

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА КРУПНОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.С. Романова

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

Рассмотрены проблемы энергосбережения типового крупного машиностроительного предприятия мелкосерийного и единичного типа производства. Произведен анализ потребления топливно-энергетических ресурсов с выявлением его зависимости от динамики объемов производства и температуры наружного воздуха. Выбран наиболее энергоемкий технологический комплекс. Составлен энергобаланс энергоемкого технологического участка – гальванического производства. Рассмотрены возможные варианты технологического энергообеспечения и определен рациональный вариант. Для энергообеспечения гальванического производства предложено децентрализованное снабжение паром от мобильных парогенераторов, работающих на газообразном виде топлива.

Ключевые слова: энергопотребление, энергоемкость, промышленное предприятие, топливно-энергетический ресурс, коэффициент корреляции, теплотери, гальваническое производство, энергобаланс, энергоэффективность.

Введение

Энергопотребление машиностроительного комплекса России отличается высокой удельной энергоемкостью производимой продукции по сравнению с машиностроительным комплексом большинства промышленно развитых стран. Особенно высокая удельная энергоемкость характерна для крупных предприятий мелкосерийного и единичного типа производства, таких как предприятия тяжелого энергомашиностроения, авиастроения и ракетно-космической отрасли [1].

Объясняется это рядом причин, среди которых можно выделить специфические для России.

Во-первых, такие предприятия, основанные в СССР, были ориентированы на производство продукции оборонного назначения и при их проектировании вопросы энергоэффективности считались второстепенными.

Во-вторых, значительная часть этих предприятий являлись градообразующими и в любом случае несли значительную социальную нагрузку, энергетическая компонента которой увеличивала удельные энергозатраты продукции.

В-третьих, особенности организации технологических процессов, ориентированных на единичное мелкосерийное производство на этих предприятиях, создают препятствия для внедрения энергосберегающих мероприятий. Во всяком случае, на этих предприятиях решение проблемы энергосбережения наталкивается на значительно большие трудности по сравнению с предприятиями с крупносерийным и массовым производством.

В современных условиях конкурентной рыночной экономики высокая энергоемкость при производстве продукции этих предприятий существенно снижает перспективы успешного ее продвижения на потребительском рынке [2].

Особенности энергопотребления на крупном машиностроительном предприятии

Рассмотрим энергобаланс типичного крупного предприятия машиностроительного комплекса, ориентированного на мелкосерийное и единичное производства.

На рис. 1 приведен годовой график централизованной закупки ТЭР на коммунальные и технологические нужды, объемы производства и среднемесячная температура наружного воздуха.

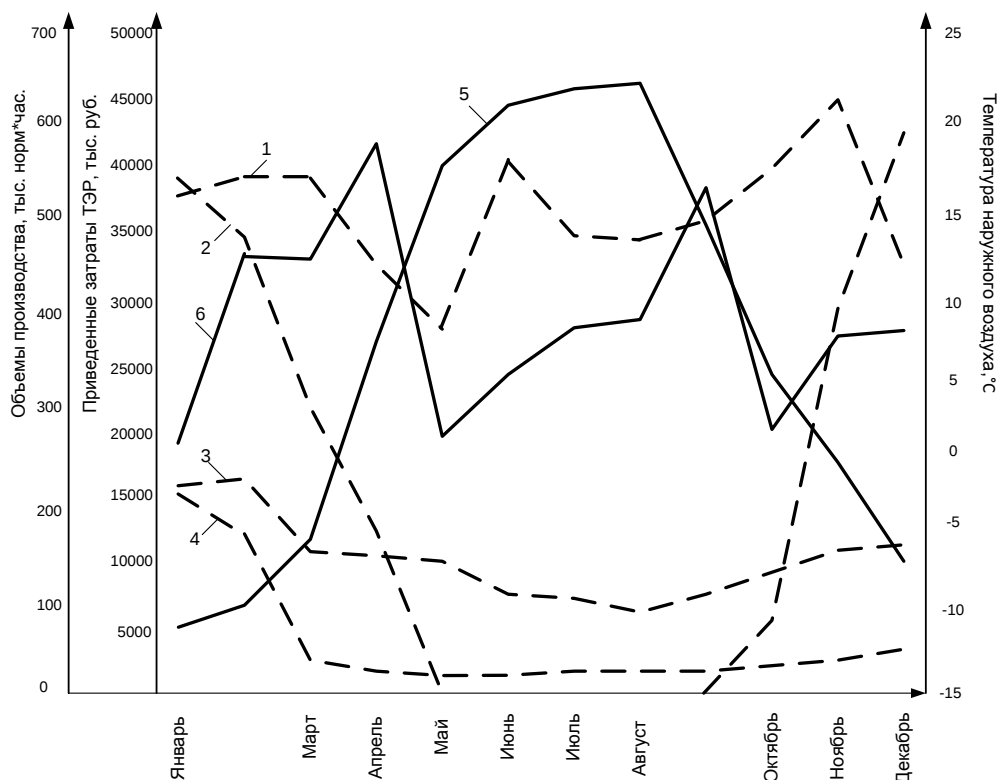


Рис. 1. Графики закупки ТЭР, график изменения объемов производства, график изменения температуры наружного воздуха:

1 – электроэнергия; 2 – отопление; 3 – объем производства; 4 – пар; 5 – газ; 6 – температура наружного воздуха

В таблице 1 приведены коэффициенты корреляции, вычисленные по формуле (1), между потреблением ТЭР, динамикой изменения объемов производства и среднемесячной температурой наружного воздуха [3]

$$r_{y_1 y_2} = \frac{\sum_{u=1}^N (y_{u1} - \bar{y}_1)(y_{u2} - \bar{y}_2)}{\sqrt{\sum_{u=1}^N (y_{u1} - \bar{y}_1)^2 \sum_{u=1}^N (y_{u2} - \bar{y}_2)^2}}. \quad (1)$$

Здесь $y_1 = \sum_{u=1}^N \frac{y_{u1}}{N}$ и $y_2 = \sum_{u=1}^N \frac{y_{u2}}{N}$ – средние значения параметров y_{u1} и y_{u2} [4].

Коэффициенты корреляции

ТЭР	Коэффициент взаимной корреляции $r_{y_1y_2}$	
	ТЭР и объемы производства y_{u1} – количество ТЭР потребленного y_{u2} – объем производства	ТЭР и среднемесячная температура наружного воздуха y_{u1} – количество ТЭР потребленного y_{u2} – температура наружного воздуха
Электрическая энергия	0,067	-0,105
Отопление	-0,189	-0,91
Пар	-0,085	-0,843
Газ	-0,288	-0,622

Расхождение на графике пиков потребления электрической энергии и изменения объемов производства примерно на 2 месяца объясняется тем, что обычно производственный цикл начинается с подготовительных работ, не требующих больших затрат электроэнергии. Энергопотребление на отопление производственной площадки зависит в основном от температуры наружного воздуха в соответствии с температурным графиком отопительной системы. Температура используемого на предприятии пара также в большей степени зависит от температуры наружного воздуха, чем от динамики изменения объемов производства. Это объясняется централизованным поступлением пара на промышленную площадку. Наблюдается некоторое искажение зависимости расхода пара (газа) на отопление от температуры наружного воздуха из-за частичного обогрева помещений технологическим оборудованием.

Рассмотрим возможность повышения энергоэффективности наиболее энергоемкого гальванического производства.

Энергопотребление гальванического производства машиностроительного предприятия

Пароснабжение основной площадки предприятия осуществляется централизованно от ТЭЦ. Проходя по внутриплощадочным магистральным сетям от тепловыделителя до мест потребления, теплоноситель теряет большое количество тепла. Пар поступает на промышленную площадку с температурой 230–240 °С, а на местах потребления его температура составляет не более 110 °С. Большие потери связаны с недостаточной изоляцией и неудовлетворительным состоянием паропровода, поэтому приходится осуществлять электроподогрев гальванических ванн.

Потребителями пара на предприятии кроме гальванических ванн являются моечные машины, прокатное оборудование, сушильные шкафы, установки для термообработки, частично приточно-отопительные вентиляционные установки и т. д.

Потребители распределены по разным корпусам промышленной площадки. Наиболее крупные потребители пара на технологические нужды сосредоточены в цехе гальваники. Потребление пара здесь составляет около 40 % от общего.

Существующая схема энергопотребления в гальваническом цехе не позволя-

ет перекрывать паропровод, снижая или перекрывая потребление пара в перерывах между рабочими циклами гальванических ванн, что приводит к независимости паропотребления от динамики производства товарной продукции (рис. 2).

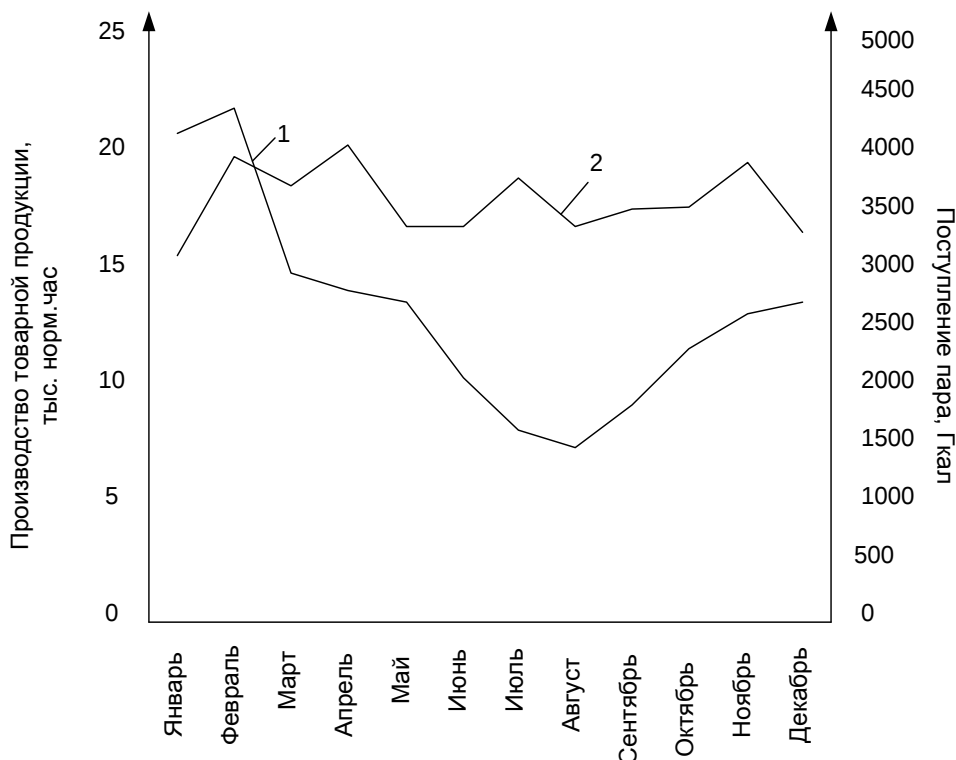


Рис. 2. Графики производства товарной продукции и поступления пара за 2016 г.:
1 – производство товарной продукции в цехе гальваники; 2 – поступление пара

Энергобаланс гальванического производства

1. Для упрощения расчетов на этапе выхода на режим пренебрежем теплотериями в окружающую среду с поверхности электролита и от стенок ванны. Тогда количество теплоты, необходимое для нагрева гальванической ванны при выходе на режим, рассчитывается по формуле

$$Q_r = Q_e + Q_v. \quad (2)$$

Здесь $Q_e = c \cdot v \cdot \rho \cdot (t_t^e - t_n^e)$ – количество тепла, необходимое для нагрева объема электролита от начальной температуры t_n^e до технологической t_t^e ; c – удельная теплоемкость электролита; v – внутренний объем ванны; ρ – плотность электролита; $Q_v = m_v \cdot c_v \cdot B \cdot (t_n^v - t_k^v)$ – количество тепла, затрачиваемого на нагрев емкости ванны от начальной температуры емкости t_n^v до конечной t_k^v после нагрева электролита; m_v – масса емкости; c_v – теплоемкость материала ванны; B – коэффициент интенсивности поглощения тепла материалом.

2. Количество теплоты, необходимое для поддержания технологической температуры, рассчитывается по формуле (3) и принимается равным сумме количества теплотерь в окружающую среду с поверхности электролита и от стенок ванны и количества теплоты, затрачиваемого на нагрев погружаемой в ванну детали [5]:

$$Q_p = Q_{pv} + Q_{pe} + Q_d. \quad (3)$$

Здесь $Q_{pv} = A_v \cdot \alpha_v \cdot (t_v - t_n) \cdot 3,6$ – количество теплотерь от стенок емкости ванны; A_v – площадь поверхности ванны; α_v – коэффициент теплоотдачи; $(t_v - t_n)$ – разность температур на поверхности емкости и окружающей среды; $Q_{pe} = A_{pe} \cdot \alpha_e \cdot (t_{pe} - t_n) \cdot 3,6$ – потери тепла с поверхности электролита; A_{pe} – площадь поверхности электролита; α_e – коэффициент теплоотдачи на поверхности электролита; $(t_{pe} - t_n)$ – разность температур на поверхности электролита и окружающей среды; $Q_d = m_d \cdot c_d \cdot B \cdot (t_t - t_d)$ – количество тепла на нагрев погружаемой детали, рассчитывается по формуле [6]; m_d – масса деталей; c_d – теплоемкость детали; B – коэффициент интенсивности поглощения тепла материалом; t_t – конечная температура детали после погружения; t_d – начальная температура детали.

Энергоэффективное энергообеспечение гальванического производства

Территория гальванического цеха представляет собой 30 рядов ванн. По каждому ряду осуществляются определенные гальванические операции, такие как лужение, меднение, никелирование, хромирование и т. п. В каждом из рядов находятся от одной до шести горячих ванн. Среди этих ванн выделим группы, требующие круглосуточной, посменной и периодической работы. При этом учтем, что при круглосуточном режиме работы подогрев ванн необходим постоянно.

При выборе рационального метода теплоснабжения гальванического производства на технологические нужды учитывается количество тепла, требуемого для вывода на режим, поддержание режима и сменности работы ванн.

При круглосуточном режиме работы необходим постоянный подогрев ванн. Возможны несколько вариантов вывода на режим и длительного поддержания ванн в рабочем режиме или в режиме горячей консервации. Сравним возможные варианты энергообеспечения технологических процессов гальванического цеха (табл. 2):

1. Установка двух парогенераторов «Уран 4000», работающих на газообразном топливе, подключенных к нескольким параллельным рядам.
2. Локальный подогрев при помощи тепловых электронагревателей (ТЭН).

Таблица 2

Варианты энергообеспечения при круглосуточном режиме работы

Способ	Максимальная требуемая расчетная нагрузка, Гкал/час	Закупаемый ресурс на обеспечение процесса	Единицы измерения	Количество ТЭР в год в натуральном выражении	Количество ТЭР в год в денежном выражении, тыс. руб.
Система централизованного пароснабжения	4,81	Пар	Гкал	15629,01	22275,908
Установка двух парогенераторов «Уран 4000»	4,81	Газ	Тыс.м ³	1925	11981,778
ТЭН	4,81	Э/Э	МВт·ч	25481,28	92 751,9

При сравнении трех возможных вариантов отметим, что наименьшие затраты на ТЭР достигаются при установке парогенераторов.

Для постоянной двенадцатичасовой работы характерно ежедневное потребление максимальной нагрузки для вывода на режим и последующее поддержание в состоянии рабочей готовности в течение 12 часов.

Таблица 3

Варианты энергообеспечения при 12-часовом режиме работы

Способ	Максимальная требуемая расчетная нагрузка, Гкал/час	Закупаемый ресурс на обеспечение процесса	Единицы измерения	Количество ТЭР в год в натуральном выражении	Количество ТЭР в год в денежном выражении, тыс. руб.
Система централизованного пароснабжения	5,04	Пар	Гкал	16266,93	23185,129
Установка двух парогенераторов «Уран 4500»	5,04	Газ	Тыс.м³	1379,992	8589,484
ТЭН	5,04	Э/Э	МВт·ч	14014,946	51014,403

Таблица 4

Варианты энергообеспечения объединенной системы

Способ	Максимальная требуемая расчетная нагрузка, Гкал/час	Закупаемый ресурс на обеспечение процесса	Единицы измерения	Кол-во ТЭР в год в натуральном выражении	Количество ТЭР в год в денежном выражении, тыс. руб.
Система централизованного пароснабжения	9,85	Пар	Гкал	31895,94	45461,037
Установка парового котла ICI серии GX 10000	9,85	Газ	Тыс. м³	4477,674	27869,043
Установка двух парогенераторов «Уран 4000» и двух парогенераторов «Уран 4500»	9,85	Газ	Тыс. м³	3304,992	20571,262

Рассмотрим варианты энергопотребления в случае 12-часовой работы (табл. 3):

1. Установка двух парогенераторов «Уран 4500», работающих на газообразном топливе, подключенных к нескольким параллельным рядам.

2. Локальный подогрев ванн при помощи ТЭН.

В рассмотренных вариантах наименьшие затраты на закупку ТЭР требуются также при установке парогенераторов.

Рассмотрим возможные варианты организации объединенной системы теплоснабжения на технологические нужды гальванического цеха (табл. 4):

1. Установка парового котла ICI серии GX 10000.
2. Суммарно по двум группам при установке двух парогенераторов «Уран 4000» и двух парогенераторов «Уран 4500».

Заключение

При обеспечении локального подогрева при помощи ТЭН наблюдаются наиболее высокие затраты на ТЭР. Это объясняется тем, что при круглосуточном или посменном режиме работы необходимо длительное время поддерживать ванны в режиме горячей консервации. При этом на электрический нагрев затрачивается большое количество ТЭР, а стоимость электрической энергии относительно выше стоимости газа, используемого в качестве топлива в парогенераторах или котлах. Наименьшие затраты на закупку ТЭР на нужды теплоснабжения гальванического цеха достигаются при установке парогенераторов, т. к. происходит практически пропорциональное уменьшение расхода топлива при снижении нагрузки на технологический нагрев.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мещерякова Т.С. Анализ энергозатрат промышленных предприятий в современных условиях // НП АВОВ. Энергосбережение. – 2015. – № 4. – С. 36–42.
2. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года (утв. Распоряжением Правительства РФ от 17 ноября 2008 г. № 1662-р).
3. Антонов А.В. Системный анализ. – М.: Высш. шк., 2004. – 454 с.
4. Хамканов К.М. Основы планирования эксперимента: метод. пособие. – Улан-Удэ, 2001. – 50 с.
5. Бухмиров В.В. Тепломассообмен. – Иваново, 2014. – 360 с.
6. Померанцев А.А. Физические начала тепломассообмена и газовой динамики. – М.: Энергия, 1977. – 248 с.

Статья поступила в редакцию 7 июня 2017 г.

ENERGY EFFICIENT ORGANIZATION OF ELECTROPLATING PRODUCTION AT A LARGE MACHINE-BUILDING ENTERPRISE

A.S. Romanova

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

The paper considers the energy saving problem of a typical large machine-building enterprise of limited and single type production. The energy balance is composed of the most energy-intensive process area – electroplating production. The possible technological options of power supply were explored and the most rational option was defined. Decentralized steam supply by mobile steam generators is suggested as power supply for electroplating production.

Keywords: *energy consumption, energy intensity, industrial energy resources, the correlation coefficient, heat loss, galvanic production, energy balance, energy efficiency.*