

УДК 621.311.1.004

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО УЧАСТКА С МЕЛКОСЕРИЙНЫМ ХАРАКТЕРОМ ПРОИЗВОДСТВА¹

А.С. Романова

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: alyona512@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены проблемы энергетической эффективности гальванического участка промышленного предприятия с мелкосерийным характером производства. Проведен анализ потребляемых гальваническим участком энергоресурсов. Определены коэффициенты загрузки гальванических ванн в целом по участку и для каждой операции нанесения металлопокрытий в отдельности. Выявлена связанная с неравномерностью загрузки оборудования причина низкой энергоэффективности теплоснабжения участка, обусловленная невозможностью регулирования потребления тепловой энергии при централизованном пароснабжении. Составлен энергетический баланс теплообеспечения технологического процесса гальванического нанесения металлопокрытий для двух режимов работы технологического оборудования: вывода на режим и поддержания режима. Определены необходимые энергозатраты для нагрева гальванических ванн до номинальных температур, регламентируемых технологией процесса нанесения металлопокрытий, и энергозатраты, необходимые для стабилизации температурного режима процесса электролиза с учетом номенклатуры обрабатываемых деталей, продолжительности рабочего цикла, требуемой толщины и физических характеристик гальванического покрытия. Рассмотрены варианты децентрализованного теплоснабжения гальванических ванн с учетом технологических температур, коэффициентов загрузки и последовательности проведения операций нанесения металлопокрытий. Определен рациональный способ организации неравномерной загрузки гальванических ванн и технологического энергопотребления при децентрализованном теплоснабжении производственного участка. Установлен допустимый уровень снижения КПД промышленных серийных теплоисточников при повышенной неравномерности загрузки технологического оборудования. Предложен способ утилизации невостробованного технологического тепла в системе горячего водоснабжения с целью стабилизации КПД источников теплоснабжения на уровне, близком к номинальному. Определен экономический эффект от утилизации невостробованного технологического тепла на нужды горячего водоснабжения и отопления гальванического участка.

Ключевые слова: энергоэффективность, коэффициент загрузки, теплоснабжение, гальванический участок, теплообменник, КПД, парогенератор.



© Автор(ы), 2024

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (тема № АААА-А 12-2110800012-0).

Алена Сергеевна Романова, аспирант кафедры управления и системного анализа теплоэнергетических и социотехнических комплексов.

Введение

В условиях плановой экономики загрузка большинства промышленных предприятий в целом и их отдельных производственных участков осуществлялась достаточно ритмично и предсказуемо, а энергоснабжение обычно было централизованным. Вопросам энергосбережения и энергоэффективности не придавалось первостепенного значения [1, 2]. С переходом к рыночной экономике отсутствие долговременного планирования, устойчивого и равномерного выпуска продукции повлекло за собой снижение коэффициента загрузки оборудования и часто критический перерасход затраченной на технологические нужды производства энергии. В этих условиях проблема энергоэффективности определяющим образом влияет на конкурентоспособность продукции и принимает актуальный характер [3].

Обоснование

В работе рассматривается энергоемкий гальванический участок типового промышленного предприятия машиностроительной отрасли с мелкосерийным характером производства.

На участке установлено 50 ванн ($n = 50$) с подогревом электролита или воды для промывки деталей, через которые проходит 1,5 тысячи номенклатурных наименований деталей и узлов.

Потребляемые энергетические ресурсы на гальваническом участке можно разделить на две группы:

1 – энергоресурс на вспомогательные нужды: горячая вода и пар – на отопление, электрическая энергия – на освещение и горячее водоснабжение;

2 – энергоресурс на технологические нужды: пар – на нагрев электролита, электроэнергия – на нагрев электролита и проведение процесса электролиза.

Неравномерность загрузки оборудования определяет нерациональное потребление энергоресурса, его перерасход и является одной из причин низкой энергоэффективности гальванического участка [4, 5]. Наиболее энергозатратным оборудованием гальванического участка являются ванны [6].

Равномерность загрузки гальванических ванн характеризуется суммарным коэффициентом загрузки всех n ванн гальванического участка [7]:

$$K_3 = \frac{\sum_{k=1}^n T_k}{\sum_{k=1}^n T_{k\phi}},$$

где T_k – время работы k -й гальванической ванны, ч; $T_{k\phi}$ – фонд времени работы k -й гальванической ванны, ч.

Из рис. 1 видно, что суммарный коэффициент загрузки гальванического участка меняется, принимая значения от 0,34 до 0,15.

Коэффициент загрузки оборудования по каждой j -й группе операций определяется соотношением

$$K_o^j = \frac{T_{об}^j}{T_{\phi}^j}.$$

Здесь $T_{об}^j$ – время работы технологической группы гальванических ванн, обслуживающих соответствующую j -ю операцию, ч; $T_{ф}^j$ – фонд времени работы j -й группы оборудования, ч; $j=1$ – химическое оксидирование; $j=2$ – хромирование; $j=3$ – лужение; $j=4$ – травление; $j=5$ – хромовокислородное анодирование; $j=6$ – химическое никелирование; $j=7$ – электрополирование; $j=8$ – снятие нагара; $j=9$ – никелирование; $j=10$ – хроммолибденирование; $j=11$ – снятие специального слоя и нагара; $j=12$ – химическое фосфатирование с оксидированием в универсальной гидрофобизирующей жидкости; $j=13$ – снятие краски.

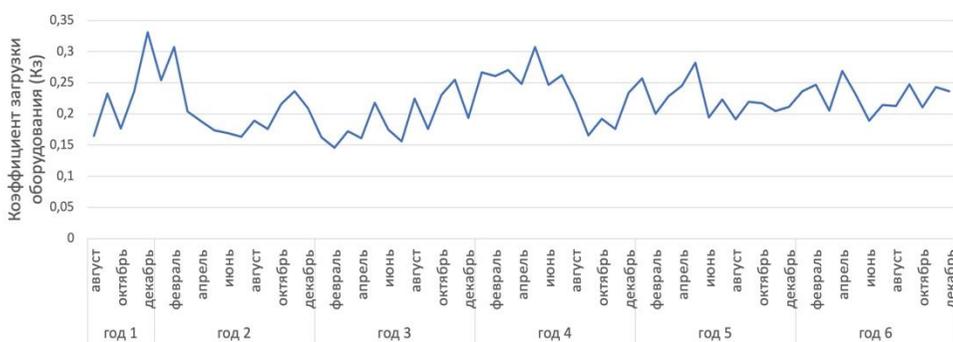


Рис. 1. Динамика суммарного коэффициента загрузки K_3 ванн

Рис. 2–4 показывают, что для каждой j -й группы операций коэффициенты загрузки K_o^j изменяются от 0 до 0,95 в зависимости от графика поступления в цех деталей и узлов. Несмотря на это пар для нагрева электролита поступает на участок круглосуточно, без возможности регулирования его расхода на отдельные группы ванн.

В работе [8] проанализирована организация теплообеспечения технологических процессов топливно-энергетическими ресурсами в зависимости от коэффициента загрузки технологического оборудования K_o^j и применяемого источника тепловой энергии трех вариантов комбинации и расстановки гальванических ванн с обеспечением их тепловой энергией от различных видов децентрализованных источников. В этой же работе установлено, что существующая организация теплоснабжения подогрева гальванических ванн при централизованном пароснабжении неэффективна по сравнению с децентрализованным теплоснабжением.

Рассмотрим возможность утилизации на вспомогательные нужды временных излишков тепла, вырабатываемого децентрализованными источниками гальванического участка, что не только напрямую обеспечивает дополнительный энергоресурс, снижая энергозатраты системы отопления и горячего водоснабжения, но и повышает равномерность распределения нагрузки на источники технологического теплоснабжения гальванического участка, увеличивая их КПД.

Для определения количества тепла, необходимого для нагрева ванн, и определения количества избыточного тепла от децентрализованных источников необходимо составить тепловой баланс технологического оборудования [9].

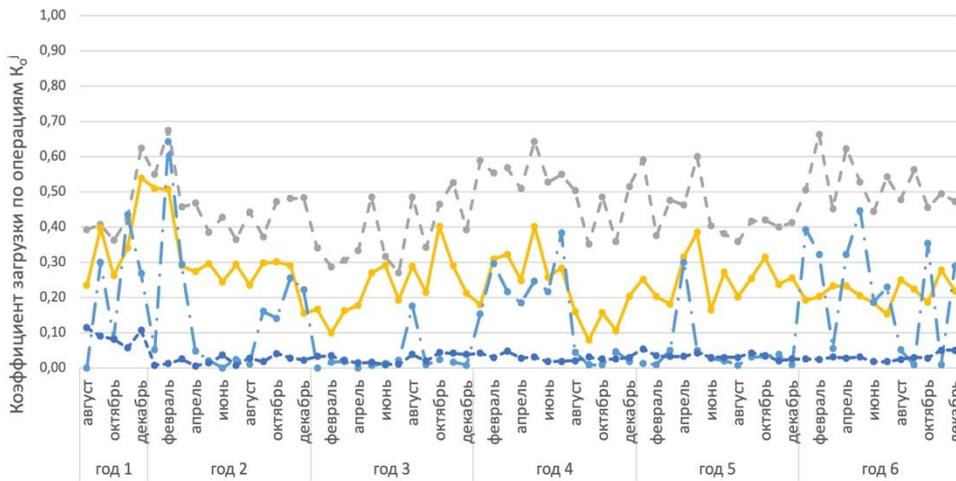


Рис. 2. Коэффициент загрузки оборудования по операциям K_o^j :

- K_o^1 – химическое оксидирование; —●— K_o^2 – хромирование;
- K_o^3 – лужение; —●— K_o^4 – травление

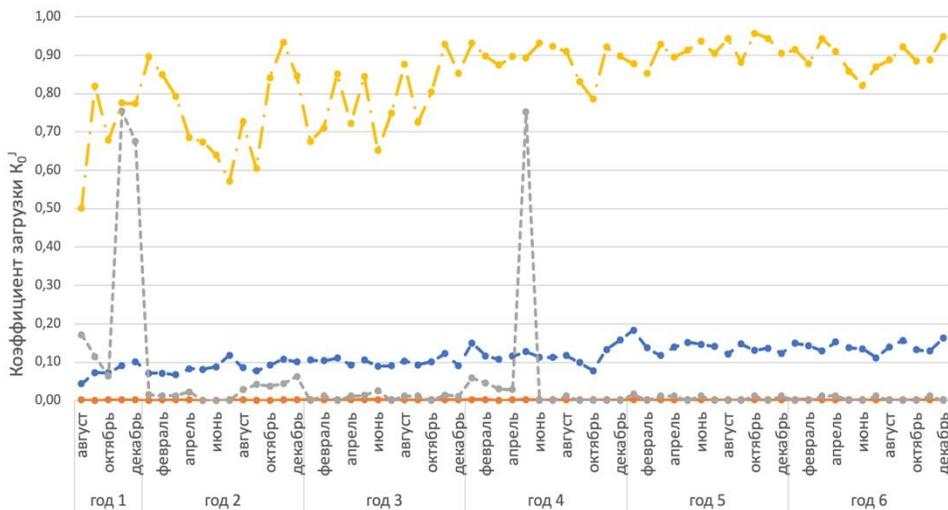


Рис. 3. Коэффициент загрузки оборудования по операциям K_o^j :

- K_o^5 – хромовокислотное анодирование; —●— K_o^6 – химическое никелирование;
- K_o^7 – электрополирование; —●— K_o^8 – снятие нагара

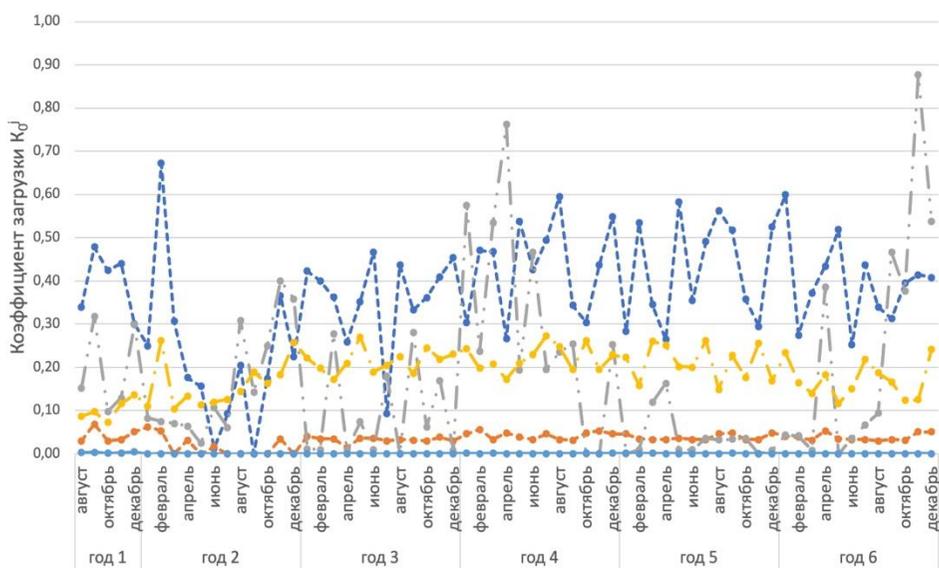


Рис. 4. Коэффициент загрузки оборудования по операциям K_0^j :

—●— K_0^9 – никелирование; —■— K_0^{10} – хроммолибденирование;
 —▲— K_0^{11} – снятие специального слоя и нагара; —◆— K_0^{12} – химическое фосфатирование с оксидированием в универсальной гидрофобизирующей жидкости; —●— K_0^{13} – снятие краски

Тепловой баланс технологического оборудования

Для энергоэффективной организации теплоснабжения гальванического производства составим тепловой баланс гальванических ванн.

Рассмотрим два режима работы гальванических ванн.

Вывод на режим

Для подготовки оборудования к проведению всех операций подготовки и гальванического нанесения металлопокрытий необходимо вначале нагреть ванны до требуемой технологической температуры T_1 (рис. 5). Процесс нагрева осуществляется с применением теплоисточника ТИ, находящегося внутри электролита.

Нагрев электролита. Пренебрегая неравномерностью распределения температуры по объему ванны, запишем зависимость температуры T_1 электролита от времени τ :

$$V_3 C_3 \rho_3 = \frac{dT_1}{d\tau} = Q_{в.и.} - S_3 \alpha_3 (T_1 - T_B) - 2S_{ст1} \frac{\lambda_{ст}}{\delta_{ст}} (T_1 - T_2) - 2S_{ст2} \frac{\lambda_{ст}}{\delta_{ст}} (T_1 - T_2) - S_{ст3} \frac{\lambda_{ст}}{\delta_{ст}} (T_1 - T_3).$$

Нагрев корпуса ванны. Температура боковых и фронтальных стенок ванны описывается уравнением [10]

$$C_{ст} \cdot \rho_{ст} \frac{dT_{ст}}{d\tau} = 2(S_{ст1} + S_{ст2}) \frac{\lambda_{ст}}{\delta_{ст}} (T_1 - T_2) - 2(S_{ст1} + S_{ст2}) \alpha_{ст} (T_2 - T_в) + S_{ст3} \frac{\lambda_{ст}}{\delta_{ст}} (T_1 - T_3).$$

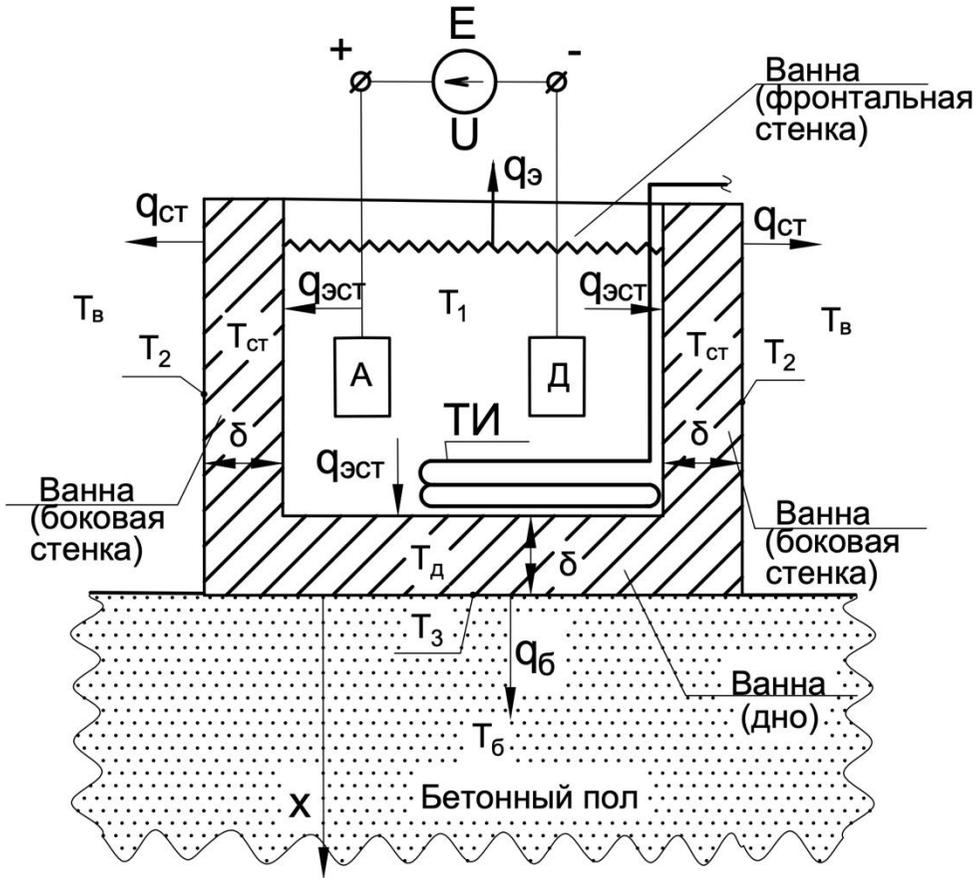


Рис. 5. Схема гальванической ванны: А – анод; Д – покрываемая деталь (катод); Е – источник тока

Здесь средняя температура стенки $T_{ст}$ и дна $T_{д}$ корпуса ванны:

$$T_{ст}(\tau) = \frac{1}{V_{ст}} \iiint_{V_{ст}} T_{c_x}(x, y, z, \tau) dV ; \quad (1)$$

$$T_{д}(\tau) = \frac{1}{V_{д}} \iiint_{V_{д}} T_{d_x}(x, y, z, \tau) dV .$$

На рассматриваемом гальваническом участке ванны установлены на бетонный пол без дополнительной теплоизоляции, что приводит к нагреву участка бетонного пола под ванной в соответствии с одномерным уравнением теплопроводности, в предположении одномерного характера прогрева пола:

$$C_б \rho_б \frac{\partial T_б}{\partial \tau} - \lambda_б \frac{\partial^2 T_б}{\partial x^2} = 0$$

с краевыми условиями:

$$\begin{aligned} T_{\text{б}}(x_i; \tau) \Big|_{\tau=0} &= T_i(\tau_0) = T_i(0); \\ T_{\text{б}}(x_i; \tau) \Big|_{\tau=0} &= T_3; \\ \frac{\partial T_{\text{б}}(x_i; \tau)}{\partial x} \Big|_{x \rightarrow \infty} &= 0; \\ T_{\text{б}}(x_i; \tau) \Big|_{x \rightarrow \infty} &\rightarrow T_i(\tau_0) = T_{\text{б.нач.}}. \end{aligned}$$

Энергозатраты на нагрев электролита. Количество теплоты Q_3 , необходимое для изменения средней по объему V_3 электролита от начальной T_{1_0} до T_{1_k} температуры T_1 , определяется интегральным законом Фурье:

$$\Delta Q_3 = V_3 \rho_3 C_3 (T_{1_0} - T_{1_k}). \quad (2)$$

Теплопотери через стенки корпуса ванны:

– на границе «электролит – стенка ванны» для составления баланса предполагается теплообмен при граничных условиях 1-го рода. Температура стенки равна температуре электролита (T_1);

– на границе «стенка ванны – воздух» принимаются граничные условия 3-го рода, где тепловой поток определяется:

$$q_{\text{ст}} = \alpha_{\text{ст}} (T_2 - T_{\text{в}}).$$

Для определения тепловых потерь через боковые стенки ванны необходимо найти распределение температурного поля в стенке ванны. В условиях идеального теплового контакта электролита с внутренней поверхностью стенки [11] температура стенки в нестационарном режиме определяется решением соответствующего уравнения теплопроводности для плоской стенки со смешанными граничными условиями:

$$T_{\text{ст},x} = T_1 - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\mu_n \xi) \exp(-\mu_n^2 F_0).$$

Температура $T_{\text{д},x}$ пола в нестационарном режиме определяется аналогично.

Количество теплоты $\Delta Q_{\text{ст}}$, проходящее через боковые и фронтальные стенки ванны в единицу времени:

$$\Delta Q_{\text{ст}} = q_{\text{ст}} 2(S_{\text{ст}1} + S_{\text{ст}2}).$$

Нагрев корпуса ванны. Определение количества теплоты на нагрев конструкции ванны производится аналогично расчету расхода тепла на нагрев электролита (2). Тепло $\Delta Q_{\text{в}}$ на нагрев элемента объема конструкции ванны за время $\Delta \tau$, затраченное на нагрев электролита до технологической температуры ($\Delta \tau = (\tau_{\text{к}} - \tau_0)$):

$$\Delta Q_{\text{в}} = V_{\text{в}} \rho_{\text{в}} C_{\text{в}} (T_{\text{ст}} - T_{\text{ст}0}). \quad (3)$$

Тепловые потери от зеркала электролита. Для расчета потерь тепла от зеркала электролита при нагреве ванны используется граничные условия по закону Ньютона:

$$Q_3 = \alpha_3 S_3 (T_1 - T_0).$$

Здесь и всюду: $T_{ст,x} \Big|_{\tau=0} = T_{ст0}$ – температура корпуса ванны в момент времени $\tau = 0$, °C; C_B – теплоемкость материала стенок ванны, Дж/(кг·°C); ρ_B – плотность материала корпуса ванны, кг/м³; $V_B = \sum V_{ст}$ – общий объем стенок ванны, м³; $T_{ст}$ – средняя температура стенки ванны при времени τ_k , рассчитывается по (1), °C; $T_{ст,x}$ – температурное распределение по толщине δ стенки, °C; μ_n – корень характеристического уравнения $\left(\text{ctg} \mu_n = \left(\frac{1}{\text{Bi}} \right) \mu_n \right)$, $\text{Bi} = \frac{\alpha_c}{\lambda}$; λ_c – коэффициент теплопроводности стенки; $\xi = \frac{x}{\delta}$ – относительная координата толщины стенки; $F_0 = \frac{(\alpha \tau)}{\delta^2}$ – критерий Фурье; $A_n = \frac{2 \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n}$, $n = 1, 2, \dots$ (для наружной поверхности боковых стенок $x = \delta$, $\xi = 1$); V_3 – объем электролита, м³; $V_{ст}$, V_d – объем соответствующего элемента конструкции ванны (стенки или пола), м³; ρ_3 – плотность электролита, кг/м³; C_3 – теплоемкость электролита, Дж/(кг·°C); $C_{ст}$ – теплоемкость стенок ванны, Дж/(кг·°C); T_{10} – температура электролита в момент времени $\tau_0 = 0$, °C; T_{1k} – температура электролита в момент времени τ_k , °C; $\rho_{ст}$ – плотность материала стенок ванны, кг/м³; $Q_{в.и.}$ – тепловая мощность внешнего источника, Вт; S_3 – площадь поверхности электролита, м²; α_3 – коэффициент теплоотдачи от зеркала электролита, Вт/м²; $\alpha_{ст}$ – коэффициент теплопередачи от стенок к воздуху, Вт/(м²·°C); T_1 – температура электролита, °C; T_B – температура окружающего ванну воздуха, °C; $S_{ст1}$ – площадь боковой поверхности стенки, м²; $S_{ст2}$ – площадь фронтальной поверхности стенки, м²; $S_{ст3}$ – площадь дна ванны; $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стенки ванны, Вт/(м·°C); $\delta_{ст}$ – толщина стенки, м; T_2 – температура наружной поверхности стенки, °C; $S_3 = S_{п}$ – площадь поверхности пола, м²; $\lambda_{п}$ – коэффициент теплопроводности пола, Вт/(м·°C); $\delta_{п} = \delta$ – толщина пола, м; T_3 – температура внешней поверхности пола, °C; Вт/(м²·°C).

Поддержание режима

После вывода на режим для проведения процесса электролиза температура электролита поддерживается постоянной и не меняется со временем $\left(\frac{\partial T_1}{\partial \tau} = 0 \right)$ [12, 13].

Поддержание стационарного теплового режима гальванических ванн требует компенсации тепловых потерь в окружающую среду от стенок ванны, от дна ванны в бетонный пол, от зеркала электролита; количества тепла, затрачиваемого

на нагрев загружаемых деталей, и количества тепла, выделившегося при прохождении электрического тока через объем электролита:

$$Q_{в.и.} - (S_3 \alpha_3 (T_1(\tau_k) - T_b) + 2(S_{ст1} + S_{ст2}) \alpha_{ст} (T_2(\tau_k) - T_b) - Q_{эт} + V_d C_d \rho_d (T_1(\tau_k) - T_{д0})) \tau_{пр} = 0$$

Здесь $\tau_{пр}$ – продолжительность технологического процесса, с; $Q_{эт}$ – количество теплоты, выделяющееся при прохождении электрического тока через электролит.

Потери тепла через стенки корпуса ванны. С учетом допущения идеального теплового контакта в стационарном режиме на границе «электролит – стенка» температура на внутренней поверхности стенки будет равна температуре электролита ($T_1(\tau_k)$).

Температура внешней поверхности стенки ванны $T_2 = T_e + q_{ст} \frac{1}{\alpha_{ст}}$, тогда тепловой поток, проходящий через плоскую стенку в стационарном режиме, определяется выражением

$$q_{ст} = \frac{T_1(\tau_k) - T_2}{\left(\frac{\delta}{\lambda_{ст}}\right) + \alpha_{ст}}$$

Количество теплоты, необходимое для компенсации тепловых потерь через стенки ванны при осуществлении технологического процесса, определяется:

$$Q_c = 2(S_{ст1} + S_{ст2}) q_{ст} \tau_{пр}$$

Потери тепла от зеркала электролита:

$$Q_3 = \alpha_3 S_3 (T_1(\tau_k) - T_b) \tau_{пр}$$

Затраты тепла на нагрев загружаемых деталей. В установившемся технологическом режиме работы ванны производится загрузка холодных деталей и затрачивается тепло на их нагрев. Определение количества теплоты на нагрев загруженных деталей без внутренних тепловыделений происходит аналогично (2), (3):

$$Q_d = V_d C_d r_d (T_1(t_k) - T_{д0})$$

Здесь V_d – объем загружаемых деталей, м³; $T_{д0}$ – начальная температура детали до погружения в ванну, °С; r_d – плотность материала деталей, (кг/м³); C_d – теплоемкость загружаемых деталей, (Дж/(кг·°С)).

Технологическое тепловыделение. При проведении процесса электролиза для создания разности электрических потенциалов между катодом и анодом анод и катод подключают к источнику тока E (см. рис. 5). При прохождении электрического тока через электролит в нем выделяется тепло по закону Джоуля – Ленца:

$$Q_{\text{эт}} = \int_{\tau_k}^{\tau_{\text{пр}}} I^2 R d\tau.$$

Здесь I – сила тока, необходимая для осуществления процесса; R – сопротивление электролита.

По результатам теплового баланса определена динамика требуемого для обеспечения технологии гальванических процессов количества теплоты (рис. 6).

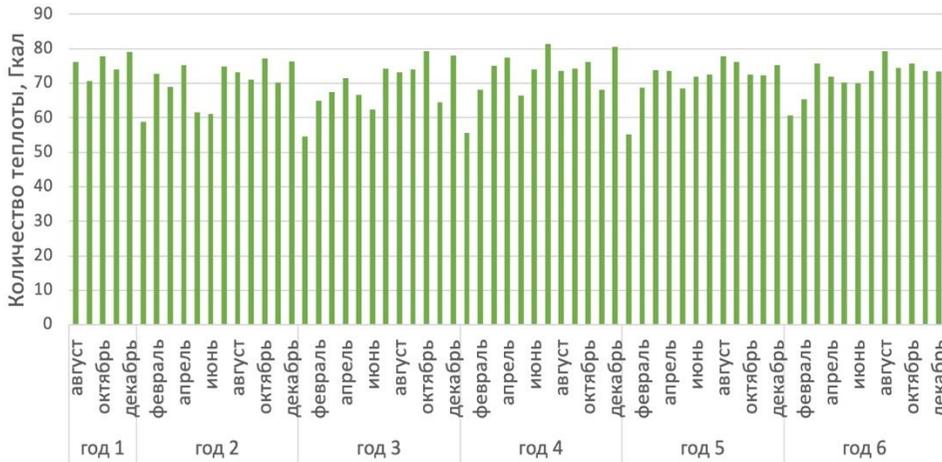


Рис. 6. Динамика требуемого количества теплоты на технологические процессы

Децентрализованное пароснабжение гальванического участка

В работе [8] установлено, что газовый парогенератор для обеспечения технологического теплоснабжения эффективно использовать в качестве децентрализованного источника тепла гальванического участка с последовательно-параллельным графиком работы оборудования.

В связи с неравномерностью коэффициента загрузки (K_z) гальванического оборудования не представляется возможным организовать равномерную номинальную загрузку парогенератора с максимальным КПД. Если же обеспечивать равномерную номинальную загрузку парогенератора при неравномерном потреблении пара гальваническим участком, высвобождается некоторое количество теплоты, которое можно использовать на общецеховые нужды отопления и горячего водоснабжения (ГВС).

Определим не востребуемое количество тепла от парогенератора при его равномерной номинальной загрузке из формулы КПД парогенератора [14, 15]. Максимальный КПД парогенератора согласно технической документации определяется формулой

$$\eta = \frac{Q_{\text{пр}} 100}{B Q_{\text{н}}^{\text{р}}}$$

где $Q_{\text{пр}}$ – количество тепла, вырабатываемое парогенератором (ккал); B – расход топлива (кг/ч); $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – низшая рабочая теплота сгорания топлива для природного газа $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 8630$ (ккал/кг).

При равномерной номинальной нагрузке парогенераторов вырабатывается тепло, не востребованное для обеспечения нужд процессов нанесения гальванических покрытий, количество которого представлено на диаграмме (рис. 7).

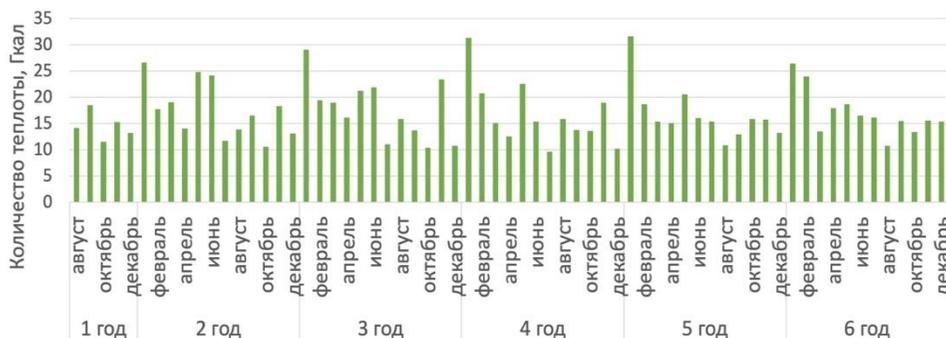


Рис. 7. Количество теплоты, не востребованное при равномерной номинальной нагрузке парогенераторов

Определим эффективность использования пара на нужды отопления и ГВС в предложенном способе.

Для использования невогребованного тепла [16] при равномерной номинальной нагрузке парогенераторов предлагается установка пароаккумулятора в системе технологического теплоснабжения с подключением его к парогенераторам и передачей тепловой энергии в системы отопления и ГВС (рис. 8).

Рассмотрим энергетический (рис. 9) и экономический (рис. 10) эффект от внедрения пароаккумулятора для обеспечения равномерности и номинальной нагрузки парогенераторов при отпуске невогребованного тепла в систему отопления и ГВС.

При использовании невогребованного тепла от парогенераторов на нужды отопления и ГВС наблюдается существенное увеличение их КПД вплоть до паспортных значений (рис. 11).

Из таблицы видно, что при использовании избытков тепла от парогенераторов в системе ГВС экономический эффект за 5 лет на 2619 тыс. руб. больше, чем при использовании избыточного тепла только в системе отопления. Обуславливается это сезонностью работы системы отопления.

Экономический эффект от использования излишков тепла от парогенератора в системе отопления и ГВС за 5 лет

| Система теплоснабжения | Количество тепла, Гкал | Ед. изм. тарифа | Тариф, руб. | Экономический эффект, руб. |
|--|------------------------|-----------------|-------------|----------------------------|
| Теплоснабжение гальванических ванн (парогенератор) | 1097,85 | – | – | – |
| Отопление | 616,923 | руб/Гкал | 1558 | 961170,116 |
| ГВС | 933,169 | руб/кВт·ч | 4,1 | 3581117,12 |

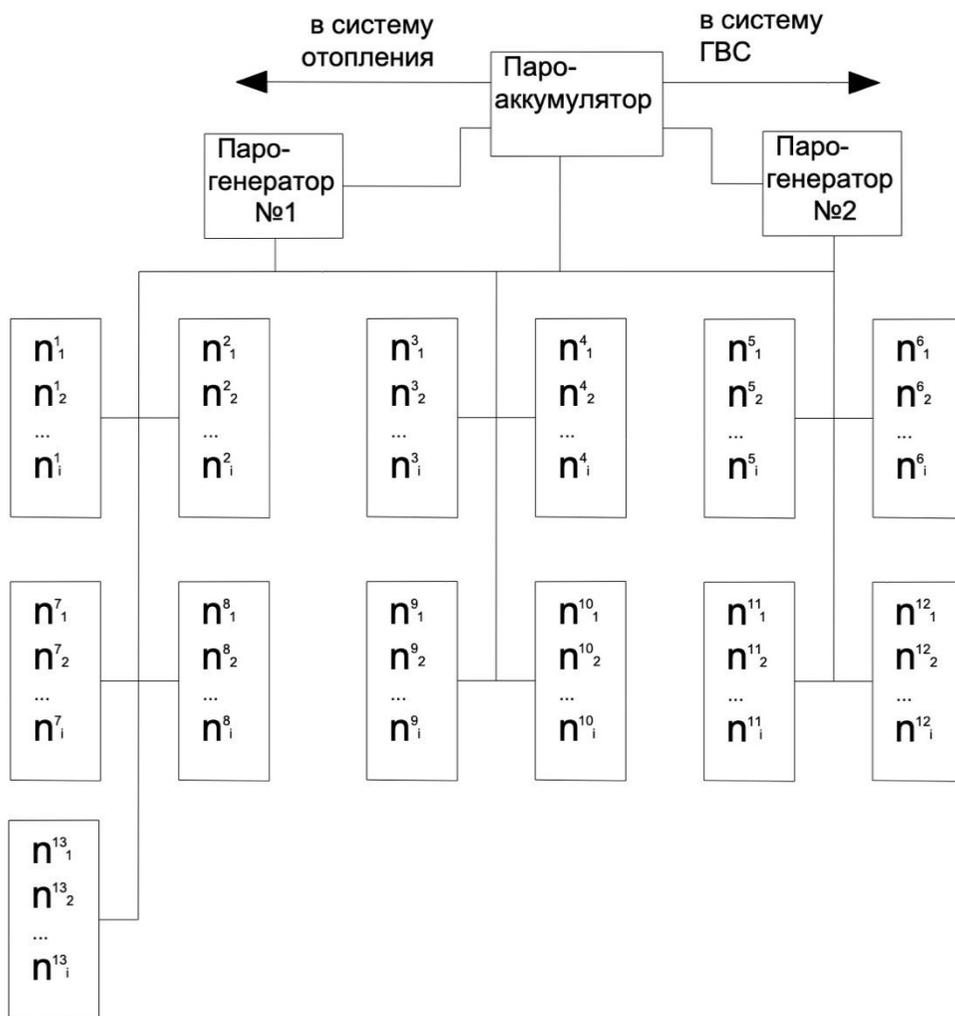


Рис. 8. Схема подключения систем отопления и водоснабжения к газовым парогенераторам: $n_1^1, n_2^1, \dots, n_i^1$ – ряд ванн, выполняющих операцию химического оксидирования; $n_1^2, n_2^2, \dots, n_i^2$ – ряд ванн, выполняющих операцию хромирования; $n_1^3, n_2^3, \dots, n_i^3$ – ряд ванн, выполняющих операцию лужения; $n_1^4, n_2^4, \dots, n_i^4$ – ряд ванн, выполняющих операцию травления; $n_1^5, n_2^5, \dots, n_i^5$ – ряд ванн, выполняющих операцию хромово-кислого анодирования; $n_1^6, n_2^6, \dots, n_i^6$ – ряд ванн, выполняющих операцию химического никелирования; $n_1^7, n_2^7, \dots, n_i^7$ – ряд ванн, выполняющих операцию электрополирования; $n_1^8, n_2^8, \dots, n_i^8$ – ряд ванн, выполняющих операцию снятия нагара; $n_1^9, n_2^9, \dots, n_i^9$ – ряд ванн, выполняющих операцию никелирования; $n_1^{10}, n_2^{10}, \dots, n_i^{10}$ – ряд ванн, выполняющих операцию хроммолибденирования; $n_1^{11}, n_2^{11}, \dots, n_i^{11}$ – ряд ванн, выполняющих операцию снятия спецслоя и нагара; $n_1^{12}, n_2^{12}, \dots, n_i^{12}$ – ряд ванн, выполняющих операцию химического фосфатирования с оксидированием в универсальной гидрофобизирующей жидкости; $n_1^{13}, n_2^{13}, \dots, n_i^{13}$ – ряд ванн, выполняющих операцию снятия краски

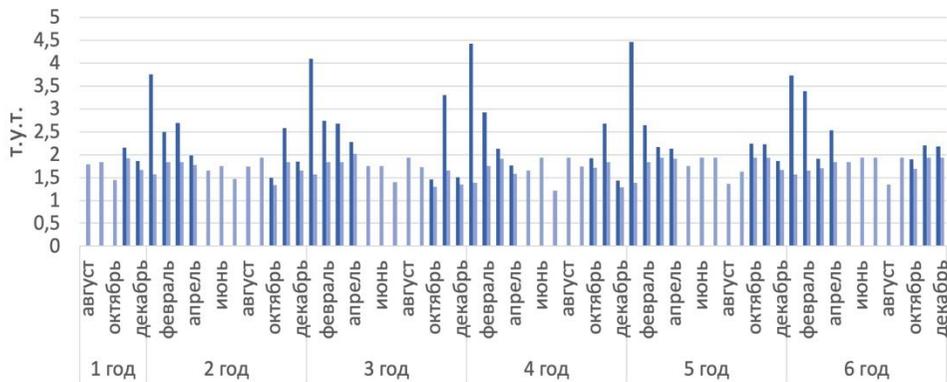


Рис. 9. Энергетический эффект: ■ – система отопления; ■ – система ГВС

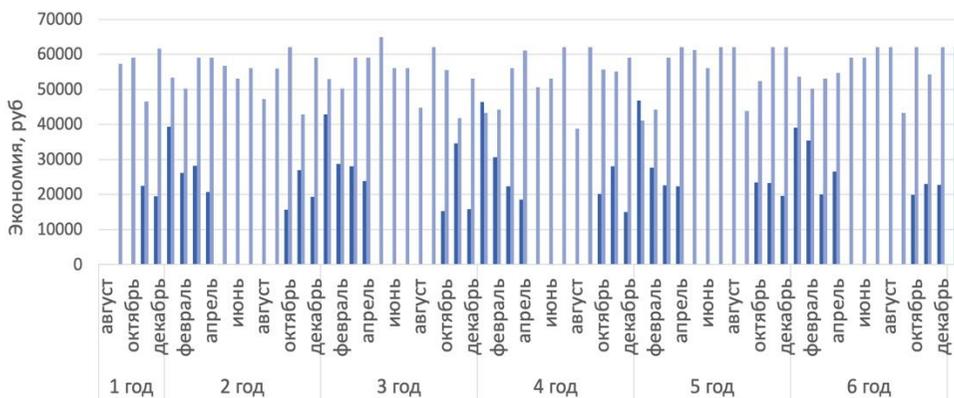


Рис. 10. Экономический эффект: ■ – система отопления; ■ – система ГВС

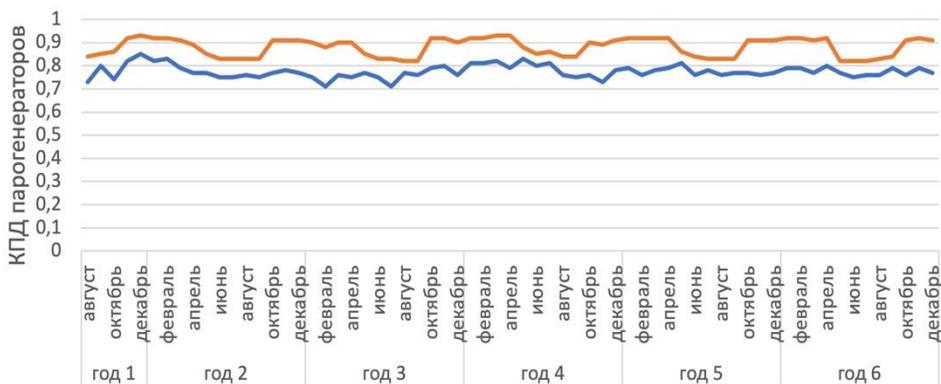


Рис. 11. КПД парогенераторов: ■ – КПД парогенераторов при исключительном обеспечении технологических процессов; ■ – КПД парогенераторов при дополнительном снабжении систем отопления и ГВС

Заключение

При использовании парогенератора на технологические нужды гальванического участка с мелкосерийным характером производства для повышения энергоэффективности и получения максимального КПД парогенераторов предложено использование избыточного тепла от парогенераторов на нужды системы водяного отопления и ГВС. Увеличение КПД при подключении парогенераторов дополнительно к системам теплоснабжения и ГВС составило от 6 до 12 % в сравнении с работой парогенераторов только на технологические нужды. Установлено, что при использовании избыточного тепла на ГВС наблюдается экономический эффект больше в 3,7 раза, чем при использовании на нужды системы отопления, что обуславливается сезонностью работы системы отопления и постоянством потребления тепла от системы ГВС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Mariana Resener, Steffen Rebennack, Panos M. Pardalos, Sérgio Haffner.* Handbook of Optimization in Electric Power Distribution Systems // Publisher Springer Cham Published: 25 February 2020. Number of Pages XI, 382.
2. *Виноградов С.С.* Организация гальванического производства. Оборудование, расчет производства, нормирование. М.: Глобус, 2005. 240 с.
3. *Пиркин А.Г.* Теоретические основы системного анализа энергообеспечения предприятий. СПб: СПбГАУ, 2021. 92 с.
4. *Kogan M.V., Mitchenko I.A.* Economic risk planning of the industrial enterprises // European Journal of Economic Studies. 2012. No. 1(1). Pp. 30–36.
5. *Шлугер М.А.* Гальванические покрытия в машиностроении. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
6. *Вайнер Я.В., Дасоян М.А.* Оборудование цехов электрохимических покрытий. М.: Машиностроение, 1971. 288 с.
7. *Чичкина В.Д.* Организация и планирование производства. Самара: СамГУ, 2012. 186 с.
8. *Романова А.С., Микушин М.Б., Воеводин А.Ю.* Анализ энергоемкости гальванического комплекса машиностроительного производства // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2021. Т. 29. № 4. С. 44–55. doi: 10.14498/tech.2021.4.4
9. *Цаплин А.И., Никулин И.Л.* Моделирование теплофизических процессов и объектов в металлургии. Пермь: ПГТУ, 2011. 299 с.
10. *Лыков А.В.* Теплообмен. М.: Энергия, 1978. 480 с.
11. *Чередниченко В.С., Синецын В.А., Алиферов А.И. и др.* Теплопередача. Новосибирск: НГТУ, 2007. 232 с.
12. *Нацокин В.В.* Техническая термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 1959. 560 с.
13. *Крейт Ф., Блэк У.* Основы теплопередачи. М.: Мир, 1983. 512 с.
14. *Ковалев А.П., Лелеев Н.С., Виленский Т.В.* Парогенераторы. М.: Энергоатомиздат, 1985. 376 с.
15. *Дубровский В.А.* Увеличение тепловой эффективности поверхности нагрева котельных агрегатов // Тезисы докладов II всесоюзной конференции Теплообмен в парогенераторах. Новосибирск: СО АН СССР, 1990. С. 23–24.
16. *Бородуля А.В., Хассан А.Ф., Пальченко Г.И.* Теплообмен в топочном объеме парогенераторов с кипящим слоем // Тезисы докладов II всесоюзной конференции Теплообмен в парогенераторах. Новосибирск: СО АН СССР, 1990. С. 60–63.

Статья поступила в редакцию 20.10.2024 г.

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF A GALVANIC AREA WITH A SMALL-SCALE NATURE OF PRODUCTION¹

A.S. Romanova

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

E-mail: alyona512@yandex.ru

Abstract. *The article considers the problems of energy efficiency of the galvanic section of an industrial enterprise with a small-scale production nature. An analysis of the energy resources consumed by the galvanic section is carried out. The galvanic bath load factors are determined for the section as a whole and for each metal coating application operation separately. The reason for the low energy efficiency of the section's heat supply associated with the uneven equipment load is revealed, due to the impossibility of regulating the consumption of thermal energy with a centralized steam supply. An energy balance of heat supply for the technological process of galvanic application of metal coatings is compiled for two operating modes of the process equipment: bringing to the mode and maintaining the mode. The energy costs required for heating the galvanic baths to the nominal temperatures regulated by the technology of the metal coating application process and the energy costs required to stabilize the temperature mode of the electrolysis process are determined, taking into account the nomenclature of the processed parts, the duration of the working cycle, the required thickness and physical characteristics of the galvanic coating. The article considers options for decentralized heat supply of galvanic baths taking into account process temperatures, load factors and the sequence of metal coating application operations. It defines a rational method for organizing uneven loading of galvanic baths and process energy consumption during decentralized heat supply of the production area. It establishes an acceptable level of efficiency reduction of industrial serial heat sources with increased loading of process equipment. It proposes a method for utilizing unclaimed process heat in the hot water supply system in order to stabilize the efficiency of heat supply sources at a level close to the nominal one. It defines the economic effect of utilizing unclaimed process heat for the needs of hot water supply and heating of the galvanic area.*

Keywords: *energy efficiency, load factor, heat supply, galvanic section, heat exchanger, efficiency, steam generator.*

REFERENCES

1. *Mariana Resener, Steffen Rebennack, Panos M. Pardalos, Sérgio Haffner.* Handbook of Optimization in Electric Power Distribution Systems // Publisher Springer Cham Published: 25 February 2020. Number of Pages XI, 382.
2. *Vinogradov S.S.* Organizaciya gal'vanicheskogo proizvodstva. Oborudovanie, raschet proizvodstva, normirovanie [Organization of galvanic production. Equipment, production calculations, rationing]. M.: Globus, 2005. 240 p. (In Russian)
3. *Pirkin A.G.* Teoreticheskie osnovy sistemnogo analiza energoobespecheniya predpriyatij. Uchebnoe posobie dlya obuchayushchihnya po napravleniyu podgotovki 35.04.06. Agroi-



© The Author(s), 2024

¹ *The research was conducted with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the state assignment (topic No. AAAA-A 12-2110800012-0).*

Alena S. Romanova, Postgraduate Student.

- zheneriya [Theoretical foundations of system analysis of energy supply to enterprises. Textbook for students in the field of training 04/35/06. Agroengineering]. SPb.: SPbGAU, 2021. 92 p. (In Russian)
4. *Kogan M.V., Mitchenko I.A.* Economic risk planning of the industrial enterprises // *European Journal of Economic Studies*. 2012. No. 1(1). Pp. 30–36.
 5. *Shluger M.A.* Galvanicheskie pokrytiya v mashinostroenii [Galvanic coatings in mechanical engineering]. M.: Mashinostroenie, 1985. 240 p. (In Russian)
 6. *Vajner Ya.V., Dasoyan M.A.* Oborudovanie cekhov elektrohimicheskikh pokrytij [Equipment for electrochemical coating workshops]. M.: Mashinostroenie, 1971. 288 p. (In Russian)
 7. *Chichkina V.D.* Organizaciya i planirovanie proizvodstva [Organization and planning of production]. Samara: SamGU, 2012. 186 p. (In Russian)
 8. *Romanova A.S., Mikushin M.B., Voevodin A.Yu.* Analiz energoemkosti gal'vanicheskogo kompleksa mashinostroitelnogo proizvodstva [Analysis of the energy intensity of the galvanic complex of machine-building production] // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki*. 2021. Vol. 29. No. 4. Pp. 44–55. doi: 10.14498/tech.2021.4.4 (In Russian)
 9. *Caplin A.I., Nikulin I.L.* Modelirovanie teplofizicheskikh processov i ob"ektov v metallurgii [Modeling of thermophysical processes and objects in metallurgy]. Perm: PGU, 2011. 299 p. (In Russian)
 10. *Lykov A.V.* Teplomassoobmen [Heat and mass transfer]. M.: Energiya, 1978. 480 p. (In Russian)
 11. *Cherednichenko V.S., Sinicyn V.A., Aliferov A.I. i dr.* Teploperedacha [Heat transfer: textbook for universities]. Novosibirsk: NGTU, 2007. 232 p. (In Russian)
 12. *Nashchokin V.V.* Tekhnicheskaya termodinamika i teploperedacha [Technical thermodynamics and heat transfer]. M.: Vysshaya shkola, 1959. 560 p. (In Russian)
 13. *Krejt F., Blek U.* Osnovy teploperedachi [Fundamentals of Heat Transfer]. M.: Mir, 1983. 512 p. (In Russian)
 14. *Kovalev A.P., Leleev N.S., Vilenskij T.V.* Parogeneratory [Steam Generators]. M.: Energoatomizdat, 1985. 376 p. (In Russian)
 15. *Dubrovskij V.A.* Uvelichenie teplovoj effektivnosti poverhnosti nagreva kotel'-nyh agregatov. Teploobmen v parogeneratorah [Increasing the Thermal Efficiency of the Heating Surface of Boiler Units. Heat Transfer in Steam Generators]. Novosibirsk, 1990. Pp. 23–24. (In Russian)
 16. *Borodulya A.V., Hassan A.F., Pal'chenok G.I.* Teploobmen v topochnom ob"eme parogeneratorov s kipyashchem sloem. Teploobmen v parogeneratorah [Heat Transfer in the Furnace Volume of Fluidized Bed Steam Generators. Heat Transfer in Steam Generators]. Novosibirsk, 1990. Pp. 60–63. (In Russian)

Original article submitted 20.10.2024