

## Механика жидкости

### НАДЕЖНОСТЬ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО ПУНКТА УЧЕБНОГО КОРПУСА РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ

А.П. СВИНЦОВ\*, доктор технических наук, профессор,  
Т.В. СКРИПНИК\*\*, ассистент;  
М.Т. ГУСАМОВ\*\*\*, студент магистратуры,  
Т.К. КРИВОШАПКИНА\*\*\*\*, студентка магистратуры  
ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва  
\*svintsovap@rambler.ru; \*\*tvscripnic@rambler.ru  
\*\*\*gmt94@mail.ru; \*\*\*\*kr.tatiana@bk.ru

*Представлены результаты исследования показателей надежности системы отопления учебного здания РУДН. Показано, что за период эксплуатации с 2004 г. по 2016 г. отказы пластинчатых теплообменников и насосных агрегатов не зафиксированы. В процессе эксплуатации оборудования индивидуального теплового пункта неисправности запорной и предохранительной арматуры насосных агрегатов не выявлены. После устранения неисправностей задвижек и обратных клапанов работа насосных агрегатов возобновлялась. Вероятность безотказной работы индивидуального теплового пункта в течение отопительного периода составляет в среднем 0,952.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** теплообменник, задвижка, обратный клапан, надежность, интенсивность отказов, неисправность.

#### **Введение**

Индивидуальный тепловой пункт (ИТП) представляет собой сложную систему с большим количеством элементов совместно работающего оборудования, предназначенного для подачи необходимого количества теплоты для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения здания. Теплоэнергетическая эффективность функционирования индивидуальных тепловых пунктов в значительной степени зависит от слаженной работы оборудования, которое характеризуется неоднородностью качественных признаков работоспособности. В этой связи оценка эксплуатационной надежности оборудования позволяет эффективно решать задачу обеспечения бесперебойной его работы.

В настоящее время проблеме повышения надежности оборудования тепловых пунктов не уделяется должного внимания. Это не позволяет давать объективную оценку технического состояния элементов оборудования и обеспечивать улучшение условий его эксплуатации.

В рамках исследования выявлено дерево отказов оборудования ИТП, а также предложена методика оценки показателей надежности.

#### **Индивидуальные тепловые пункты и их эксплуатационная надежность, как объекты современного исследования**

Теплоэнергетическая эффективность функционирования индивидуальных тепловых пунктов в значительной степени зависит от надежности эксплуатируемого оборудования. Исследования российских и зарубежных специалистов направлены на совершенствование технической оснащенности индивидуальных тепловых пунктов и повышение их теплоэнергетической эффективности.

В работах [1, 2] показано, что применение систем автоматического управления тепловыми пунктами позволяет повысить эффективность их функционирования на 35%. Энергосберегающий эффект может быть получен за счет устранения перетоков теплоносителя и оптимизации режимов теплоснабжения.

Аналізу процессов смешения потоков теплоносителей с различными температурами посвящено исследование, результаты которого представлены в [3].

Выявлены особенности потерь эксергии, составляющих в системах вентиляции 42,1% и в системах отопления 46,3%.

Для повышения эффективности использования тепловой энергии в системах отопления и горячего водоснабжения предлагают использовать блочные тепловые пункты [4], характеризующиеся компактностью конструкции и высоким уровнем автоматизации управления. Это позволяет снизить потребление тепловой энергии более, чем на 20% по сравнению с системами, подключенными к центральному тепловому пунктам.

В работах [5-8] отмечена важность применения систем автоматики в управлении оборудованием индивидуальных тепловых пунктов. Показано, что системы автоматизации потребления тепловой энергии позволяют снизить ее расход в течение всего отопительного периода. При этом эффективность функционирования индивидуальных тепловых пунктов может снизиться при неудовлетворительном состоянии внутренних систем отопления и их регулировке.

В работе [9] представлен анализ экономических аспектов эффективности функционирования систем теплоснабжения. Результаты исследования преимуществ индивидуальных тепловых пунктов, оснащенных отечественным оборудованием, представлены в [10]. Показано, что во многих городах страны применяют индивидуальные тепловые пункты блочного типа на базе импортных пластинчатых теплообменников. Отмечено также, что в настоящее время оборудование и автоматика индивидуальных тепловых пунктов отечественного производства значительно эффективнее зарубежных аналогов, так как в их конструкциях учтены особенности принципиально новых технологий их изготовления.

Надежность, ремонтпригодность имеют важное значение для обеспечения работы оборудования [11]. Для исследования показателей надежности использован метод, основанный на анализе дерева неисправностей. Такой анализ позволяет выявить наименее работоспособные элементы и оказывать влияние на их безопасную эксплуатацию. Исследованиями [12] выявлено, что за счет выявления и своевременного устранения отказов возможно получить снижение эксплуатационных затрат на 30%.

Оценку показателей надежности теплообменного оборудования целесообразно производить как в общем виде, так и поэлементно [13]. Это позволяет более широко охватить статистическую информацию о системе. Анализ статистических данных о системе в целом и об ее подсистемах позволяет полнее учитывать имеющиеся резервы надежности энергетического оборудования [14]. Применение теории надежности к оценке технического состояния отопительного оборудования [15] включает определение вероятностей для «средней продолжительности восстановления», «среднего времени между отказами» и «времени принятия решения». Это является очень важным элементом системы эксплуатации теплоэнергетического оборудования.

Анализ публикаций показывает, что отечественные специалисты исследуют индивидуальные тепловые пункты в аспекте теплоэнергетической эффективности их функционирования. Однако, проблема надежности оборудования индивидуальных тепловых пунктов осталась за пределами интересов исследователей.

Зарубежные специалисты в своих исследованиях эффективности теплоэнергетического оборудования проблеме его надежности уделяют значительное внимание. Оценка эксплуатационной надежности оборудования индивидуальных тепловых пунктов позволяет не только оптимально использовать трудовые ресурсы и парк запасных частей, но и совершенствовать устройства и технологию их эксплуатации.

### Методика исследования

К исследованию принят индивидуальный тепловой пункт здания Российского университета дружбы народов. Тепловая схема предусматривает использование тепловой энергии для систем отопления и горячего водоснабжения, а также для теплоснабжения установок приточной вентиляции. В схеме индивидуального теплового пункта предусмотрены: контур отопления с возможностью автоматического регулирования подачи теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха; контур горячего водоснабжения с возможностью автоматического поддержания постоянной температуры воды. Система отопления работает по зависимой схеме с пластинчатым теплообменником. Система горячего водоснабжения работает по закрытой схеме с пластинчатым теплообменником. Теплоснабжение приточной вентиляции осуществляется по независимой схеме с автоматическим регулированием в зависимости от температуры наружного воздуха.

Неисправности элементов оборудования индивидуального теплового пункта неравноценны как в качественном, так и в количественном аспектах. Для анализа надежности индивидуального пункта использован метод «дерева неисправностей», который позволяет осуществлять количественную оценку показателей надежности. Схема дерева повреждений представлена на рис. 1.



Рис. 1. «Дерево неисправностей» индивидуального теплового пункта

Анализ «дерева неисправностей» и оценок показателей надежности индивидуального теплового пункта выполнены на основе первичной статистической информации, которая получена из журналов регистрации технического состояния оборудования. При анализе записей использованы данные за четырехлетний период эксплуатации оборудования индивидуального теплового пункта.

После идентификации неисправностей оборудования выполнена предварительная статистическая обработка данных, заключающаяся в вычислении средних значений, стандартных отклонений и доверительных интервалов при обеспеченности  $\gamma=0,05$ .

Оборудование индивидуальных тепловых пунктов является восстанавливаемым. Количественным показателем надежности является вероятность безот-

казной работы  $P(t)$  от начала до отказа. Поток отказов элементов оборудования является ординарным, поскольку следующий отказ может произойти только после восстановления.

В связи с этим основные показатели надежности оборудования индивидуального теплового пункта определяются на основе следующих положений:

$$\begin{cases} \lambda(t) = \lambda = const; \\ P(t) = e^{-\lambda t}; \\ Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}; \\ P(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}; \\ \omega(t) = \lambda; \\ t_{н.о.} = t_o \end{cases} \quad (1)$$

где  $\lambda(t)$  – интенсивность отказов оборудования;  $Q(t)$  – вероятность отказа оборудования;  $\omega(t)$  – средняя частота отказов;  $t_{н.о.}$ ,  $t_o$  – время наработки на отказ и время работы до первого отказа после восстановления, соответственно.

Для оборудования индивидуальных тепловых пунктов характерно экспоненциальное распределение наработки на отказ. Применительно к анализируемым условиям план исследования имеет вид:

$$h_0 + \varphi t < \sum_{i=1}^k x_i < h_1 + \varphi t \quad (2)$$

Верхняя граница параметра отказов  $h_0$  при  $\sum x_i = 0$  определяется по формуле:

$$h_1 = \frac{\ln \frac{1 - \beta}{\alpha}}{\ln \frac{\lambda_1}{\lambda_0}} \quad (3)$$

Нижняя граница параметра отказов  $h_0$  при  $\sum x_i = 0$  определяется по формуле:

$$h_0 = \frac{\ln \frac{\beta}{1 - \alpha}}{\ln \frac{\lambda_1}{\lambda_0}} \quad (4)$$

Параметр браковки и приемки  $\varphi$  определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{n(\lambda_1 - \lambda_0)}{\ln \frac{\lambda_1}{\lambda_0}} \quad (5)$$

В представленных формулах использованы следующие обозначения:  $h_0$ ,  $h_1$  – нижняя и верхняя границы параметра отказов оборудования, соответственно;  $t$  – продолжительность работы оборудования до отказа;  $\beta$  – вероятность того, что оборудование не отвечает требованиям технических условий эксплуатации,  $\beta=0,05$ ;  $\alpha$  – вероятность того, что оборудование будет забраковано несмотря на то, что показатели надежности соответствуют требованиям технических условий эксплуатации,  $\alpha = 0,05$ ;  $\lambda_0$ ,  $\lambda_1$  – приемочный и бракованный уровни интенсивности отказов, соответственно;  $n$  – объем выборки. Использование представленной методики для анализа фактического состояния элементов оборудования в процессе эксплуатации в индивидуальном тепловом пункте позволило выполнить оценку его надежности с обеспеченностью не ниже  $\gamma = 0,05$ .

#### Результаты исследования

Особенность эксплуатации ИТП заключается в проведении ежегодных профилактических работ в летний период при подготовке к зиме. Работы за-

ключаются не только в проверке герметичности системы отопления, но и в профилактическом ремонте арматуры, уплотнений теплообменников, насосных агрегатов. Несмотря на это, в процессе текущей работы оборудования в отопительный период возникают различные неисправности с некоторой повторяемостью.

Оценка надежности ИТП, как сложной системы, выполнена по блокам, конструктивно организованным в единое целое. Такой подход позволяет сравнивать узлы агрегатов по их надежности для возможности совершенствования их эксплуатации.

При анализе статистических данных об отказах отдельных элементов системы индивидуального теплового пункта установлено, что за четыре года наблюдений отказы теплообменников не зафиксированы. Установлено, что в процессе эксплуатации герметичность соединений теплообменников с фитингами незначительно ослабевает. После выполнения профилактических мероприятий герметичность указанных уплотнений восстанавливается и оборудование готово к работе. При этом указанное ослабление не является неисправностью и не приводит к отказу теплообменника.

Оценка надежности ИТП выполнена на основе анализа статистических данных насосного оборудования систем отопления и горячего водоснабжения. Отказ блоков насосного оборудования систем отопления и горячего водоснабжения произойдет, если в нерабочем состоянии будут рабочие и резервные насосные агрегаты, а также арматура, установленная на них. За период эксплуатации с 2004 г. и период целенаправленных наблюдений с 2012 г. были выявлены неисправности задвижек и обратных клапанов. Отказов насосов и электродвигателей к ним за указанный период не выявлено.

Интенсивность отказов насосного оборудования, обеспечивающего циркуляцию теплоносителя в системе отопления (от.) составляет от  $\lambda_{от.min}^* = 0,043 \cdot 10^{-4}, ч^{-1}$  до  $\lambda_{от.max}^* = 0,059 \cdot 10^{-4}, ч^{-1}$  при среднем значении  $\lambda_{от.ср.}^* = 0,051 \cdot 10^{-4}, ч^{-1}$ . Вероятность безотказной работы агрегатов насосного оборудования системы отопления в течение отопительного периода (5000 ч) составляет от  $P_{от.min}^* = 0,971$  до  $P_{от.max}^* = 0,979$  при среднем  $P_{от.ср.}^* = 0,975$ .

Интенсивность отказов насосных агрегатов системы горячего водоснабжения (гвс) составляет от  $\lambda_{гвс.min}^* = 0,031 \cdot 10^{-4}, ч^{-1}$  до  $\lambda_{гвс.max}^* = 0,04 \cdot 10^{-4}, ч^{-1}$  при среднем значении  $\lambda_{гвс.ср.}^* = 0,036 \cdot 10^{-4}, ч^{-1}$ . Вероятность безотказной работы в течение отопительного периода (5000 ч) составляет от  $P_{гвс.min}^* = 0,981$  до  $P_{гвс.max}^* = 0,985$  при среднем  $P_{гвс.ср.}^* = 0,982$ .

Интенсивность отказов ИТП в целом за отопительный период (5000 ч) составляет от  $\lambda_{ИТП.min}^* = 0,074 \cdot 10^{-4}, ч^{-1}$  до  $\lambda_{ИТП.max}^* = 0,099 \cdot 10^{-4}, ч^{-1}$  при среднем значении  $\lambda_{ИТП.ср.}^* = 0,087 \cdot 10^{-4}, ч^{-1}$ . Вероятность безотказной работы ИТП в целом составляет от  $P_{ИТП.min}^* = 0,957$  до  $P_{ИТП.max}^* = 0,964$  при среднем значении  $P_{ИТП.ср.}^* = 0,952$ .

По полученному среднему значению отказов ИТП в целом в годовом исчислении продолжительность межремонтного периода составляет  $t_p=11,5$  лет. Таким образом, установленное оборудование ИТП здания Российского университета дружбы народов характеризуется высокой надежностью и продолжительным межремонтным периодом при существующей системе эксплуатации.

### **Заключение**

В результате четырехлетних систематических наблюдений за техническим состоянием индивидуального теплового пункта учебного корпуса Российского университета дружбы народов установлено:

1. Техническое обслуживание оборудования в период подготовки к зиме и качественная его эксплуатация позволяют обеспечить безотказное функционирование индивидуального теплового пункта в отопительный период.
2. Введенное в эксплуатацию в 2004 г. оборудование характеризуется высокой эксплуатационной надежностью.
3. За период с 2004 г. по 2016 г. отказы теплообменников не выявлены.
4. За период регулярных наблюдений с 2012 г. по 2016 г. отказы насосов и электродвигателей к ним не выявлены.
5. За период регулярных наблюдений выявлены отказы задвижек и обратных клапанов, а также ослабление герметичности соединения теплообменников с фурнитурой.
6. Для дальнейшего обеспечения бесперебойной работы индивидуального теплового пункта необходимо наладить документальный учет возникновения и устранения неисправностей оборудования. Это позволит создать условия для повышения надежности функционирования индивидуального теплового пункта.

#### Л и т е р а т у р а

1. *Бобух А.А., Ковалев Д.А.* Повышение энергосбережения закрытого централизованного теплоснабжения города при реконструкции центрального и модернизации индивидуального тепловых пунктов // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2014. № 3 (121). С. 12-18.
2. *Курочкина К.Ю., Горшков А.С.* Влияние авторегулирования на параметры энергопотребления жилых зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 4 (31). С. 220-231.
3. *Манзарханова Л.М.* Анализ распределения потерь эксергии в тепловом пункте на примере общественного здания // Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья: сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции (заочной). 2015. С. 137-140.
4. Блочные индивидуальные тепловые пункты // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2011. № 11 (119). С. 58-61.
5. *Кунгс Я.А., Цугленок Н.В., Животов О.Н., Таран Е.Ю.* Индивидуальный тепловой пункт (концептуальный проект) // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2014. № 11. С. 196-199.
6. *Задвинская Т.О., Горшков А.С.* Методика повышения энергоэффективности типового многоквартирного дома путем внедрения систем учета, автоматизации и регулирования тепловой энергии // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 8 (23). С. 79-92.
7. *Сафонов Е.В., Разнополов К.О., Бондарев Ю.Л.* Повышение эффективности использования энергетических ресурсов в системах теплоснабжения зданий за счет выбора стратегии управления тепловыми пунктами // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2012. № 18. С. 146-149.
8. *Сафиуллин Д.Х., Ахметова И.Г., Мухаметова Л.Р.* Энергоэффективность индивидуальных тепловых пунктов (ИТП). Переход от ЦТП к ИТП // Сб. трудов Международной научно-техн. конференции им. Леонардо да Винчи. 2013. Т. 1. С. 183-185.
9. *Чернов С.С., Кулак Е.Ф.* Энергосбережение и повышение энергоэффективности в системах теплоснабжения // Сибирский экономический вестник. 2016. № 3. С. 117-145.
10. *Сердюк А.А.* Исследование ряда преимуществ отечественных индивидуальных тепловых пунктов, применяемых в жилищно-коммунальном хозяйстве // Ученые заметки ТОГУ. 2012. Т. 3. № 1. С. 93-97.
11. *Peruzzi L., Salata F., A. de Lieto Vollaro, R. de Lieto Vollaro.* The reliability of technological systems with high energy efficiency in residential buildings // Energy and Buildings, Volume 68, Part A, January 2014, Pages 19-24.
12. *Sikos L., Klemeš Ji.* Reliability, availability and maintenance optimisation of heat exchanger networks // Applied Thermal Engineering, V. 30, Is. 1, January 2010, Pages 63-69.
13. *Babiarz B.* An introduction to the assessment of reliability of the heat supply systems // Intern. Journal of Pressure Vessels and Piping, V. 83, Is. 4, April 2006, Pages 230-235.

14. *Jiang-Jiang Wang, Chao Fu, Kun Yang, Xu-Tao Zhang, Guo-hua Shi, John Zhai.* Reliability and availability analysis of redundant BCHP (building cooling, heating and power) system // *Energy*, Volume 61, 1 November 2013, Pages 531-540.

15. *Myrefelt S.* The reliability and availability of heating, ventilation and air conditioning systems // *Energy and Buildings*, V. 36, Issue 10, October 2004, Pages 1035-1048.

#### References

1. *Bobuh A.A., Kovalev D.A.* Povyshenie jenergosberezhenija zakrytogo centralizovannogo teplosnabzhenija goroda pri rekonstrukcii central'nogo i modernizacii in-dividual'nogo teplovyh punktov // *Jenergosberezhenie. Jenergetika. Jenergoaudit.* 2014. № 3 (121). S. 12-18.

2. *Kurochkina K.Ju., Gorshkov A.S.* Vlijanie avtoregulirovaniya na parametry jenergotrebleniya zhilyh zdaniy // *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij.* 2015. № 4 (31). S. 220-231.

3. *Manzarhanova L.M.* Analiz raspredeleniya poter' jeksergii v teplovom punkte na primere obshhestvennogo zdaniya // *Gradostroitel'stvo, rekonstrukcija i inzhenernoe obespechenie ustojchivogo razvitiya gorodov Povolzh'ja: sbornik trudov IV Vserossij-skoj nauchno-prakticheskoj konferencii (za-chnoj).* 2015. S. 137-140.

4. *Blochnye individual'nye teplovyje punkty* // *Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie.* 2011. № 11 (119). S. 58-61.

5. *Kungs Ja.A., Cuglenok N.V., Zhivotov O.N., Taran E.Ju.* Individual'nyj teplovoj punkt (konceptual'nyj proekt) // *Vestnik Krasnojarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2014. № 11. S. 196-199.

6. *Zadvinskaja T.O., Gorshkov A.S.* Metodika povysheniya jenergojeffektivnosti tipovogo mnogokvartirnogo doma putem vnedreniya sistem ucheta, avtomatizacii i regulirovaniya teplovoj jenerгии // *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij.* 2014. № 8 (23). S. 79-92.

7. *Safonov E.V., Raznopolov K.O., Bondarev Ju.L.* Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovaniya jenergeticheskikh resursov v sistemah teplosnabzheniya zdaniy za schet vy-bora strategii upravleniya teplovymi punktami // *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Jenergetika.* 2012. № 18. S. 146-149.

8. *Safullin D.H., Ahmetova I.G., Muhametova L.R.* Jenergojeffektivnost' individual'nyh teplovyh punktov (ITP). Perehod ot CTP k ITP // *Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii im. Leonardo da Vinchi.* 2013. T. 1. S. 183-185.

9. *Chernov S.S., Kulak E.F.* Jenergosberezhenie i povyshenie jenergojeffektivnosti v sistemah teplosnabzheniya // *Sibirskij jekonomicheskij vestnik.* 2016. № 3. S. 117-145.

10. *Serdjuk A.A.* Issledovanie rjada preimushhestv otechestvennyh individual'nyh teplovyh punktov, primenjaemyh v zhilishhno-kommunal'nom hozjajstve // *Uchenye zametki TOGU.* 2012. T. 3. № 1. S. 93-97.

11. *Peruzzi L., Salata F., A. de Lieto Vollaro, R. de Lieto Vollaro.* The reliability of technological systems with high energy efficiency in residential buildings // *Energy and Buildings*, Volume 68, Part A, January 2014, Pages 19-24.

12. *Sikos L., Klemeš Ji.* Reliability, availability and maintenance optimisation of heat exchanger networks // *Applied Thermal Engineering*, V. 30, Is. 1, January 2010, Pages 63-69.

13. *Babiarz B.* An introduction to the assessment of reliability of the heat supply systems // *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, V. 83, Is. 4, April 2006, Pages 230-235.

14. *Jiang-Jiang Wang, Chao Fu, Kun Yang, Xu-Tao Zhang, Guo-hua Shi, John Zhai.* Reliability and availability analysis of redundant BCHP (building cooling, heating and power) system // *Energy*, Volume 61, 1 November 2013, Pages 531-540.

15. *Myrefelt S.* The reliability and availability of heating, ventilation and air conditioning systems // *Energy and Buildings*, V. 36, Issue 10, October 2004, Pages 1035-1048.

#### THE RELIABILITY AND AVAILABILITY OF HEATING OF THE BUILDING OF CAMPUS OF RUDN UNIVERSITY

A.P. SVINTSOV, T.V. SCRIPNIC, M.T. GUSAMOV, T.K. KRIVOSHAPKINA  
*RUDN University, Moscow, Russia*

The article contains the results of the analysis of the reliability of the heating system of the building RUDN University. Malfunction of heat exchangers and pumps is not revealed for twelve years. During operation the malfunction of valves and check valves occurred. Troubleshooting timely of the malfunction ensures the stable functioning of heater with probability working without failure 0,952.

**Key words:** heat exchanger, gate valve, check valve, reliability, failure rate, fault.