

УДК 621.311.1.004

**АНАЛИЗ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА*****А.С. Романова, М.Б. Микушин, А.Ю. Воеводин\****Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: alyona512@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрены проблемы энергоэффективности продукции крупного машиностроительного предприятия, связанные с невозможностью регулирования паропотребления и сезонностью изменения энергопотребления. Проведен анализ потребления энергетических ресурсов типичным крупным машиностроительным предприятием мелкосерийного и единичного типа производства. Выявлены причины дополнительных затрат предприятия при централизованном пароснабжении, связанные с потерями конденсата. Установлено, что наиболее энергоемким является гальванический комплекс. Рассмотрены причины повышенной энергоемкости гальванического комплекса. Составлен энергобаланс технологического участка – гальванического комплекса, отражающий расчетные тепловые нагрузки при нагреве электролита и поддержании теплового режима в зависимости от времени работы ванн и массы обрабатываемых деталей с учетом особенностей работы технологического оборудования. Определены наиболее эффективные способы энергообеспечения в зависимости от коэффициента загрузки и используемого топливно-энергетического ресурса для двух типовых ванн гальванического комплекса. Рассмотрены три варианта технологического энергоснабжения в зависимости от коэффициента загрузки оборудования и технической возможности его параллельно-последовательного включения. Установлено, что при всех трех схемах подключения к альтернативным источникам теплоснабжения наблюдается повышение энергетической эффективности использования ТЭР, а также снижение затрат на энергообеспечение технологических процессов по сравнению с централизованным пароснабжением. Выявлено, что при организации работы технологического оборудования по параллельно-последовательной схеме обеспечивается равномерная эффективная загрузка парогенераторов и высокая энергетическая эффективность гальванического производства. Для энергообеспечения гальванического комплекса предложена комбинированная схема теплоснабжения локальными теплоисточниками от электросети и газовых парогенераторов с учетом наиболее полной их загрузки.

**Ключевые слова:** энергоемкость, энергоснабжение, тепловой баланс, гальванический комплекс, коэффициент загрузки, топливно-энергетический ресурс, себестоимость продукции.

---

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

Микушин Максим Борисович, студент.

Воеводин Александр Юрьевич, студент.

## Введение

Удельная энергоёмкость продукции промышленных предприятий мелкосерийного и единичного производства машиностроительной отрасли в России велика по сравнению с энергоёмкостью продукции большинства развитых стран. Это объясняется тем, что крупные промышленные предприятия в СССР основное внимание уделяли надежности и бесперебойности производства [1]. Энергоёмкость продукции не учитывалась или учитывалась крайне редко. Многие такие предприятия были градообразующими и получали энергоресурсы от централизованного источника, что приводило к перерасходу энергии при мелкосерийном производстве из-за неритмичной работы оборудования.

Некогда надежная централизованная система энергообеспечения многих промышленных предприятий машиностроительной отрасли мелкосерийного производства из-за большой протяженности инженерных сетей имеет большие потери энергии, а также не является энергоэффективной в рыночных условиях экономики при неравномерной загрузке оборудования. При этом повышенные затраты на энергоресурсы влекут за собой увеличение себестоимости продукции и снижение конкурентоспособности [2, 3].

Для примера рассмотрим типичное предприятие мелкосерийного производства машиностроительной отрасли, где имеется полный цикл производства. В его состав входят комплексы: заготовительный, литейный, кузнечно-штамповочный, гальвано-термический, механосборочный, сборочный и испытательный. Основными потребителями топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) являются элементы производственного оборудования (печи, прессы, станки, гальванические ванны и др.). Энергоснабжение производства осуществляется от централизованного энергоисточника. Энергия потребляется на отопление (горячая вода), освещение (электричество), обеспечение технологического процесса (газ, пар, электричество) и пр. Ниже приведены в процентном соотношении потребляемые ТЭР в тоннах условного топлива (т.у.т.) и в денежном эквиваленте (рис. 1 и 2 соответственно).

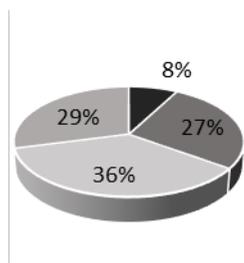


Рис. 1. Потребление ТЭР в т.у.т.:  
■ – газ; ■ – пар; ■ – горячая вода;  
■ – электроэнергия

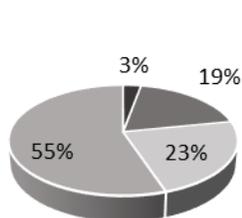


Рис. 2. Соотношение затрат на ТЭР, 2012–2017: ■ – газ; ■ – пар; ■ – горячая вода; ■ – электроэнергия

Сопоставление диаграмм (см. рис. 1, 2) демонстрирует, что тепловая энергия в горячей воде и паре имеет различную стоимость, так как при централизованном внешнем теплоснабжении паром предприятие несет дополнительные затраты из-за невозврата конденсата.

### Общая характеристика гальванического комплекса

Гальванические покрытия являются одним из эффективных методов защиты деталей от коррозии, способствуют приданию поверхности деталей ряда ценных специальных свойств: повышенной твердости и износостойкости, высокой отражательной способности, улучшенных антифрикционных свойств, поверхностной электропроводности, облегчения паяемости. А также они применяются в качестве декоративных покрытий [4, 5].

В составе гальванического комплекса имеются ванны для нанесения покрытий, травления, изоляции, промывки и т. д., печи для нагрева и сушки деталей, галтовочные машины и пескоструйные камеры для подготовки деталей под нанесение покрытий и другое технологическое оборудование. Основной технологической единицей являются гальванические ванны.

На предприятиях мелкосерийного производства машиностроительной отрасли гальванический комплекс относится к наиболее энергоемким. При этом до 45 % всего пара, поступающего на производственную площадку, расходуется на обеспечение технологических процессов гальванического комплекса.

Повышенная энергоемкость гальванического производства объясняется тем, что процесс осаждения металла происходит при помощи электролиза, который осуществляется посредством электрической энергии и в большинстве случаев требует нагрева электролита.

Нагрев электролита осуществляется металлическими «змеевиками», расположенными на дне и внутренних поверхностях стенок ванн.

Существующая схема энергообеспечения в гальваническом комплексе не позволяет перекрывать паропровод, снижая или перекрывая потребление пара в перерывах между рабочими циклами оборудования, что не дает возможности регулировать паропотребление в зависимости от динамики производства продукции. Такая организация теплоснабжения в силу мелкосерийности производства и низкого коэффициента использования оборудования гальванического комплекса приводит к дополнительным энергозатратам.

Для снижения энергоемкости продукции рассмотрим способы энергообеспечения гальванического производства с учетом коэффициента загрузки оборудования для трех основных гальванических операций (рис. 3, 4). В качестве альтернативных источников энергоресурсов рассмотрим: электронагрев, газовый парогенератор и централизованное пароснабжение.

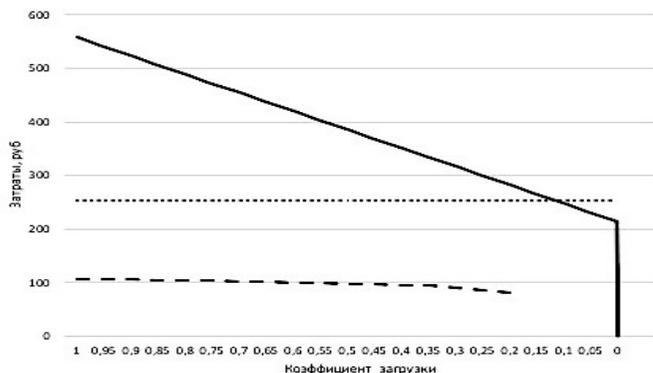


Рис. 3. Зависимость затрат на ТЭР от коэффициента загрузки оборудования ванн воска: ..... — централизованное пароснабжение; — — — — газ; — — — — электрэнергия;

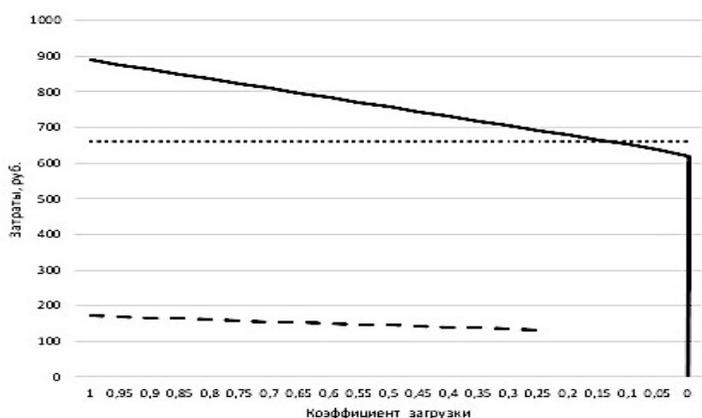


Рис. 4. Зависимость затрат на ТЭР от коэффициента загрузки оборудования ванн нанесения покрытий: ..... – централизованное пароснабжение; ———— – электроэнергия; — — — газ

Из графиков на рис. 3 и рис. 4 видно, что для группы ванн изоляции экономически выгоднее обеспечивать технологическое теплоснабжение при помощи электронагрева при загрузке менее 15 % процентов (см. рис. 3), для ванн нанесения покрытий – при загрузке менее 10 % (см. рис. 4).

При построении графиков учитывалось, что при снижении загрузки КПД парогенератора снижается, а при низкой загрузке (менее 20 %) парогенератор не эксплуатируется [6].

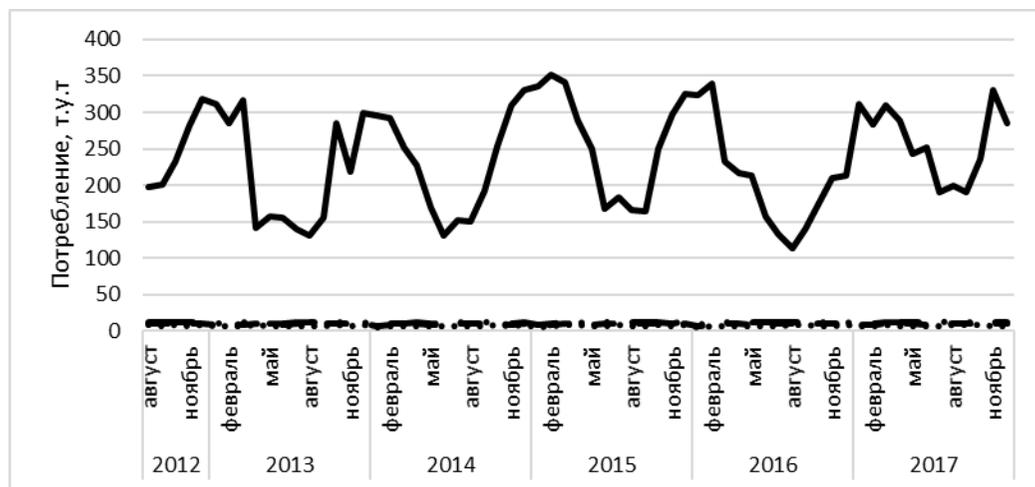


Рис. 5. Потребление ТЭР в т.у.т.: ———— – централизованное пароснабжение; —■— – вариант 1; — — — вариант 2 (параллельное включение оборудования); ..... – вариант 2 (параллельно-последовательное включение оборудования)

Из графика (рис. 5) видно, что энергопотребление при централизованном пароснабжении больше в холодный период года, меньше – в теплый, что обуслав-

ливается большими потерями тепла в окружающую среду. Эти сезонные энергопотери снижаются до минимума при снабжении энергоресурсами в рассчитываемых вариантах.

В табл. 1 приведены температурные параметры и коэффициенты загрузки при односменной и при круглосуточной работе оборудования гальванического участка.

Таблица 1

**Характеристики режимов работы гальванических ванн**

Наименование процесса	Номера ванн	Температура электролита, °С	Коэффициент загрузки (К) при 24-часовой работе	Коэффициент загрузки (К) при односменной работе
Химическое оксидирование	ХО-1	155–135	0,463	1,39
	ХО-2		0,461	1,382
Хромирование	Х-1	60–50	0,095	0,2862
	Х-2		0,074	0,2231
	Х-3		0,095	0,2862
	Х-4		0,074	0,2231
	Х-5		0,095	0,2862
	Х-6		0,074	0,2231
Лужение	Л-1	70–60	0,043	0,1286
Травление	Т-1	90–80	0,011	0,0329
Хромовокислородное анодирование	ХА-1	40–36	0,038	0,114
Химическое никелирование	ХН-1	85–75	0,0006	0,0018
Снятие нагара	СН-1	80–60	0,899	2,696
Электрохим. обезжиривание	ЭО-1	80–60	–	0,0013
	ЭО-2		–	0,0001
	ЭО-3		–	0,0007
	ЭО-4		–	0,0007
	ЭО-5		–	0,0001
	ЭО-6		–	0,0007
	ЭО-7		–	0,0003
	ЭО-8		–	0,0007
Электрополирование	ЭП-1	80–60	0,0009	0,003
Никелирование	Н-1	60–30	0,123	0,37
Хроммолибденирование	ХМ-1	60–50	0,0114	0,034
Снятие спец. слоя	ССН-1	90–70	0,032	0,095
	ССН-2		0,026	0,076
Фосфатирование	Ф-1	95–80	0,0632	0,1897
	Ф-2		0,0626	0,1871
Универсальное фосфатирование	УВФ-1	90–70	0,0624	0,187
Снятие краски	СК-1	80–60	0,0234	0,07
Промывка	ГВ № 1-13	90–70	0,33	1
Снятие воска	СВ-1, СВ-2	100–90	0,108	0,324
Изоляция	И-1, И-2, И-3, И-4	90–80	0,15	0,45
Снятие изоляции	СИ-1	100–90	0,074	0,222
Обезжиривание	О-1	60–40	0,106	0,318

Из табл. 1 видно, что ванны имеют значительный разброс коэффициентов загрузки: 3 ванны работают с загрузкой в 24 часа – ванны № ХО-1, ХО-2 (химическое оксидирование) и ванна № СН-1 (снятие нагара), а ванны электрохимического обезжиривания при 8-часовой работе загружены менее 1 %.

Предлагаются два возможных варианта расстановки, режима работы гальванических ванн и подключения их к локальным источникам теплоснабжения в зависимости от температурного режима и коэффициента загрузки (рис. 6, 7). Первый вариант расстановки (см. рис. 6) выполнен с учетом температурных параметров и коэффициента загрузки ванн, с теплообеспечением одной группы от парогенератора и двух групп от теплоэлектронагревателей (ТЭНов). Второй вариант (см. рис. 7) выполнен с учетом последовательности гальванических процессов, их температурных параметров, коэффициента загрузки и возможности параллельно-последовательной работы для выравнивания загрузки парогенераторов.

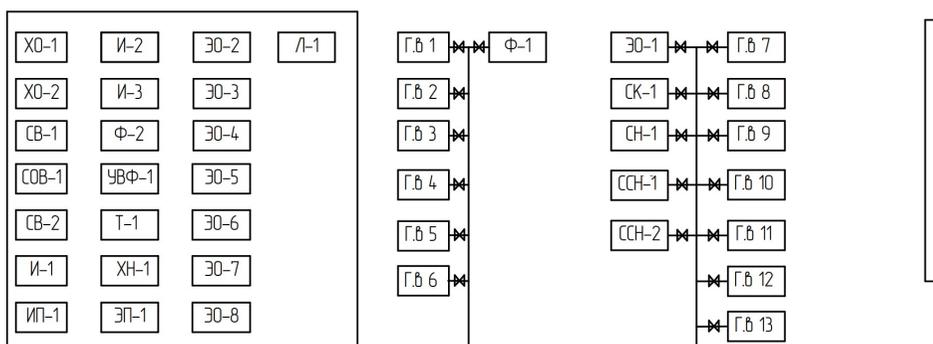


Рис. 6. Схема расстановки и подключения ванн. Вариант 1

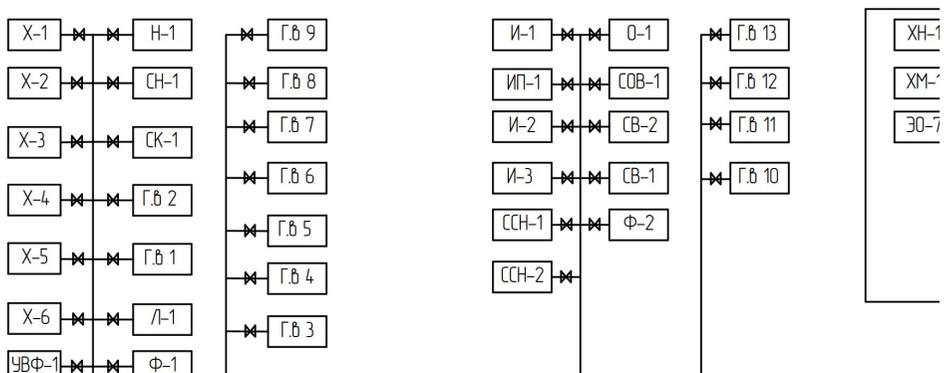


Рис.7. Схема расстановки и подключения ванн. Вариант 2

### Энергетический баланс гальванических ванн

Для выбора мощности источника энергоснабжения и режима его работы необходимо определить тепловые нагрузки при энергоснабжении гальванических ванн, связанные с выводом на режим и его поддержанием, исходя из времени работы каждой ванны [10].

1. Количество теплоты на нагрев электролита вычисляется по (1).  $Q_H$  (Дж) складывается из количества теплоты  $Q_1$ , необходимой для разогрева ванн до за-

данной по технологическим условиям температуры, и количества теплоты  $Q_2$  для поддержания рабочей температуры ванны, т. е. компенсации тепловых потерь в окружающую среду (вычисляется по формуле (2)) [11]:

$$Q_H = Q_1 + Q_2 = (C_1 G_1 + C_2 G_2 + C_3 G_3) \cdot (t_k + t_H) + Q_2, \quad (1)$$

где  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  – удельная теплоемкость электролита, материала ванны и футеровки (Дж/кг·°C);  $G_1$ ,  $G_2$  и  $G_3$  – масса электролита, материала корпуса ванны и футеровки соответственно (кг);  $t_k$ ,  $t_H$  – конечная и начальная температуры электролита (°C).

2. Количество теплоты, затрачиваемое на компенсацию тепловых потерь в окружающую среду [7, 8]:

$$Q_2 = Q'_2 + Q''_2, \quad (2)$$

где  $Q'_2$  – потери теплоты электролита через стенки (теплопроводностью, конвекцией, лучеиспусканием), Дж (см. формулу (3));  $Q''_2$  – потери теплоты на испарение жидкости с открытой поверхности, Дж (см. формулу (4)):

$$Q'_2 = k F_B T (t_k - t_H), \quad (3)$$

где  $F_B$  – площадь поверхности корпуса ванны, м<sup>2</sup>;  $T$  – время нагрева электролита до заданной температуры, с;  $k = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \sum_{i=1}^n \left( \frac{S_i}{\mu_i} \right) + \frac{1}{a_2}}$  – коэффициент тепло-

передачи,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ ;  $R$  – термическое сопротивление теплопередаче,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ ;  $a_1$

и  $a_2$  – коэффициенты теплоотдачи на граничных поверхностях стенки соответственно с внутренней и наружной средами,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ ;  $\sum_{i=1}^n \left( \frac{S_i}{\mu_i} \right)$  – суммарное внут-

реннее термическое сопротивление теплопроводности слоев стенки,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ ;  $S_i$  –

толщина  $i$ -го слоя стенки, м;  $\mu_i$  – теплопроводность  $i$ -го слоя стенки,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ ;

$$Q''_2 = (5,7 + 4,1\nu)(t_k - t_B) F_3 T_p, \quad (4)$$

где  $\nu$  – скорость движения воздуха над поверхностью электролита,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $t_k$  – температура электролита, °C;  $t_B$  – температура воздуха над поверхностью электролита, °C;  $F_3$  – площадь поверхности электролита, м<sup>2</sup>;  $T_p$  – время работы ванны, с.

Для ванн химической обработки при расчете расхода теплоты на поддержание температуры электролита в процессе работы дополнительно учитывается количество теплоты на нагрев вносимой детали:

$$Q_{\text{п}} = Q_2 + Q_M, \quad (5)$$

где  $Q_M = c_M G(t_k - t_{HM})$  – количество теплоты, вносимое с загружаемым металлом, Дж;  $c_M$  – удельная теплоемкость загружаемого металла,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ;  $G$  – масса загружаемых деталей, кг;  $t_{HM}$  – температура загружаемых деталей,  $^\circ\text{C}$ .

При расчете количества теплоты на поддержание температуры ванн промывки в горячей воде (см. формулу (6)) учтено, что для поддержания чистоты промывочной воды в ванну непрерывно поступает проточная вода:

$$Q_B = c_B G_B T(t_k - t_{HB}), \quad (6)$$

где  $c_B$  – удельная теплоемкость воды,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ;  $G_B$  – массовый расход воды,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ;  $t_{HB}$  – температура холодной воды,  $^\circ\text{C}$ ;  $T$  – время работы ванны, с.

### Организация энергоснабжения гальванического производства

Суммарные показатели тепловых нагрузок для двух предлагаемых альтернативных централизованному пароснабжению вариантов расстановки ванн, второй из которых рассмотрен как с параллельным включением оборудования, так и с последовательным, приведены в табл. 2. Затраты на ТЭР учтены на период с августа 2012 по декабрь 2017 гг.

Таблица 2

#### Потребление ТЭР при альтернативных вариантах теплообеспечения и централизованного пароснабжения

Источник	Потребляемый ТЭР	Единицы измерения	Потребление ТЭР в натуральных единицах	Затраты, тыс. руб.	Суммарное потребление ТЭР по вариантам, т.у.т.
Вариант 1					
Парогенератор	Газ	тыс. м <sup>3</sup>	243,767	1 506,25	–
Электрические ТЭНы гр. 1	Электричество	кВт/ч	2 438 283	8 124,02	–
Электрические ТЭНы гр. 2	Электричество	кВт/ч	1 469 728	4 890,22	–
			Итого	14520,5	761,99
Вариант 2 (с параллельным включением оборудования)					
Парогенератор 1	Газ	тыс. м <sup>3</sup>	315,93	1 952,28	–
Парогенератор 2	Газ	тыс. м <sup>3</sup>	94,84	586,05	–
Электрические ТЭНы	Электричество	кВт/ч	1247435,94	4155,45	–
			Итого	6 693,78	627,46
Вариант 2 (с параллельно-последовательным включением оборудования)					
Парогенератор 1	Газ	тыс. м <sup>3</sup>	204,6	1264,44	–
Парогенератор 2	Газ	тыс. м <sup>3</sup>	78,24	483,49	–
Электрические ТЭНы	Электричество	кВт/ч	1247435,94	4 155,45	–
			Итого	5 903,38	479,83

Базовый вариант (централизованное пароснабжение)					
Централизованное пароснабжение	Пар	Гкал	106 999	151973,66	15300,86

Из табл. 2 видно, что при организации энергообеспечения по вариантам 1 и 2 потребление энергии уменьшается по сравнению с базовым. Энергетическая эффективность обуславливается тем, что рассматриваемые варианты теплоснабжения зависят от коэффициента загрузки оборудования и по сравнению с централизованным пароснабжением имеют минимальные тепловые потери (см. рис. 7).

Экономический и энергетический эффект от внедрения альтернативных вариантов теплоснабжения гальванических ванн к базовому варианту составляет:

- при варианте 1 – 137 453,16 тыс. руб. и 14 538,80 т.у.т.;
- при варианте 2 (параллельное включение оборудования) – 145 279,88 тыс. руб. и 14 673,325 т.у.т.;
- при варианте 2 (параллельно-последовательное включение оборудования) – 146 070,28 тыс. руб. и 14 820,96 т.у.т.

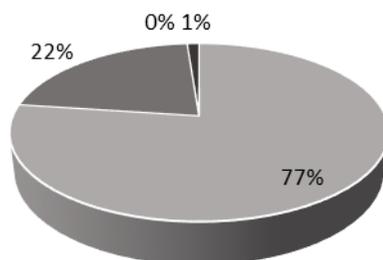


Рис. 8. Потребление ТЭР гальваническим комплексом при рациональной компоновке (вариант 2), т.у.т.: – горячая вода; ■ – централизованное пароснабжение; ■ – газ; ■ – электроэнергия

### Заключение

Централизованное пароснабжение гальванического производства неэффективно, т. к. низкий коэффициент загрузки приводит к нерациональному энергопотреблению. При организации теплоснабжения гальванического производства выявлено, что с учетом коэффициента загрузки наиболее эффективно запитывать ванны с низким коэффициентом (до 5 %) загрузки от гибко управляемых ТЭНов; остальные ванны – от газовых парогенераторов с учетом параллельно-последовательного их включения для более экономичной работы источника теплоснабжения. Также установлено, что при децентрализованном теплоснабжении сезонные тепловые потери минимальны, т. к. при этом теплообеспечение гальванического комплекса не имеет внешних сетей в отличие от централизованного пароснабжения и поэтому наиболее эффективно используются энергоресурсы для обеспечения технологического процесса (см. рис. 8).

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мещерякова Т.С. Анализ энергозатрат промышленных предприятий в современных условиях // НП АВОК. Энергосбережение. – 2015. – № 4. – С. 36–42.

2. *Габдинова В.А.* Роль ресурсного потенциала в развитии региональной экономики и машиностроения // Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции с онлайн-участием. Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. – 2020. – С. 406–408.
3. *Kogan M.V., Mitchenko I.A.* Economic risk planning of the industrial enterprises // *European Journal of Economic Studies*. 2012. № 1 (1). P. 30–36.
4. Управление машиностроительным предприятием: учеб. пособие / У67 С.Г. Баранчикова [и др.]. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 252 с.
5. *Lishnskii G.Ya., Kachanova N.P., Raznorovich T.V., Grishin I.A.* Electrodeposition of chromium in pulsed current regimes // *Protection of Metals*. 1990. V. 26. № 1. P. 130 – 132.
6. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении / П.С. Мельников. – М.: Машиностроение, 1979. – 296 с., ил.
7. *Каданер Л.И.* Равномерность гальванических покрытий. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1960. – 414 с.
8. *Романова А.С.* Энергоэффективная организация гальванического производства // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2017. – № 3. – С. 110–116.
9. *Щепило Л.В.* Разработка и исследование энергетических схем предприятий по термической переработке отходов с парогазовым циклом энергопроизводства: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: Московский государственный университет инженерной экологии, 2005.
10. *Пеккер Я.Л.* Теплотехнические расчеты по приведенным характеристикам топлива. – М.: Энергия, 1977. – 256 с.
11. Расчет и конструирование устройств для нанесения гальванических покрытий / И.Ф. Плеханов. – М.: Машиностроение, 1988. – 224 с.: ил.
12. *Нацокин В.В.* Техническая термодинамика и теплопередача: учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1959. – 560 с.

*Статья поступила в редакцию 11 августа 2021 г.*

# ANALYSIS OF THE ENERGY INTENSITY OF THE GALVANIC COMPLEX OF MACHINE-BUILDING PRODUCTION

*A.S. Romanova, M.B. Mikushin, A.Yu. Voevodin* \*

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

E-mail: alyona512@yandex.ru

**Abstract.** Considered are the problems of energy efficiency of products of a large machine-building enterprise associated with the impossibility of regulating steam consumption and the seasonality of changes in energy consumption. The analysis of the consumption of energy resources by a typical large machine-building enterprise of small-scale and unit-type production is carried out. The reasons for the additional costs of the enterprise with centralized steam supply associated with condensate losses have been identified. It has been established that the most power-consuming is the galvanic complex. The reasons for the increased energy consumption of the galvanic complex are considered. The energy balance of the technological section - the galvanic complex, was compiled, reflecting the calculated thermal loads when heating the electrolyte and maintaining the thermal regime, depending on the operating time of the baths and the mass of the processed parts, taking into account the peculiarities of the operation of technological equipment. The most effective methods of energy supply have been determined depending on the load factor and the fuel and energy resource used for two typical baths of the galvanic complex. Three options of technological power supply are considered, depending on the load factor of the equipment and the technical possibility of its parallel-sequential connection. It was found that with all three schemes for connecting to alternative sources of heat supply, there is an increase in the energy efficiency of the use of fuel and energy resources, as well as a decrease in the cost of energy supply of technological processes in comparison with centralized steam supply. It was revealed that when organizing the operation of technological equipment in a parallel-sequential scheme, uniform efficient loading of steam generators and high energy efficiency of galvanic production are ensured. For the power supply of the galvanic complex, a combined scheme of heat supply by local heat sources from the power grid and gas steam generators is proposed, taking into account their fullest load.

**Keywords:** energy intensity, power supply, heat balance, galvanic complex, load factor, fuel and energy resource, production cost.

## REFERENCES

1. Meshcheryakova T.S. Analysis of energy consumption of industrial enterprises in modern conditions // NP AVOK. Energy saving. 2015. No. 4. S. 36–42.
2. Gabdinova V.A. Rol of resource potential in development of regional economy and mechanical engineering // the Collection of materials IV of the International scientific and practical conference with online participation / Kuzbass state technical university of name T.F. Gorbachev. 2020. P. 406–408.
3. Kogan M.V., Mitchenko I.A. Economic risk planning of the industrial enterprises / European Journal of Economic Studies. 2012. № 1 (1). P. 30–36.
4. Management of a machine-building enterprise: a textbook / U67 S.G. Baranchikova [and others]. Yekaterinburg: Publishing house of Ural. unta, 2015. 252 s.
5. Lishniskii G.Ya., Kachanova N.P., Raznorovich T.V., Grishin I.A. Electrodeposition of chromium in pulsed current regimes / Protection of Metals. 1990. T. 26. No. 1. P. 130–132.

---

\* Alena S. Romanova, Postgraduate Student.  
Maxim B. Mikushin, Student.  
Alexander Yu. Voevodin, Student.

6. Reference book on electroplating in mechanical engineering / P.S. Melnikov. M.: Mechanical engineering, 1979. 296 p.
7. *Kadaner L.I.* Ravnornost of electroplated coatings. Kharkov: HGU publishing house, 1960. 414 pp.
8. *Romanova A.S.* The power effective organization galvanic Proizvodstva / Vestnik Samarskogo of the state technical university / Technical science. 2017. No. 3. P. 110–116.
9. *Schepillo L.V.* Development and research of energy schemes of enterprises for thermal processing of waste with a steam-gas cycle of energy production / dissertation author's abstract for the degree of candidate of technical sciences / Moscow State University of Environmental Engineering. M., 2005.
10. *Pekker Ya.L.* Heat technical calculations for the provided characteristics of fuel. M.: Energy, 1977. 256 pp.
11. Calculation and design of devices for applying electroplated coatings. I.F. Plekhanov. M.: Mashinostroenie, 1988. 224 p.
12. *Nashchokin V.V.* Technical thermodynamics and heat transfer: The manual for higher education institutions. M.: Higher school, 1959. 560 p.