

УДК 697.3

## УРОВЕНЬ НАДЕЖНОСТИ КАК ФАКТОР РАБОТОСПОСОБНОСТИ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

**Соколова С.С., Рожков В.Ф.**

*Тульский государственный университет, г. Тула, Россия*

*Предлагается рассматривать уровень надежности системы теплоснабжения как показатель, определяющий работоспособность проектируемой или реконструируемой системы, рекомендуются способы оценки новых технических решений и разработок, направленных на повышение надежности существующей системы с точки зрения обеспечения требуемой температуры внутри помещений  $\theta_{\hat{a}}$ .*

Определение надежности системы теплоснабжения должно быть основано на требуемом уровне надежности, соответствующем техническому уровню проектируемых или реконструируемых систем.

Уровень надежности системы должен быть таким, чтобы при ее использовании в любых, оговоренных проектом условиях эксплуатации не возникали отказы, т.е. не нарушалась ее работоспособность. Кроме того, во многих случаях желательно, чтобы она имела запас надежности для повышения сопротивляемости экстремальным воздействиям, когда система попадает в условия, не предусмотренные разработчиком.

Для систем теплоснабжения это означает, что проектируемая или реконструируемая система нового технического уровня должна иметь повышенный уровень надежности по сравнению с существующей системой, должна обладать гидравлической и тепловой устойчивостью, то есть способностью пропорционально изменять теплопередачу  $Q_{\hat{a}\delta}$  отдельных участков готовой системы при изменении параметров теплоносителя (температуры  $\theta_{\hat{a}}$  или расхода  $G$  подаваемой в систему воды) и свести к минимуму разрегулирование системы при изменении ее структуры.

Новый технический уровень системы теплоснабжения зданий в соответствии с [1] может определяться коэффициентом технического уровня  $k_{\hat{o}}$ , который определяется по приведенной ниже зависимости, обеспечивающей его равенство показателю, характеризующему уровень прогрессивности технического решения за счет повышения надежности применяемого оборудования и изменяющегося от 0,5 и выше

$$k_{\hat{o}} = Q_{\hat{a}\delta, \hat{i}} / Q_{\hat{a}\delta, \hat{n}}$$

где  $Q_{i \delta, i}$  - теплоотдача системой нового технического уровня при средней величине температуры  $\theta_i$  отопительного периода;  $Q_{i \delta, \bar{n}}$  - теплоотдача существующей системы при средней величине температуры  $\theta_i$  отопительного периода;

Требуемый уровень надежности рассматриваемой системы определяет вероятность отказа, соответствующую новому техническому уровню.

$$q_i = q_{\bar{n}} / k_y,$$

где  $q_c$  и  $q_i$  - вероятности отказа систем отопления соответственно существующей и нового технического уровня.

Затраты на обеспечение надежности новой системы и ее элементов

$$C_{i \dot{y}} = C_{\bar{n} \dot{y}} \left( \frac{q_{\bar{n} \dot{y}}}{q_{i \dot{y}}} \right)^{k_y}$$

или

$$C_{i \dot{y}} = C_{\bar{n} \dot{y}} \left( \frac{\lambda_{\bar{n} \dot{y}}}{\lambda_{i \dot{y}}} \right)^{k_y}$$

откуда

$$\lambda_{i \dot{y}} = \lambda_{\bar{n} \dot{y}} \left( \frac{C_{\bar{n} \dot{y}}}{C_{i \dot{y}}} \right)^{\frac{1}{k_y}}.$$

Таким образом, если уровень надежности разрабатываемой системы, проведенный в соответствии с методикой [1], позволяет снизить вероятность отказа новой системы по сравнению с существующей, то могут быть рекомендованы новые технические решения и разработки, направленные на повышение надежности существующей системы с точки зрения обеспечения требуемой температуры внутри помещений  $\theta_a$ .

Исходя из структуры взаимосвязанных элементов системы теплоснабжения зданий и равной вероятности отказа, по общеизвестным зависимостям структурной надежности устанавливается вероятность отказа элементов системы  $q_{\dot{y}}$ :

$$q_{\dot{y}} = q(\hat{O}_i),$$

где  $q(\hat{O}_i)$  - вероятность отказа элемента системы теплоснабжения, определяемая из  $Q$  конструктивной структуры взаимосвязанных элементов.

Расчет показателей надежности элементов системы теплоснабжения в 1-ом цикле ее работы, когда она рассматривается как невосстанавливаемая, ведется по следующим зависимостям:

- вероятность безотказной работы элементов за отрезок времени  $T$

$$p(\dot{O})=1-q(\dot{O}), \quad p(T)=e^{-\lambda T} \approx \lambda T$$

- среднее время безотказной работы элементов

$$\dot{O}_{\bar{n}\delta}=1/\lambda,$$

где  $\lambda$  - интенсивность отказов элементов новой системы.

В связи с тем, что система теплоснабжения относится к восстанавливаемым системам, то наиболее полной характеристикой ее надежности является вероятность нормального функционирования  $p_{i\delta}$ , учитывающая начальное состояние системы, ее безотказность и восстанавливаемость.

Вероятность восстановления системы представляет вероятность того, что случайное время восстановления не превышает заданного времени  $\tau$  и вычисляется из выражения:

$$V(\tau)=p(\tau)=1-e^{-\mu\tau},$$

где  $\mu$  - интенсивность восстановления (параметр потока восстановлений)

$$\mu=1/T_{\hat{a}},$$

где  $T_{\hat{a}}$  - среднее время восстановления системы.

Среднее время восстановления может быть определено на этапе проектирования, если имеются данные о том, сколько в среднем затрачивается времени на обнаружение и устранение отказа элементов определенного типа, если для различных элементов это время неодинаково.

При отсутствии этих данных для типовых элементов среднее время восстановления может быть вычислено по данным опыта эксплуатации отдельных элементов, аналогичных проектируемым. Точность вычисления  $T_{\hat{a}}$  тем выше, чем большее количество статистических данных используется при расчете.

С учетом того, что для системы теплоснабжения наработка до отказа  $T_{\hat{i}}$  превышает среднее время восстановления элемента  $T_{\hat{a}}$ , то вероятность нормального функционирования  $p_{i\delta}(T, \tau)$  рассчитывается по выражению:

$$p_{i\delta}(T, \tau) = k_{\bar{A}} \delta(T),$$

где  $k_{\tilde{A}}$  - коэффициент готовности системы, вычисляемый по среднему времени безотказной работы восстанавливаемой системы в 1-ом цикле ее работы или вероятность исправного состояния перед началом функционирования.

$$k_{\tilde{A}} = T_o / (T_o + T_{\hat{a}}),$$

$p(T)$  - вероятность безотказной работы системы в 1-ом цикле работы восстанавливаемой системы.

$$p(T) = e^{-\lambda T},$$

где  $\lambda$  - интенсивность отказа системы.

Из приведенных зависимостей следует, что повышение надежности системы возможно либо за счет уменьшения времени восстановления  $T_{\hat{a}}$ , либо за счет повышения среднего времени безотказной работы. Однако, уменьшение  $T_{\hat{a}}$  в 3 раза увеличивает  $k_{\tilde{A}}$  только на 1%, в связи с чем это не является радикальным способом повышения надежности.

Надежность системы может быть повышена за счет показателей восстанавливаемости  $V(\tau_{\hat{a}})$  и  $\beta$ , соответственно, вероятности восстановления за допустимое время  $\tau_{\hat{a}}$  и коэффициента соотношения среднего времени восстановления  $T_{\hat{a}}$  и допустимого времени простоя  $\tau_{\hat{a}}$ , которые определяются по зависимостям:

$$V(\tau_{\hat{a}}) = 1 - (1 + 2\beta)\hat{a}^{-2\beta},$$

где  $\beta = \tau_{\hat{a}} / T_{\hat{a}}$ .

С учетом их показатели надежности восстанавливаемой системы отопления могут определяться по выражениям:

$$p(T, \tau_{\hat{a}}) = \exp\left[-\frac{1 - V(\tau_{\hat{a}})}{T_o} T\right], \quad T_o(\tau_{\hat{a}}) = \frac{T_o}{1 - V(\tau_{\hat{a}})},$$

где  $T_o(\tau_{\hat{a}})$  - наработка до отказа восстанавливаемой системы.

Соотношение среднего времени безотказной работы системы  $T_o$ , рассматриваемой как невосстанавливаемой, и наработки до отказа восстанавливаемой системы  $T_o(\tau_{\hat{a}})$  показывает, что с увеличением вероятности

восстановления за допустимое время  $\tau_{\ddot{a}}$  можно получить значительный выигрыш в надежности.

Возникновение отказов в работе системы связано с вероятностью появления свойственных им условий эксплуатации

$$\delta_{\acute{o},\hat{e}}(\acute{O}) \leq \frac{\tau_{\ddot{a},\hat{e}}}{T_o(\tau_{\ddot{a}})}, \quad \delta_{\acute{o},\hat{\delta}}(\acute{O}) \leq \frac{\tau_{\ddot{a},\hat{\delta}}}{T_o(\tau_{\ddot{a}})},$$

где  $\tau_{\ddot{a},\hat{e}}$  и  $\tau_{\ddot{a},\hat{\delta}}$  – допустимое время восстановления системы отопления зданий, определяемое соответственно свойствами и условиями работы конструкционных материалов и соответствием их параметров условиям функционирования;  $P_{\acute{o},\hat{e}}(\acute{O})$  – вероятность появления условий работы конструкционных материалов, приводящих к разрушению, износу и деформации элементов системы отопления зданий;  $P_{\acute{o},\hat{\delta}}(\acute{O})$  – вероятность появления условий работы системы теплоснабжения зданий, приводящих к снижению эффективности их функционирования и отказа из-за неполного соответствия параметров системы условиям их эксплуатации.

Поскольку допустимое время восстановления отказавшей системы отопления зданий связано в данном случае с необходимостью поддержания температуры внутри помещений  $\theta_{\acute{a},\ddot{a}}$ , не приводящей к полному отказу системы, то исходя из условия равной вероятности

$$\delta_{\acute{o}}(\acute{O}) \leq \frac{\tau_{\ddot{a}}}{T_i(\tau_{\ddot{a}})},$$

Из приведенных выше зависимостей следует, что уровень надежности элементов системы теплоснабжения как технической системы определяется надежностью работы конструкционных материалов элементов системы  $q_{i,\hat{e}}$  и функциональной надежностью  $q_{i,\hat{\delta}}$  при необходимости поддержания температуры внутри помещений  $\theta_{\acute{a},\ddot{a}}$ , не приводящей к полному отказу системы, которые устанавливаются из условия равной вероятности отказа.

Литература

1. Соколова С.С., Соколов В.А. Управление температурным режимом производственных зданий: Монография; Тул. гос. ун-т – Тула, 2010.- 167с.
2. Проников А.С. Параметрическая надежность машин / А.С. Проников – М.: Изд. МГТУ им. Баумана, 2002. – 560с.