и выходе в корпус реактора, $^{\circ}\text{C}$.

На рис. 3 представлены графики замеров прямой и диффузионной составляющих солнечной радиации на открытом полигоне в г. Астрахани в июне месяце и расчетные значения тепловых нагрузок по приведенным выше уравнениям на корпус реактора генератора-адсорбера гелиоэнергетической холодильной установки. Здесь же приведены значения полезных тепловых нагрузок по экспериментальным данным теплотехнических замеров.

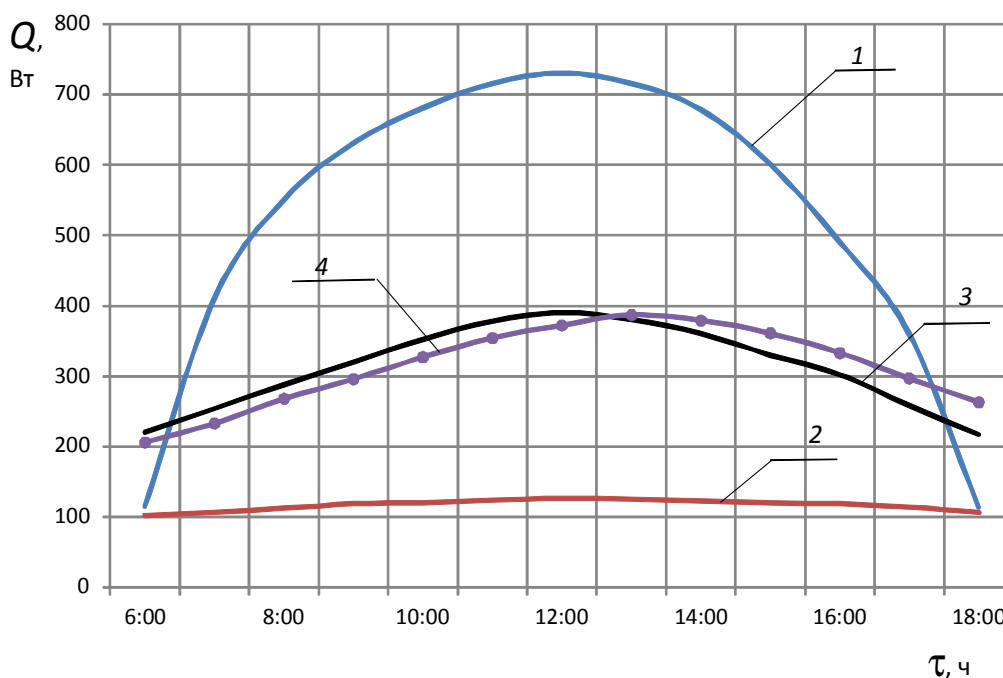


Рис. 3. Графики тепловых нагрузок на реактор генератора-адсорбера в течение светового солнечного дня в июне месяце: 1 – параметры прямой солнечной радиации; 2 – параметры диффузионной солнечной радиации; 3 – расчетные значения тепловых нагрузок; 4 – экспериментальные значения тепловых нагрузок

На графиках видно удовлетворительное совпадение расчетных данных с экспериментальными. Полного совпадения не происходит из-за тепловой инерции конструкции гелиоприемного устройства, которая в данной методике не учитывалась. Однако для практических расчетов она большого значения не имеет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руденко М. Ф. Разработка и исследование эффективности адсорбционной гелиохолодильной установки // Вестн. Междунар. академии холода. – 2003. – № 1. – С. 34–37.
2. Buchter F., Dind P. H., Pons M. An experimental solar-powered absorptive refrigeration tested in Burkina-Faso // Int. J. Refrigeration. – 2003. – 26. – P. 79–86.

3. *Thermal conductivities study of new types of compound adsorbents used in solar adsorption refrigeration* / Z. Huizhong, Z. Min, L. Jing, Y. Guoding, Z. Zhijun // *Energy Convers Manage.* – 2009. – Vol. 50. – P. 1244–1248.
4. *Boubakri A. A new conception of an adsorptive solar powered ice maker* // *Renewable Energy.* – 2003. – Vol. 28. – P. 831–842.
5. *Руденко М. Ф. Эффективность гелиоприемных устройств с концентраторами для систем тепло- и хладоснабжения.* – Саратов: Лаборатория нетрадиционной энергетики ОЭП СНЦ РАН, 2001. – 64 с.
6. *Ильин А. К., Руденко М. Ф., Коноплева Ю. В. Оценка эффективности концентраторов солнечной энергии* // *Изв. вузов. Машиностроение.* – 2002. – № 9. – С. 33–36.
7. *Руденко М. Ф., Туркпенбаева Б. Ж., Чивиленко Ю. В. Теоретические основы проектирования экологически безопасной гелиоэнергетической техники для производства теплоты.* – Актау: Изд-во АктГУ им. Ш. Есенова, 2008. – 165 с.
8. *Исаченко В. П., Сукомел А. С., Осипова В. А. Теплопередача: учеб. для вузов.* – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.

REFERENCES

1. *Rudenko M. F. Razrabotka i issledovanie effektivnosti adsorbtsionnoi geliokholodil'noi ustanovki* [Development and research of efficiency of adsorbing solar-powered installation]. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*, 2003, no. 1, pp. 34–37.
2. *Buchter F., Dind P. H., Pons M. An experimental solar-powered absorptive refrigeration tested in Burkina-Faso.* *Int. J. Refrigeration*, 2003, 26, pp. 79–86.
3. *Huizhong Z., Min Z., Jing L., Guoding Y., Zhijun Z. Thermal conductivities study of new types of compound adsorbents used in solar adsorption refrigeration.* *Energy Convers Manage*, 2009, vol. 50, pp. 1244–1248.
4. *Boubakri A. A new conception of an adsorptive solar powered ice maker.* *Renewable Energy*, 2003, vol. 28, pp. 831–842.
5. *Rudenko M. F. Effektivnost' geliopriemnykh ustroystv s kontsentratorami dlia sistem teplo- i khladosnabzheniia* [Efficiency of solar receivers with concentrators for the systems of heating and cooling]. *Saratov, Laboratoriia netraditsionnoi energetiki OEP SNTs RAN*, 2001. 64 p.
6. *Il'in A. K., Rudenko M. F., Konopl'va Iu. V. Otsenka effektivnosti kontsentratorov solnechnoi energii* [Assessment of the efficiency of concentrators of solar energy]. *Izvestiia vuzov. Mashinostroenie*, 2002, no. 9, pp. 33–36.
7. *Rudenko M. F., Turkpenbaeva B. Zh., Chivilenko Iu. V. Teoreticheskie osnovy proektirovaniia ekologicheskoi bezopasnosti geliоenergeticheskoi tekhniki dlia proizvodstva teploty* [Theoretical foundations of designing of ecologically safe solar-powered equipment for heat production]. *Aktau, Izd-vo AktGU im. Sh. Esenova*, 2008. 165 p.
8. *Isachenko V. P., Sukomel A. S., Osipova V. A. Teploperedacha* [Heat transfer]. *Moscow, Energoizdat*, 1981. 416 p.

Статья поступила в редакцию 12.02.2013

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шипулина Юлия Викторовна – Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук; доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и гидромеханика»; aleera78@mail.ru.

Shipulina Yulia Victorovna – Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department "Life Security and Hydromechanics"; aleera78@mail.ru.

Каримов Марат Шайдулаевич – Астраханский государственный технический университет; соискатель кафедры «Безопасность жизнедеятельности и гидромеханика»; aleera78@mail.ru.

Karimov Marat Shaidulaevich – Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Life Security and Hydromechanics"; aleera78@mail.ru.

Руденко Михаил Фёдорович – Астраханский государственный технический университет; д-р техн. наук, профессор; зав. кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и гидромеханика»; mf.rudenko@mail.ru.

Rudenko Mikhail Fedorovich – Astrakhan State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department "Life Security and Hydromechanics"; mf.rudenko@mail.ru.