

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОТОЧНОГО НАГРЕВА ДЕИОНИЗОВАННОЙ ВОДЫ

А.И. Улитенко, д.т.н.

390005, Россия, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1

ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет»

Приведены общие принципы построения энергосберегающей технологии быстрого нагрева деионизованной воды в потоке, основанной на вторичном использовании тепловой энергии, запасенной в отработанной воде, отправляемой на слив. Ее использование позволяет снизить потребление мощности более чем в четыре раза.

General principles for development of the energy-saving technology of fast heating of the deionized water in the stream, based on the recycling heat energy stored in the wastewater sent to the drain have been presented. Use of this technology allows to reduce power consumption more than fourfold.

Одним из важных этапов технологии изготовления деталей электронных приборов является химическая очистка. С целью удаления остатков травильных растворов эта операция завершается тщательной промывкой деталей в проточной деионизованной воде.

Обычно промывка осуществляется в ваннах каскадного типа по типичной гидравлической схеме, представленной на рис. 1.

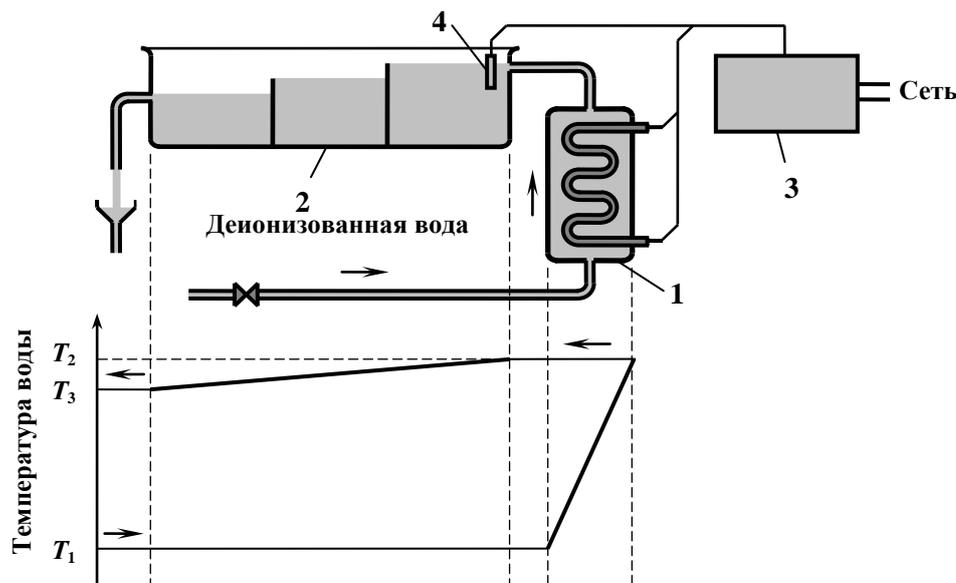


Рис. 1. Существующая технология проточного нагрева деионизованной воды:
1 – электронагреватель; 2 – ванна каскадного типа; 3 – система терморегулирования;
4 – термочувствительный элемент

Как видно, деионизованная вода с температурой T_1 нагнетается в проточный электронагреватель 1, в котором ее температура повышается до требуемого значения T_2 . С выхода электронагревателя вода поступает в ванну 2, в которой осуществляется промывка деталей. С выхода ванны «отработанная» вода с температурой T_3 отправляется на слив.

Чтобы оценить эффективность данного процесса, отметим, что без применения каких-либо дополнительных мер для нагрева воды необходимы затраты мощности [1]:

$$Q_{\text{н1}} = c \dot{m} (T_2 - T_1), \quad (1)$$

где $Q_{\text{н1}}$ – мощность электронагревателя; c – удельная теплоемкость воды; \dot{m} – ее массовый расход; T_1 и T_2 – температура воды на входе и выходе нагревателя, соответственно.

При использовании уравнения (1) следует иметь в виду, что в реальной ситуации значение температуры воды T_2 превышает уровень температуры T_3 , требуемой для промывки деталей. Это обусловлено необходимостью компенсации необратимых тепловых потерь $Q_{\text{п}}$, связанных с испарением воды, а также конвективным теплообменом стенок ванны с окружающей средой. Их суммарную величину можно оценить с помощью соотношения:

$$Q_{\text{п}} = c\dot{m}(T_2 - T_3). \quad (2)$$

Выражая из уравнения (2) температуру T_2 и подставляя ее в выражение (1), получаем:

$$Q_{\text{н1}} = c\dot{m}(T_3 - T_1) + Q_{\text{п}}. \quad (3)$$

Температура T_3 горячей воды в ванне может варьироваться в широких пределах, вплоть до 80°C . Поэтому, с учетом больших объемных расходов, процесс ее нагрева требует значительных затрат энергии.

Основным и, пожалуй, единственным способом существенного снижения затрат мощности в данном процессе является реализация энергосберегающей технологии, основанной на вторичном использовании тепловой энергии, запасенной в отработанной воде, отправляемой на слив. Гидравлическая схема такого процесса приведена на рис. 2.

В данном случае вода с температурой T_1 поступает на вход холодного контура жидкостного теплообменника 5, в котором она предварительно нагревается до температуры $T_{1,\text{T}}$ за счет взаимодействия с отработанной водой, циркулирующей в режиме противотока в его горячем контуре. С выхода холодного контура теплообменника подогретая вода подается в электронагреватель 1. Здесь ее температура дополнительно повышается от значения $T_{1,\text{T}}$ до T_2 . При этой температуре вода нагнетается в ванну 2, где используется для промывки деталей. С выхода из ванны отработанная вода с температурой T_3 под действием собственного гидростатического напора подается в горячий контур теплообменника 5, в котором ее температура понижается от T_3 до T_4 .

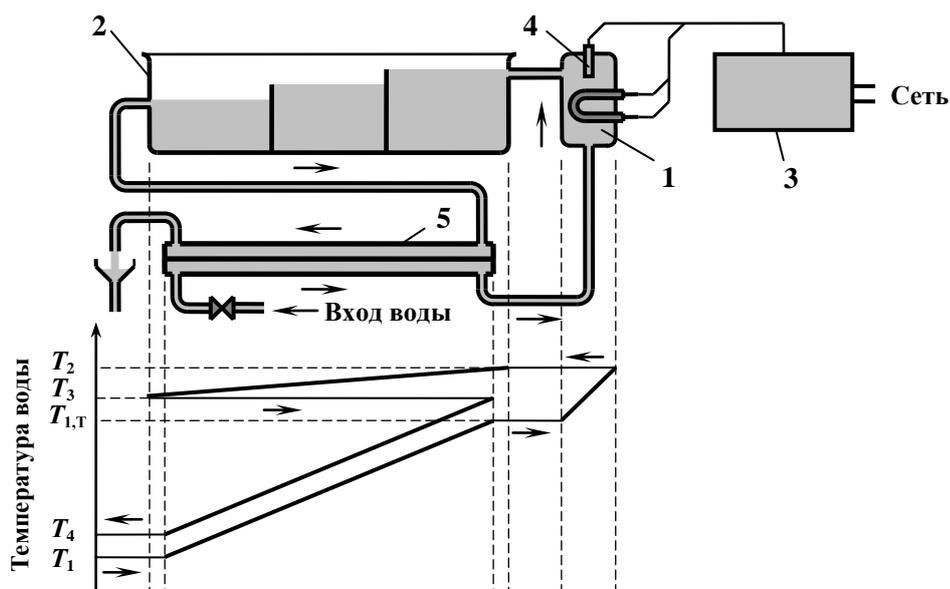


Рис. 2. Энергосберегающая технология проточного нагрева деионизованной воды:
1 – электронагреватель; 2 – ванна каскадного типа; 3 – блок управления с системой стабилизации температуры воды; 4 – термочувствительный элемент; 5 – двухконтурный жидкостный теплообменник

Далее она подается на слив, и цикл повторяется.

В рассматриваемом технологическом процессе значения температур T_1 и T_3 остаются прежними. Что касается температуры $T_{1,T}$ и, соответственно, мощности электронагревателя Q_{H2} , то их значения зависят от эффективности используемого теплообменника Q_T .

Поскольку массовые расходы воды в горячем и холодном контурах теплообменника одинаковы, то для нахождения его мощности достаточно уравнения баланса энергий [2]

$$Q_T = c \dot{m} (T_{1,T} - T_1) \quad (4)$$

и уравнения теплопередачи

$$Q_T = K F (T_3 - T_{1,T}), \quad (5)$$

где K – коэффициент теплопередачи в теплообменнике; F – площадь поверхности теплообмена.

Что касается мощности нагревателя, то ее значение по-прежнему определяется уравнением (3), которое с учетом принятых на рис. 2 обозначений целесообразно переписать в следующем виде:

$$Q_{H2} = c \dot{m} (T_3 - T_{1,T}) + Q_{П}. \quad (6)$$

Отсюда получаем выражение для неизвестной температуры:

$$T_{1,T} = T_3 - \frac{Q_{H2} - Q_{П}}{c \dot{m}}. \quad (7)$$

Подставляя $T_{1,T}$ в уравнения (4), (5) и решая их совместно, получаем зависимость мощности нагревателя от параметра теплопередачи KF :

$$Q_{H2} = \frac{c^2 \dot{m}^2 (T_3 - T_1)}{KF + c \dot{m}} + Q_{П}. \quad (8)$$

Как видно, при достаточно больших значениях параметра теплопередачи KF электрическая мощность нагревателя расходуется лишь на поддержание относительно небольшого температурного напора в теплообменнике и компенсацию необратимых тепловых потерь в системе.

Практическая реализация данной технологии осуществлялась в ОАО «Рязанский завод металлокерамических приборов» на одной из технологических линеек с объемным расходом воды 180 л/ч.

По результатам предварительного анализа существующей технологии при температуре воды 80 °С в ванне открытого типа с геометрическими размерами 500×500×300 мм необратимые тепловые потери мощности находятся на уровне 3,7 кВт. Таким образом, в соответствии с уравнением (3), для нагрева воды с объемным расходом 180 л/ч от температуры $T_1 = 20$ °С до $T_3 = 80$ °С мощность электрического нагревателя должна составлять 16,3 кВт.

Ранее уже отмечалось, что при внедрении энергосберегающей технологии основные затраты мощности нагревателя расходуются на компенсацию необратимых потерь. Это наглядно подтверждается зависимостью на рис. 3, рассчитанной с помощью уравнения (8).

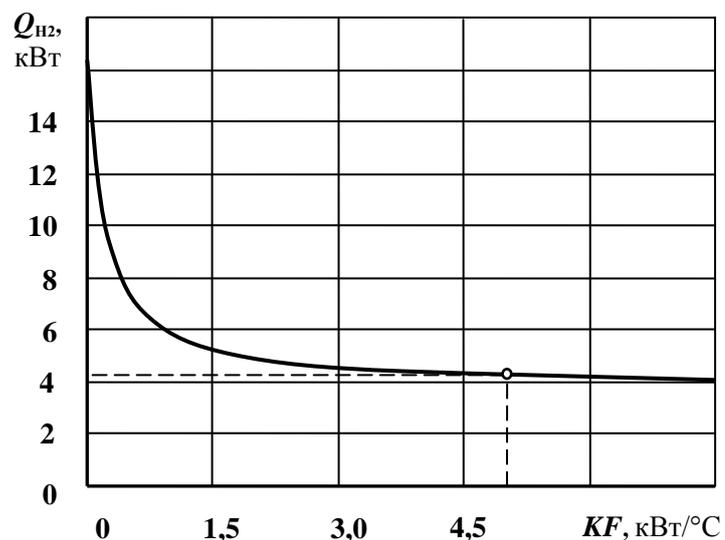


Рис. 3. Зависимость мощности нагревателя Q_{H2} от параметра теплопередачи теплообменника KF при уровне необратимых тепловых потерь $Q_{II} = 3,7$ кВт

Как следует из рисунка, с ростом параметра теплопередачи теплообменника KF мощность, потребляемая электронагревателем, быстро уменьшается. Однако при $KF > 1,5$ кВт/°С она достигает насыщения, асимптотически приближаясь к теоретическому пределу $Q_{H2} = Q_{II} = 3,7$ кВт.

Проектирование оборудования для реализации энергосберегающей технологии включало в себя разработку высокоэффективного щелевого теплообменника с параметром теплопередачи $KF = 5,0$ кВт/°С (см. рис. 3), позволяющим снизить уровень мощности нагревателя с 16,3 кВт до 4,2 кВт.

Приведенные данные хорошо согласуются с результатами испытаний, а также с опытом длительной эксплуатации разработанного оборудования.

Литература

1. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
2. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: Пер. с англ. / Справочник. – М.: Атомиздат, 1979. – 216 с.