

**ЭНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ**

УДК 66.048.28.001

Анипко О.Б., Арсеньева О.П., Гогенко А.Л.

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ  
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ С УЧЕТОМ СТЕПЕНИ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ**

Принятая национальная программа модернизации коммунального сектора предполагает, прежде всего, замену устаревшего оборудования современным и внедрение энергосберегающих технологий. Энергосбережение для этого сектора связано с максимальной возможностью утилизации тепловой энергии. В настоящее время наиболее эффективным оборудованием для нужд отопления и горячего водоснабжения являются пластинчатые теплообменники. Выбор пластинчатых паровых теплообменных аппаратов определяется, прежде всего, следующим: высокая тепловая эффективность при близком температурном приближении; возможность быстрой перенастройки, путем добавления или уменьшения количества пластин; компактность и минимальное пространство для сервисного обслуживания; простота обслуживания и чистки; высоколегированная сталь и синтетический материал прокладок не способствуют образованию отложений. Однако все более широкое применение пластинчатых теплообменных аппаратов сдерживается ввиду ряда эксплуатационных факторов [1], которые снижают энергосберегающую эффективность их применения и, как следствие, увеличивают сроки окупаемости, а в некоторых случаях через некоторое время эксплуатации не дает экономии теплоты.

Возникает задача экономической целесообразности проведения энергосберегающих мероприятий, что необходимо рассматривать с учетом надежности оборудования, то есть необходимо определить наиболее экономически целесообразный режим обслуживания и работы оборудования.

Экономическую целесообразность применения энергосберегающих мероприятий будем определять исходя из сравнения эффективности капитальных вложений, необходимых для осуществления данного мероприятия. Таким образом, целесообразным является вариант, при котором минимальны приведенные затраты  $\dot{I}$ , являющиеся суммой эксплуатационных затрат  $\dot{E}$  и капитальных вложений  $\hat{E}$ , приведенных к одинаковой размерности:

$$\dot{I}_i = \dot{E}_i Z_i + \hat{E}_i \rightarrow \min,$$

где  $i$  – вариант решения;  $Z_i$  – срок окупаемости.

Обобщенное выражение для  $\dot{I}$  :

$$P = \sum_{j=n}^{\infty} \alpha K_j + \sum_{j=1}^{\infty} \alpha I_j,$$

где  $\dot{E}_j$  – эксплуатационные затраты в  $j$ -м году;  $\infty$  – год окончания действия объекта;  $i$  – год начала монтажа;  $K_j$  – затраты, израсходованные в  $j$ -м году.

Надежность – это сохранение эксплуатационных качеств системы или ее элементов во времени. Максимально возможная экономия теплоты:

$$Q_{\max}^{y\hat{e}} = Q^{y\hat{e}} \cdot P(x), \quad (1)$$

которая рассчитывается для всех рассматриваемых вариантов.

Определяют стоимость работ по каждому из вариантов  $\hat{E}_i$ , после чего определяют затраты на обслуживание  $C_{y\hat{e}m\hat{e}}$  по сопоставлению  $\hat{E}_i + C_{y\hat{e}m\hat{e}}$  и  $Q_{\max}^{y\hat{e}}$ , рассчитанному в стоимостном выражении, и принимают окончательное решение о целесообразности энергосберегающего мероприятия.

Применительно к теплообменным аппаратам под отказом будем понимать событие, которое приводит к отклонению характеристик теплообменного аппарата за пределы околорасчетного рабочего диапазона значений. Следует отметить, что с точки зрения надежности теплообменный аппарат – это объект, который характеризуется принципиальной недостаточностью статистической информации ввиду множества влияющих факторов. Для определения надежности ПТА систем отопления и горячего водоснабжения используется методика [1], учитывающая образование загрязнений на теплопередающей поверхности.

В связи с отсутствием апробированных моделей отказов для теплообменных аппаратов, принимаем поток отказов простейший. Это предполагает: отсутствие последствий отказов; невозможность появления в один и тот же момент времени более одного отказа; стационарность – экспоненциальный закон распределения отказов во времени.

Показательное распределение при оценке надежности теплообменного аппарата обусловлено отсутствием периодов приработки, износа и старения для этой технической системы. Тогда вероятность безотказной работы будет определена как:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов,  $ч^{-1}$ ;  $t$  – интервал времени,  $ч$ , за который определяется вероятность безотказной работы.

В результате образования загрязнений за время  $\tau$  термическое сопротивление теплоотдаче изменится на величину:

$$R_{\tau} = \frac{1}{\alpha_{\tau}} - \frac{1}{\alpha_0}, \quad (3)$$

где  $\frac{1}{\alpha_{\tau}} = \frac{1}{\alpha_0} + \frac{\delta_{\zeta\hat{a}\hat{a}\hat{d}}}{\lambda_{\zeta\hat{a}\hat{a}\hat{d}}}$ .

Будем считать, что в начальный момент времени поверхность теплообменного аппарата была чистой, тогда термическое сопротивление через  $\tau$  часов работы:

$$R_{\tau} = R_{\tau \max} \left(1 - e^{-B\tau}\right); \quad (4)$$

где  $B$  – эмпирический коэффициент, а в качестве  $R_{\tau \max}$  примем такое значение термического сопротивления, которое приводит к отказу теплообменного аппарата.

Тогда из условия  $R_{\tau} = R_{\tau_{\max}}$  определим время наработки на отказ, что приводит к выражению:

$$e^{B\tau} \rightarrow \infty. \quad (5)$$

Чтобы оценить численное значение времени наработки на отказ, примем, что  $R_{\tau_{\text{отказа}}} = 0,99R_{\tau_{\max}}$ , тогда

$$\tau_{\text{отказа}} = \frac{4,6}{B}. \quad (6)$$

Будем считать, что при  $\tau > \tau_{\text{отказа}}$  отказ становится абсолютно достоверным событием, тогда определим поток отказов  $\lambda(t)$  как:

$$\lambda(t) = \frac{1}{\tau_{\text{отказа}}} = \frac{B}{4,6}. \quad (7)$$

Подставляя это значение в выражение (2), получим вероятность безотказной работы теплообменного аппарата в виде:

$$P(t) = e^{-\frac{B}{4,6}t}. \quad (8)$$

Соответственно вероятность отказа  $P_0(t)$  и вероятность безотказной работы, как взаимно исключающие события связаны соотношением:

$$P_0(t) = 1 - P(t). \quad (9)$$

По данным Ассоциации Фирм-Изготовителей Трубчатых Теплообменных Аппаратов [2] коэффициент загрязнения питательной воды в котле при  $T \geq 325$  (К),  $R_d = 0,0002$  (м<sup>2</sup> К/Вт), водяной пар 0,0009 (м<sup>2</sup> К/Вт). В то же время по данным [3] при  $t = 60$  °С в пластинчатом теплообменном аппарате вода, прошедшая градирню, уже через 1800 часов работы характеризуется величиной  $R = 0,0001$  (м<sup>2</sup> К/Вт), что соответствует непрерывной работе пластинчатого теплообменного аппарата в течение 75 суток, в диапазоне скорости движения воды от 0,45 м/с до 0,85 м/с.

Данные показывают, что термическое сопротивление существенно зависит от температуры теплоносителя и его скорости, при этом возникает задача определения такого слоя загрязнений, который бы не изменял температуру нагреваемого теплоносителя более чем на 1 °С. Этому соответствует изменение коэффициента теплопередачи на 2 %. Точность регулирования температуры на выходе из теплообменных систем отопления  $\pm 1$  °С. При этом загрязнения будут снижать температуру на выходе на (1...1,5) °С, и в целом температуру на выходе ниже расчетного значения на 2,5 °С, что для достижения заданного значения требует увеличения расхода греющего теплоносителя на (10...14) %, что будет сказываться на стоимостных характеристиках отпуска теплоты.

Таким образом, коэффициент теплопередачи не должен отличаться от расчетного значения более чем на 7 %; и будем понимать под безотказной работой теплообменника такое состояние его теплопередающей поверхности, когда термическое сопротивление загрязнений не превышает максимально допустимого значения. С учетом этого определения и имеющихся данных была определена вероятность безотказной работы [1] в виде:

$$P(t) = e^{-6,25 \cdot 10^{-4} \cdot t} \quad (10)$$

С учетом принятого определения отказа, образование слоя отложений с термическим сопротивлением  $R_{\max}$  становится достоверным событием через 1600 часов работы пластинчатого теплообменного аппарата, или 9,5 недель. В соответствие с этими данными следует рекомендовать и соответствующий график обслуживания пластинчатых теплообменных аппаратов, с учетом наличия резервного теплообменника. Будем считать, что для обслуживания, разборки и сборки пластинчатого теплообменного аппарата необходимо 3-е суток (72 часа). С другой стороны, в соответствии с имеющимися данными в период от 300 часов работы до 1600 часов, термическое сопротивление отложений удваивается, поэтому в этот интервал времени работы ПТА и необходимо провести обслуживание. На рис. 1 представлен фрагмент графика работы теплового пункта с двумя ПТА с резервированием, однако, в основу составления графика может быть положен принцип одинаковой наработки (износа) каждым из теплообменников, и тогда в качестве резервного будут выступать последовательно 3-й, 2-й и 1-й теплообменники соответственно. Фрагмент такого графика представлен на рис. 2.

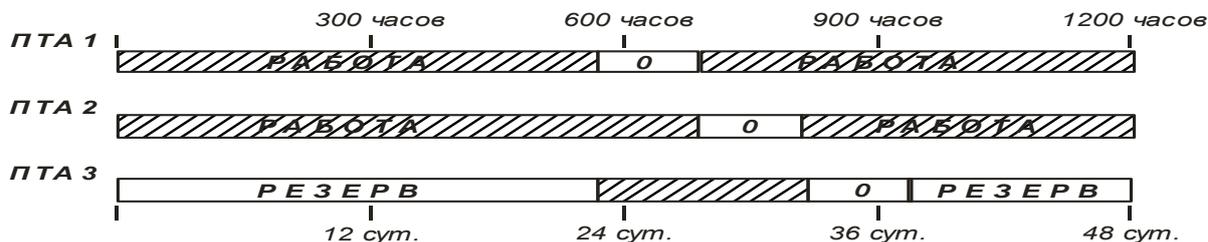


Рисунок 1 – Фрагмент графика с резервированием ПТА

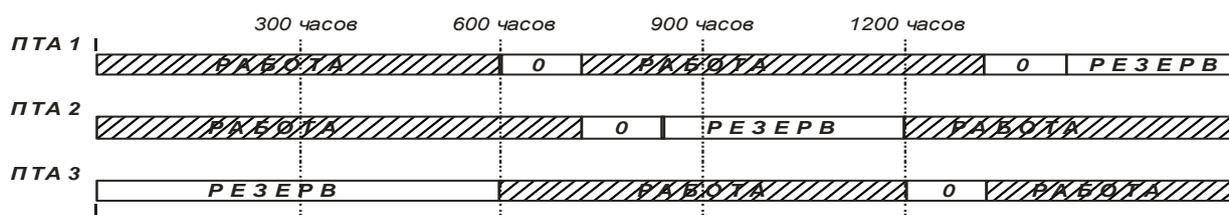


Рисунок 2 – Фрагмент графика работы теплового пункта с тремя теплообменниками, разработанного из условия равного износа (времени наработки)

С точки зрения эксплуатации последовательное выведение в резерв теплообменников представляется более предпочтительным, поскольку дает возможность проводить последовательно обслуживание теплообменников не в столь краткие сроки и, кроме того, избежать частого перерегулирования и переналадки при каждом новом вводе в работу теплообменников.

В целом, предложенные графики позволяют обеспечить заданную расчетную точность регулирования температуры теплоносителя на выходе из теплообменника в 1 °С.

Через 600 часов работы двух теплообменных аппаратов в соответствии с обычным графиком эксплуатации:  $P(600) = 1 - (1 - P_i(600))^2 = 1 - 0,25^2 = 0,9375$ . При эксплуатации, предполагающей переменное обслуживание и включение теплообменных аппаратов:  $P_{zp}(600) = 1 - ((1 - P_i(600))(1 - 0,99)) = 0,9975$

Соответственно, и количество сэкономленной теплоты, рассчитываемое по (1) будет пропорционально вероятностям безотказной работы, вычисленным для соответствующих графиков подключения.

Как видно из рис. 3, для обычного графика эксплуатации вероятность безотказной работы теплообменных аппаратов постоянно падает с течением времени, в то время как при переменном обслуживании и включении теплообменных аппаратов этот показатель является высоким и не опускается ниже определенного значения (0,85).

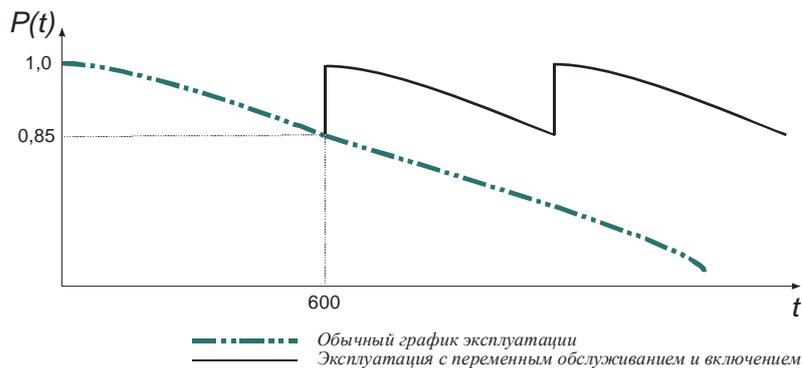


Рисунок 3 – Графики вероятности безотказной работы

### Литература

1. Анипко О.Б., Арсеньева О.П. Надежность пластинчатых теплообменных аппаратов систем отопления и горячего водоснабжения с учетом образования загрязнений на теплопередающей поверхности. Интегрированные технологии и энергосбережение. № 4. 2003. С. 49 – 54
2. Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л., Арсеньева О.П. Методика расчета пластинчатых паровых теплообменников// Интегрированные технологии и энергосбережение. № 2. 2002. С. 49 – 54.
3. Cooper A., Suito J.W., Usher J.D. Cooling Water Fouling in Plate Heat Exchangers. 6<sup>th</sup> Int. Heat Transfer Conference, Toronto, 1978

УДК 66.048.28.001

Аніпко О.Б., Арсеньєва О.П., Гогенко А.Л.

### ЕКОНОМІЧНА ЦЕЛЕСОБРАЗНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖУЮЧИХ ЗАХОДІВ З УРАХУВАННЯМ СТУПЕНЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ

Розглянутий економічний аспект модернізації комунального сектору з метою підвищення енергозбереження. Модернізація комунального сектору враховує заміну старого обладнання. У цієї роботи розглянуто монтування пластинчастих теплообмінних апаратів для потреб опалення та гарячого водопостачання. Визначена ймовірність безвідказної роботи теплообмінного апарату. Надані рекомендації відносно графіка обслуговування пластинчастих теплообмінних апаратів, з урахуванням резервного теплообмінника.