

УДК 697.317.42

А.П. СВИНЦОВ, А.Е. АНДРОСОВ

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ
В ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТАХ***

Цель исследования заключается в разработке методики оценки эффективности используемого оборудования в индивидуальных тепловых пунктах, а также в оценке показателей надежности насосных групп для водяного отопления. Предложена модель оценки соответствия проектных значений показателей надежности блоков отопления фактическим данным по результатам эксплуатации. Оценка достоверности результатов выполнена методом доверительных интервалов. При исследовании к анализу приняты данные о внезапных отказах оборудования, приводящих к остановке соответствующей системы водяного отопления обслуживаемого здания. Использование представленной методики позволило выполнить оценку надежности с обеспеченностью не ниже $\gamma = 0,05$.

К л ю ч е в ы е с л о в а: насос, теплообменник, безотказность, неисправность, надежность, работоспособность.

DOI 10.32683/0536-1052-2019-722-2-58-71

1. Введение. Индивидуальный тепловой пункт представляет собой сложную систему с большим количеством элементов совместно работающего оборудования [1]. Важным аспектом выбора комплекта оборудования является надежность его функционирования. При этом обеспечение более высокого уровня надежности требует более высоких экономических затрат.

1.1. Анализ публикаций научно-технической информации. 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. Модели надежности могут быть созданы для ее прогнозирования на основе проектных параметров или экспериментальных данных, данных испытаний или данных об отказе. Модели надежности системы могут быть отнесены к категории ремонтпригодных или неремонтпригодных модели. Распространенной формой модели надежности системы является блок-схема надежности [2]. Проблема комплексного анализа надежности теплоснабжения потребителей рассматривается в [3, 4]. Разработаны математические модели и методы узловой оценки надежности теплоснабжения потребителей. Надежность, ремонтпригодность имеют важное значение для обеспечения работы оборудования [5, 6].

Для исследования показателей надежности использован метод, основанный на анализе дерева неисправностей. Анализ статистических данных о системе в целом и об ее подсистемах позволяет полнее учитывать резервы на-

* Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

дежности энергетического оборудования [7]. Применение теории надежности к оценке технического состояния отопительного оборудования [8] 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 процесса эксплуатации системы теплоснабжения, методика определения общего показателя ее надежности и метод прогнозирования отказов в системах централизованного теплоснабжения на основе анализа временных рядов представлены в [9]. Предлагается методика определения оптимальных параметров надежности (интенсивностей отказов и восстановлений) элементов теплоснабжающей системы, обеспечивающих требуемый уровень надежности теплоснабжения потребителей [10]. На примере системы централизованного теплоснабжения с одним источником был проведен анализ влияния транспортной мощности на надежность путем расчета комплексной надежности [11]. Была выявлена количественная зависимость между транспортной мощностью и надежностью системы централизованного теплоснабжения, показывающая максимальную надежность при соответствующей транспортной мощности циркуляционного насоса. Изложена математическая модель влияния загрязнения на работу теплообменника и сети теплообменных аппаратов и приведен пример ее применения [12]. Предлагается новая методология использования современных коммерческих программных средств для моделирования и оптимизации надежности сети теплообменников. Установлено, что за счет выявления и своевременного устранения отказов можно снизить эксплуатационные затраты на 30 % [13].

Надежность системы оказывает сильное влияние на производительность сети теплообменников [14]. Представлен метод оптимизации с анализом надежности системы теплообмена с автоматизированным регулированием.

Сформулирована задача распределения избыточности с целью максимизации надежности системы при наличии отказов общей причины. Так как события сбоя общей причины могут варьироваться от одной системы к другой, представлены три различные интерпретации проблемы оценки надежности [15] и резервирования для систем теплоснабжения [16]. Метод формализации поиска отказов по показателям эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха зданий и сооружений рассматривается в [17]. Анализ научно-технической информации показывает, что изучению надежности тепловых пунктов посвящены многие публикации.

Целью исследования является оценка надежности блоков отопления в индивидуальных тепловых пунктах систем централизованного теплоснабжения зданий. Предложена методика оценки эффективности назначения проектных показателей надежности блоков отопления индивидуальных тепловых пунктов. Техническая значимость обеспечения надежности систем теплоснабжения зданий актуальна, несмотря на большое количество исследований в этой области.

2. Оборудование и методы исследования

2.1. Оборудование. Оборудование индивидуальных тепловых пунктов включает от 100 до 200 элементов. На объектах исследования установлено

и находится в эксплуатации следующее оборудование, обеспечивающее работу систем водяного отопления: трубопроводы, пластинчатые теплообменники, насосные группы, фильтры, запорная, регулирующая и предохранительная арматура, блоки автоматического управления и регулирования.

В каждом исследованном индивидуальном тепловом пункте насосная группа системы водяного отопления выполнена с нагруженным и ненагруженным резервированием (рис. 1).



Рис. 1. Блок отопления с ненагруженным резервом насосной группы

Резервирование выполнено однотипными насосами одинаковой мощности и производительности. Нагруженным резервированием предусмотрена попеременная работа двух насосов, обеспечивающих циркуляцию теплоносителя. В качестве ненагруженного резерва установлен один насос. В насосных группах использованы агрегаты: КМ-80-50-200, ЦМНШ-80-5, Grundfos TR40-180.

2.2. Методы исследования. Теплоснабжение относится к системам жизнеобеспечения зданий. В связи с этим минимальный уровень надежности оборудования систем регламентирован нормативными документами. Неисправности элементов оборудования, возникающие в процессе эксплуатации индивидуального теплового пункта, имеют разное значение в качественном и количественном аспектах. Качественные признаки одних и тех же неисправностей могут быть охарактеризованы неодинаково разными специалистами одинаковой квалификации. Представление неисправностей в виде последовательностей чисел позволяет формализовать анализ и снизить влияние субъективного фактора.

Анализ технического состояния оборудования индивидуальных тепловых пунктов выполнен на основе метода «логической схемы отказов». Метод анализа надежности с использованием «логической схемы отказов» дает

количественную оценку технического состояния оборудования по неисправностям элементов, которые привели к отказу системы. Это позволяет установить вероятность работы системы.

Для состояния оборудования по логической операции «или», при котором отказ системы или подсистемы наступает вследствие отказа хотя бы одного из элементов, вероятность безотказной работы определяется на основе выражения

$$P(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t). \quad (1)$$

При условии логической операции «и», когда к отказу системы или подсистемы может привести отказ основного резервного оборудования, вероятность безотказной работы определяется на основе выражений:

а) с постоянно работающим резервом

$$P(t) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) \right]^{m+1}; \quad (2)$$

б) с замещаемым резервом

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (3)$$

где $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента блока отопления;
 n – количество однотипных элементов;
 m – кратность резервирования.

Анализ неисправностей оборудования выполнен посредством изучения журналов эксплуатации. Количественные характеристики неисправностей изучены на основе математической статистики. При анализе данных использованы записи пятилетнего периода наблюдений (2012–2017 гг.) с учетом профилактических работ, проводимых ежегодно в рамках подготовки оборудования к эксплуатации в зимних условиях. После идентификации неисправностей оборудования проведен предварительный статистический анализ данных по известным методикам.

Оборудование систем водяного отопления, установленное в индивидуальных тепловых пунктах, относится к восстанавливаемому типу. Наблюдения за отказами и восстановлением оборудования являются основой для определения показателей надежности оборудования в индивидуальных тепловых пунктах. Нормативная работа оборудования нарушается случайными событиями в виде отказов тех или иных элементов. В процессе эксплуатации индивидуальных тепловых пунктов отказы оборудования могут произойти, а могут и не произойти. Случайные события в виде отказов связаны со временем t – непрерывной случайной величиной. Это время, прошедшее от начала эксплуатации оборудования до его отказа. В связи с этим показатели надежности имеют вероятностный характер, а потоки отказов обладают признаками марковских процессов. Поток отказов оборудования систем отопления в индивидуальных тепловых пунктах является ординарным и стационарным. Элементы оборудования, определяющие надежность блоков отопления в индивидуальных тепловых пунктах, обладают свойством ремонтпригод-

ности. Основные количественные показатели надежности оборудования установлены на основе следующих зависимостей:

$$\left. \begin{aligned} P(t) &= e^{-\lambda t} \\ Q(t) &= 1 - e^{-\lambda t} \\ P(t) &= \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \\ \lambda(t) &= \lambda = \text{const} \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где $\lambda(t)$ – интенсивность отказа блоков отопления;
 $P(t)$ – вероятность безотказной работы блока отопления;
 $Q(t)$ – вероятность отказа блока отопления;
 t – время работы до первого отказа.

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

$$h_0 + \varphi t < \sum_{i=1}^k x_i < h_1 + \varphi t. \quad (5)$$

Верхняя граница параметра отказов h_0 при $\sum x_1 = 0$ определяется по формуле

$$h_1 = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\lambda_1}}{\ln \frac{\lambda_1}{\lambda_0}}. \quad (6)$$

Нижняя граница параметра отказов h_0 при $\sum x_1 = 0$

$$h_0 = \frac{\ln \frac{\beta}{1-\alpha}}{\ln \frac{\lambda_1}{\lambda_0}}. \quad (7)$$

Параметр браковки и приемки φ

$$\varphi = \frac{n(\lambda_1 - \lambda_0)}{\ln \frac{\lambda_1}{\lambda_0}}. \quad (8)$$

В формулах (5)–(8) использованы следующие обозначения:
 h_0, h_1 – нижняя и верхняя границы параметра отказов оборудования соответственно;

t – продолжительность работы оборудования до отказа;

β – вероятность того, что оборудование не отвечает требованиям технических условий эксплуатации, $\beta = 0,05$;

α – вероятность того, что оборудование будет забраковано, несмотря на то что показатели надежности соответствуют требованиям технических условий эксплуатации, $\alpha = 0,05$;

λ_0, λ_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 $\gamma = 0,05$.

3. Результаты исследования

3.1. *Обоснование модели оценки соответствия надежности оборудования эксплуатационным показателям.* Уровень надежности блоков отопления, установленных в тепловых пунктах систем централизованного теплоснабжения, должен быть обеспечен не ниже минимального значения, при котором их использование имеет технический смысл. В то же время уровень надежности не должен превышать значение, при котором теряется экономический смысл использования оборудования.

Сущность надежности блоков отопления заключается в том, что в случае их отказа в любой из моментов отопительного периода температура воздуха в отапливаемых помещениях не должна опуститься ниже регламентированного значения. При назначении уровня надежности блоков отопления в тепловых пунктах возможно его завышение или занижение, которые сопровождаются увеличением или уменьшением экономических затрат. Наиболее значимыми ограничивающими факторами являются безотказность (с учетом свойства восстановления) и стоимость оборудования.

Оценку выбранного варианта целесообразно выполнять с учетом ограничивающих факторов. Модель оценки соответствия проектного значения надежности блоков отопления в индивидуальных тепловых пунктах фактическим данным имеет вид

$$E \leq R \leq C, \quad (9)$$

где E – индекс ремонтпригодности оборудования;

R – индекс надежности блоков отопления;

C – индикатор экономических затрат на обеспечение надежности оборудования.

Модель оценки не зависит от вида показателя надежности, поэтому он обозначен одним общим символом R . Модель выполнена в виде двустороннего неравенства. Центральный член модели представляет собой индекс надежности оборудования. Это соотношение фактического и требуемого значений показателей надежности. Левый член неравенства – индекс ремонтпригодности оборудования. Это соотношение фактической и допустимой продолжительности устранения возникшего отказа оборудования. Правый член неравенства представляет собой индекс экономических затрат на обеспечение надежности оборудования. Это соотношение фактических и необходимых затрат. Под экономическими затратами понимается первоначальная стоимость оборудования с учетом нормативного (по налогообложению) срока эксплуатации и эксплуатационных затрат на электроэнергию по мощности электродвигателя.

Несмотря на вероятностный характер всех членов неравенства (9), модель позволяет перейти от субъективного описания надежности оборудова-

ния к объективной оценке в численном представлении. Использование модели (9) напрямую связано с анализом технического состояния оборудования, находящегося в условиях эксплуатации. В связи с этим формула (9) имеет следующий смысл:

1. Уровень обеспечения надежности определяется по формуле

$$R = r + \frac{R_a - R_f}{R_a}, \quad (10)$$

где R – эффективность безотказности блоков отопления;
 R_a, R_f – фактическое и требуемое значения безотказности оборудования;
 r – коэффициент соответствия установленного оборудования требуемому уровню безотказности, $r = 1$.

Величина R позволяет оценить ошибку, которая может возникнуть при выборе типов и состава оборудования. В идеальном варианте установленное оборудование полностью соответствует требуемому уровню надежности. В этом случае коэффициент соответствия $r = 1$. Однако в условиях эксплуатации такое соответствие встречается относительно редко. Это связано со значительным разнообразием обслуживаемых объектов и ограниченной номенклатурой оборудования. Даже среди имеющихся типов и составов оборудования инженер вынужден подбирать его с некоторым приближением к требуемым параметрам.

Если $R_a > R_f$, то $R > 1$. Это значит, что надежность установленного оборудования выше расчетного значения. Если $R_a < R_f$, то $R < 1$, что показывает заниженный уровень надежности относительно расчетного значения.

Если $R_a \rightarrow R_f$, то $R \rightarrow 1$. Чем ближе R к 1, тем больше надежность установленного оборудования соответствует требуемым значениям.

2. Оборудование блоков отопления должно не только безотказно работать в течение всего отопительного периода (для средней полосы России это составляет приблизительно 5000 ч), но и быть ремонтпригодным с доступными запасными частями. В связи с этим для эксплуатации важно, за какой период отказ оборудования будет устранен. Критерий оценки эффективности устранения аварии на блоке отопления имеет вид

$$E = \varepsilon - \frac{\tau_a - \tau_f}{\tau_a}, \quad (11)$$

где E – индекс ремонтпригодности оборудования;
 ε – коэффициент соответствия продолжительности восстановления оборудования требуемому значению, $\varepsilon = 1$;
 τ_a, τ_f – фактическая и допустимая продолжительность устранения отказа, r .

Коэффициент $\varepsilon = 1$ показывает, что продолжительность устранения аварии не превышает нормативное или директивное значение. При этом продолжительность устранения аварии включает не только время на замену оборудования, но и на его приобретение, доставку, а также на пуско-наладочные работы.

Если отопительный период прошел без отказа оборудования, то $\tau_a = 0$ и $E = 0$. Если в процессе эксплуатации возник отказ и для его устранения затрачено время $\tau_a < \tau_f$, то индекс ремонтпригодности $E < 0$. Это показывает

возможность восстановления работоспособности оборудования в пределах нормативного времени. Если для устранения отказа потребовалось время $\tau_a > \tau_f$, то $E > 0$. Это является индикатором низкой ремонтпригодности оборудования блоков отопления.

3. Критерий экономических затрат на обеспечение надежности блоков отопления определяется по формуле

$$C = \sigma + \frac{C_a - C_f}{C_a}, \quad (12)$$

где C – индикатор экономических затрат на обеспечение надежности оборудования;

σ – коэффициент соответствия экономических затрат требуемому уровню надежности оборудования, $\sigma = 1$;

C_a, C_f – фактические и проектные экономические затраты на обеспечение надежности оборудования.

Обеспечение надежности оборудования связано с экономическими затратами C . При полном соответствии затрат обеспечиваемой надежности коэффициент $\sigma = 1$. Как правило, чем выше уровень надежности оборудования, тем больше экономические затраты и наоборот. Если уровень надежности оборудования такой, что $C_a > C_f$, то индикатор экономических затрат $C > 1$. В противном случае $C < 1$.

Формула (9) позволяет давать оценку адекватности выбора оборудования блоков отопления в парадигме «надежность-экономичность». Если анализируемые индикаторы отвечают условиям (9), то оборудование выбрано в оптимальном диапазоне детерминанта «надежность-экономичность». Если фактические данные не удовлетворяют (9), то требуется оптимизация оборудования с использованием метода итераций.

Таким образом, эффективность обеспечения надежности оборудования может быть оценена сравнением показателя надежности R с критерием ремонтпригодности E и индексом экономичности C . Это позволяет принимать объективное инженерное решение по обеспечению надежности оборудования блоков отопления, установленных в тепловых пунктах систем централизованного теплоснабжения зданий.

3.2. Верификация модели оценки соответствия надежности блока отопления эксплуатационным показателям. Блоки отопления, установленные в индивидуальных тепловых пунктах, подвержены наибольшему влиянию эксплуатационных нагрузок. Вероятность безотказной работы системы теплоснабжения P представляет собой ее способность не допускать отказов, приводящих к падению температуры воздуха в отапливаемых помещениях зданий ниже нормативных значений.

Верификация предложенной методики оценки надежности оборудования блоков отопления выполнена после окончания отопительного периода. Из обследованных 36 индивидуальных пунктов не все прошли отопительный период без отказов оборудования блоков отопления. Возникшие отказы характеризуются различными причинно-следственными особенностями. Наиболее важным фактором является продолжительность устранения аварии. В условиях отопительного периода это существенный признак, так как

значительное снижение температуры воздуха в отапливаемых помещениях может привести к тяжелым последствиям.

Сравнение индикаторов безотказности оборудования, его ремонтпригодности и затрат на обеспечение надежности позволяет выявить особенности взаимного влияния указанных факторов.

4. Обсуждение результатов исследования

Значительная часть оборудования индивидуальных тепловых пунктов относится к устройствам восстанавливаемого типа. Для обеспечения бесперебойного функционирования в течение отопительного периода службы эксплуатации выполняют обязательные ежегодные профилактические работы:

- вскрытие и ревизия запорной, регулирующей и предохранительной арматуры (задвижки, вентили, регулирующие, обратные и редукционные клапаны), восстановление уплотнений и др.;
- ревизия, ремонт или замена (при необходимости) насосов;
- очистка фильтров и грязевиков;
- испытание сети отопления на герметичность;
- промывка теплообменников (периодичность зависит от их технического состояния, но обычно не реже раза в четыре года).

Подготовка блоков отопления к работе в зимний период связана с экономическими затратами. При этом уровень надежности определяют с учетом ограничивающих факторов:

- минимальный индикатор безотказности, регламентируемый нормативными документами;
- максимально допустимая продолжительность восстановления работоспособности блока отопления в случае возникновения отказа;
- экономические затраты на обеспечение надежности.

Одновременно с обоснованием состава оборудования решают задачу оценки оптимального выбора по параметрам безотказности, экономичности и ремонтпригодности.

Выходной эффект надежности блоков отопления и экономические затраты на ее обеспечение представляют собой безразмерные величины.

Это позволяет анализировать зависимость состава оборудования и его надежность от экономических затрат. На рис. 2 представлена диаграмма изменения выходного эффекта безотказности R от экономических затрат C .

Изменение эффективности обеспечения безотказности имеет характер монотонно возрастающей зависимости от величины экономических затрат C . При этом в нижней и верхней областях диаграммы расположены относительно пологие участки. Наибольшее влияние экономического фактора проявляется в диапа-

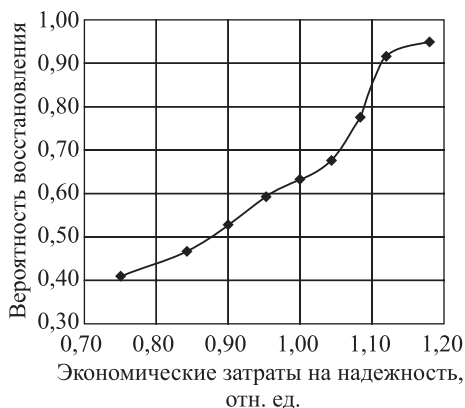


Рис. 2. Влияние экономических затрат на эффективность обеспечения надежности блоков отопления

зоне безотказности, близкой к нормативному значению. При пониженных и повышенных показателях безотказности влияние экономического фактора менее акцентировано.

Одним из важнейших показателей надежности оборудования блоков отопления является его ремонтпригодность. Продолжительность устранения отказа и восстановление работоспособности блоков отопления имеет ключевое значение в работе системы в течение отопительного периода. На рис. 3 представлена диаграмма изменения риска превышения срока восстановления блоков отопления в зависимости от экономических затрат на обеспечение надежности.

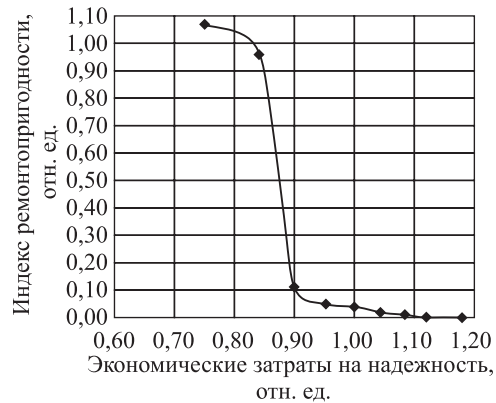


Рис. 3. Изменение риска превышения допустимого срока восстановления оборудования блоков отопления

Изменение риска невосстановления работоспособности оборудования в нормативный срок имеет характер монотонно убывающей зависимости от экономического параметра. Это объясняется улучшенной адаптированностью оборудования к ремонту и восстановлению. Выявленная закономерность показывает, что оборудование с повышенной стоимостью обладает улучшенной адаптацией к ремонту и восстановлению. Кроме того, более дорогое оборудование легче найти на рынке при его отсутствии в парке запасных элементов.

Диаграмма изменения вероятности восстановления блоков отопления (рис. 4) подтверждает выявленное влияние экономического фактора на надежность. Вероятность восстановления работоспособности блоков отопления изменяется по монотонно возрастающей зависимости от экономических затрат на обеспечение надежности. Анализ вероятности восстановления блоков отопления выявляет особенности обеспечения надежности в зависимости от способа резервирования.

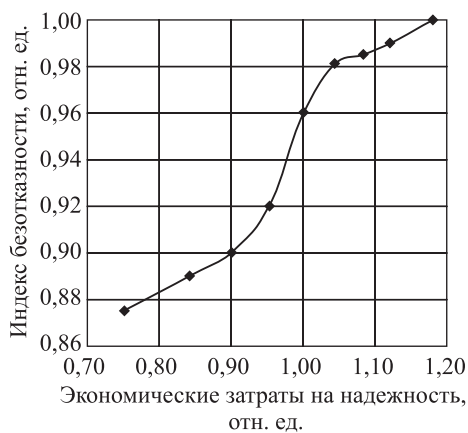


Рис. 4. Изменение вероятности восстановления блоков отопления

Оценка обеспечения надежности блоков отопления позволяет определить приоритеты в подготовке оборудования к эксплуатации в зимний период года. Важность оценки связана с тем, что оборудование имеет различное назначение и функционирует на соответствующих технических принципах. Это обуславливает различные причины образования повреждений и отказов.

Важнейшей целью регламентных работ в рамках подготовки оборудования к работе в зимний период является безотказное функционирование

в течение всего отопительного периода. Обеспечение надежности блоков отопления предусматривает:

- определение расчетного показателя надежности с учетом экономических индикаторов;
- уточнение номенклатуры оборудования, гарантирующего требуемый уровень надежности отопления;
- оценка параметров ремонтпригодности оборудования блоков отопления;
- оценка показателей надежности блоков отопления на основе метода «логической схемы отказов»;
- определение экономических затрат на обеспечение требуемого уровня надежности блоков отопления.

Методика оценки соответствия проектного значения надежности блоков отопления эксплуатационным данным применима в тех случаях, когда известны или могут быть установлены:

- индикаторы работы оборудования в течение отопительного периода;
- экономические параметры обеспечения надежности оборудования;
- возможные варианты подбора оборудования;
- варианты мероприятий по повышению надежности относительно исходного «базового» уровня.

Одновременно с оценкой соответствия проектных показателей надежности эксплуатационным данным решают задачу выбора оптимального варианта оборудования блоков отопления.

5. Заключение. В рамках исследования получены следующие результаты:

1. Предложена модель оценки обеспечения надежности блоков отопления, установленных в индивидуальных тепловых пунктах систем централизованного теплоснабжения зданий.

2. Модель позволяет выполнять объективную оценку уровня обеспечения надежности блоков отопления в индивидуальных тепловых пунктах систем централизованного теплоснабжения.

3. Безразмерные величины индикаторов дают возможность сравнивать параметры разного вида.

4. Модель позволяет формулировать требование к обеспечению надежности блоков отопления, при котором наибольшая безотказность соответствует наименьшим при данной надежности экономическим затратам. Решение этой задачи осуществляется итерационным методом.

5. Системный анализ технического состояния насосных групп отопления на основе «логической схемы отказов» способен выявить факторные условия обеспечения надежности их работы в отопительный период.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернов С.С., Кулак Е.Ф. Оценка перспектив перехода к индивидуальным тепловым пунктам в рамках реконструкции системы теплоснабжения города // Бизнес. Образование. Право. 2016. № 4. С. 86–91.
2. R a h e j a D.G., G u l l o L.J. Design for reliability quality and reliability engineering series, John Wiley & Sons, 2012. 220 p.

3. Stennikov V.A., Postnikov I.V. Methods for comprehensive analysis of heat supply reliability // International Journal of Energy Optimization and Engineering. 2013. T. 2, No. 4. P. 120–142.
4. Postnikov I.V., Stennikov V.A., Mednikova E.E., Penkovskii A.V. A methodology for optimization of component reliability of heat supply systems // Energy Procedia. 2017. No. 105. P. 3083–3088.
5. Peruzzi L., Salata F., Lieto Vollaro A. de, Lieto Vollaro R. de. The reliability of technological systems with high energy efficiency in residential buildings // Energy and Buildings. 2014. Vol. 68, P.A. P. 19–24.
6. Свинцов А.П., Скрипник Т.В., Гусамов М.Т., Кривошапкина Т.К. Надежность индивидуального теплового пункта учебного корпуса Российского университета дружбы народов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 2. С. 58–64.
7. Wang J.J., Fu C., Yang K., Zhang X.T., Shi G., Zhai J. Reliability and availability analysis of redundant BCHP (building cooling, heating and power) system // Energy. 2013. Vol. 61. P. 531–540.
8. Myrefelt S. The reliability and availability of heating, ventilation and air conditioning systems // Energy and Buildings. 2004. Vol. 36. P. 1035–1048.
9. Babiarsz B., Chudy-Laskowska K. Forecasting of failures in district heating systems // Engineering Failure Analysis. 2015. Vol. 56. P. 384–395.
10. Постников И.В., Стенников В.А. Обеспечение параметрической надежности теплоснабжающих систем // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19, № 3-4. С. 20–30.
11. Wang P., Zhou Z.G., Zou P.H. Relationship between transport power and reliability of district heating system // Advanced Materials Research. 2013. Vol. 663, P. 680–685.
12. Sikos L., Klemesš J. Reliability, availability and maintenance optimisation of heat exchanger networks // Applied Thermal Engineering. 2010. Vol. 30. No. I.1. P. 63–69.
13. Zhang Z., Jiang C., Zhang Y., Zhou W., Bai B. Virtual entropy generation (VEG) method in experiment reliability control: Implications for heat exchanger measurement // Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 110. P. 1476–1482.
14. Dake Y.I., Zhizhong HAN, Kefeng W., Pingjing YAO. Strategy for synthesis of flexible heat exchanger networks embedded with system reliability analysis // Chinese Journal of Chemical Engineering. 2013. Vol. 21. No. I. 7. P. 742–753.
15. Ramirez-Marquez J.E., Coit D.W. Optimization of system reliability in the presence of common cause failures // Reliability Engineering and System Safety. 2007. Vol. 92. P.1421–1434.
16. Сазонова С.А., Манохин В.Я., Манохин М.В., Николенко С.Д. Математическое моделирование резервирования систем теплоснабжения в аварийных ситуациях // Изв. Казан. гос. архитектурно-строит. ун-та. 2015. № 4. С. 440–448.
17. Абсаламов Д.Р. Повышение надежности инженерных систем методом формализации поиска отказов // Инж.-строит. журн. 2012. № 2. С. 39–47.

Свинцов Александр Петрович, д-р техн. наук, профессор;

E-mail: svintsovap@rambler.ru

Российский университет дружбы народов, г. Москва

Андросов Андрей Евгеньевич, студент;

E-mail: androsovae@pfur.ru

Российский университет дружбы народов, г. Москва

Получено 28.01.19

Svintsov Alexander Petrovich, DSc, Professor;

E-mail: svintsovap@rambler.ru

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

Androsov Andrey Evgenievich, Student; E-mail: androsov_ae@pfur.ru

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

TECHNIQUE OF ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF THE USED EQUIPMENT IN INDIVIDUAL THERMAL POINTS

The purpose of this research is to develop a methodology to assess effectiveness of the equipment used in individual heat points, as well as to assess reliability indicators of pumping groups for water heating. As a result of this research a assessment for model of compliance of design values of indicators of reliability of heating blocks installed with the actual data by results of operation is proposed. Reliability of results is evaluated by a method of confidence intervals. In the study data on sudden equipment failures leading to a shutdown of a corresponding water heating system of a serviced building are taken to the analysis. The use of the presented technique allows to evaluate reliability of the individual heat point under study with a security not lower than $\gamma = 0,05$.

Key words: pump, heat exchanger, failure-free operation, malfunction, reliability, working capacity.

REFERENCES

1. Chernov S.S., Kulak E.F. Otsenka perspektiv perekhoda k individual'nym teplovym punktam v ramkakh rekonstruktsii sistemy teplosnabzheniya goroda [Assessment of the prospects of transition to individual heat points within the frame of reconstruction of the city heat supply system]. *Biznes. Obrazovanie. Pravo* [Business. Education. Law]. 2016. No. 4. Pp. 86–91. (in Russian)
2. Raheja D.G., Gullio L.J. Design for reliability quality and reliability engineering series, John Wiley & Sons, 2012. 220 p.
3. Stennikov V.A., Postnikov I.V. Methods for comprehensive analysis of heat supply reliability. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*. 2013. T. 2, No. 4. Pp. 120–142.
4. Postnikov I.V., Stennikov V.A., Mednikova E.E., Penkovskii A.V. A methodology for optimization of component reliability of heat supply systems. *Energy Procedia*. 2017. No. 105. Pp. 3083–3088.
5. Peruzzi L., Salata F., Lieto Vollaro A. de, Lieto Vollaro R. de. The reliability of technological systems with high energy efficiency in residential buildings. *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 68, P.A. Pp. 19–24.
6. Svintsov A.P., Skripnik T.V., Gusamov M.T., Krivoshapkina T.K. Nadezhnost' individual'nogo teplovogo punkta uchebnogo korpusa Rossiyskogo universiteta druzhby narodov [The reliability and availability of heating of the building of campus of RUDN University]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy* [Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings]. 2017. No. 2. Pp. 58–64. (in Russian)
7. Wang J.J., Fu C., Yang K., Zhang X.T., Shi G., Zhai J. Reliability and availability analysis of redundant BCHP (building cooling, heating and power) system. *Energy*. 2013. Vol. 61. Pp. 531–540.
8. Myrefelt S. The reliability and availability of heating, ventilation and air conditioning systems. *Energy and Buildings*. 2004. Vol. 36. Pp. 1035–1048.
9. Babiarz B., Chudy-Laskowska K. Forecasting of failures in district heating systems. *Engineering Failure Analysis*. 2015. Vol. 56. Pp. 384–395.

10. Postnikov I.V., Stennikov V.A. Obespechenie parametricheskoy nadezhnosti teplosnabzhayushchikh sistem [Ensuring of parametric reliability of heat supply systems]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy ehnergetiki [Proceedings of the Higher Educational Institutions. Energy sector problems]. 2017. Vol. 19, No. 3–4. Pp. 20–30. (in Russian)
11. Wang P., Zhou Z.G., Zou P.H. Relationship between transport power and reliability of district heating system. Advanced Materials Research. 2013. Vol. 663. Pp. 680–685.
12. Sikos L., Klemesš J. Reliability, availability and maintenance optimisation of heat exchanger networks. Applied Thermal Engineering. 2010. Vol. 30, No. I.1. Pp. 63–69.
13. Zhang Z., Jiang C., Zhang Y., Zhou W., Bai B. Virtual entropy generation (VEG) method in experiment reliability control: Implications for heat exchanger measurement. Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 110. Pp. 1476–1482.
14. Dake Y.I., Zhizhong H.A.N., Kefeng W., Pingjing Y.A.O. Strategy for synthesis of flexible heat exchanger networks embedded with system reliability analysis. Chinese Journal of Chemical Engineering. 2013. Vol. 21. No. I. 7. Pp. 742–753.
15. Ramirez-Marquez J.E., Coit D.W. Optimization of system reliability in the presence of common cause failures. Reliability Engineering and System Safety. 2007. Vol. 92, Pp. 1421–1434.
16. Sazonova S.A., Manokhin V.Ya., Manokhin M.V., Nikolenko S.D. Matematicheskoe modelirovanie rezervirovaniya sistem teplosnabzheniya v avariynnykh situatsiyakh [Mathematical modeling of backup heating systems in emergency situations]. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [News of Kazan State University of Architecture and Engineering]. 2015. No. 4. Pp. 440–448. (in Russian)
17. Absalyamov D.R. Povyshenie nadezhnosti inzhenernykh sistem metodom formalizatsii poiska otkazov [Improving the reliability of engineering systems by formalizing the search for failures]. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal [Magazine of civil engineering]. 2012. No. 2. Pp. 39–47. (in Russian)