

УДК 338.49

РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТНЫМИ РАБОТАМИ НА ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЯХ

А.А. Крыгин

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

E-mail: andreyakr@yandex.ru

Ключевые слова: информационная поддержка планирования ремонтов участков инженерных сетей, определение комплексного показателя состояния участка, оптимизация диагностики тепловых сетей.

Аннотация: Исследуются вопросы оптимизации ремонтных работ на участках инженерных сетей и задачи практической оценки состояния участков при информационной поддержке принятия решения о продлении срока службы участка на примере сети теплоснабжения. Проводится анализ жизненного цикла участка, моделирование потока повреждений и определение функции зависимости суммарных затрат на обслуживание участка от времени.

1. Введение

Задачи планирования ремонтных работ на городских инженерных сетях и разработка методов их решения являются одними из важнейших в комплексе вопросов управления городскими инженерными системами. Успешное решение этих задач в условиях крупного развивающегося мегаполиса, невозможно без системы информационной поддержки принятия решений (СИПР), предоставляющей необходимые для эксперта данные на каждом этапе планирования ремонтных работ. Одна из главных проблем построения СИПР в рассматриваемой области заключается в ряде особенностей инженерных сетей и их объектов, не позволяющих использовать современные методики и программные продукты без их серьезной адаптации под предметную область. В данной работе исследовались вопросы планирования ремонтных и диагностических работ для протяженных участков сети теплоснабжения. В процессе анализа этапов планирования выявлено три задачи, решение которых необходимо для построения СИПР:

- оценка оптимального времени плановой замены участка сети;
- оценка комплексного показателя состояния участка сети;
- определение оптимального метода диагностики участка сети.

Очевидно, что при решении этих задач необходимо проводить оценку технического состояния участка и параметров надежности. Этой теме посвящено большое количество работ, которые можно разделить на две группы: работы, рассматривающие методы оценки параметров надежности обобщенного «изделия» и работы, рассматривающие те же задачи применительно к конкретным видам объектов в некоторой отрасли. Т.к. в данной работе исследуются протяженные участки сетей теплоснабжения, то из второй группы выбирались работы, посвященные оценке надежности трубопроводов.

Анализ работ [1-5] позволяет сделать вывод, что методы оценки и прогнозирования технического состояния объектов хорошо разработаны как в общем виде, так и для трубопроводов в ряде отраслей. Однако для нахождения оптимального времени плановой замены участка теплосети (и других поставленных в этой работе задач) этого недостаточно. Было показано, что при решении этих задач необходимо оценивать не только техническое состояние участка, но и проводить экономическую оценку, сопоставляя убытки при возникновении повреждения, расходы на диагностику, обслуживание и замену участка, при реализации различных управленческих решений. Анализ методик определения остаточного ресурса участка тепловой сети [6,7] показал, что, во-первых, в них всегда используются эмпирические методы, а во-вторых, не учитываются экономические факторы.

В работе [8] предложена методика определения оптимального времени замены участка инженерной сети. В качестве критерия оптимальности выбран минимум функции зависимости общих удельных затрат $S_y(T) = \frac{S(T)}{T}$ от времени проведения планового ремонта T . Для предложенной математической модели было показано существование и единственность оптимального времени замены T_0 , соответствующего минимуму удельных затрат. Следовательно, проведение планового ремонта с периодом отличающимся от T_0 является нецелесообразным, т.к. такая стратегия соответствует более высоким затратам на обслуживание участка, а сам момент времени T_0 соответствует предельному (по ГОСТ 27.002-89 [9]) состоянию рассматриваемого объекта.

Однако в этой модели не учитываются в полной мере особенности эксплуатации конкретных инженерных сетей. Поэтому при применении на практике предложенного подхода, возникла необходимость провести следующий ряд дополнительных исследований, которые, благодаря собранным статистическим данным, выполнены на примере теплосети:

- Анализ этапов жизненного цикла участка;
- Моделирование потока повреждений с помощью вероятностного распределения;
- Построение функции $S(T)$ - суммарных затрат на обслуживание участка за время T ;
- Определение комплексного технико-экономического показателя состояния участка, оптимального времени его замены и оптимального метода диагностики с помощью полученной функции $S(T)$.

2. Основные этапы жизненного цикла участка теплопровода

На рис. 1 представлен фрагмент общей схемы процессов жизненного цикла участка теплопровода.

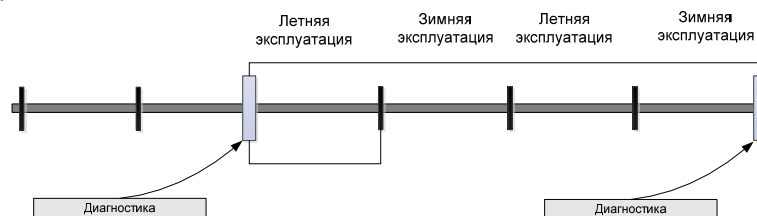


Рис. 1. Этапы жизненного цикла участка теплопровода.

Жизненный цикл состоит из трех повторяющихся этапов: диагностики, ремонтных работ и эксплуатации и завершается плановой заменой участка. При построении функ-

ции $S(T)$ необходимо рассчитать затраты на этапах диагностики, ремонта и эксплуатации участка теплопровода. В таблице 1 приведены виды затрат на каждом этапе.

Таблица 1. Виды затрат на каждом этапе жизненного цикла.

Этап жизненного цикла	Виды затрат на этапе
Диагностика	Затраты на различные виды контактной и бесконтактной диагностики
Летняя эксплуатация	Затраты на проведение ремонтных работ повреждений, выявленных на этапе диагностики: ремонт разрывов, свищей, проведение локально-вставочного ремонта (ЛВР).
Зимняя эксплуатация	Затраты на проведение ремонтных работ повреждений, которые не были выявлены на этапе диагностики

Таким образом, для построения функции $S(T)$ необходимо по имеющейся статистике повреждений спрогнозировать зависимость от времени для следующих величин: общее количество повреждений, общее количество ЛВР, общая длина ЛВР, общее количество свищей и разрывов, произошедших в период зимней эксплуатации.

3. Моделирование потока повреждений с помощью вероятностного распределения

На основе имеющейся статистики повреждений показано, что вероятность возникновения аварии на теплопроводах описывается распределением Вейбулла достаточно точно и график зависимости общего числа повреждений от времени, построенный в логарифмических шкалах хорошо аппроксимируется прямой линией. Для ряда участков с существенными отклонениями от прямой, проведен анализ причин, вызывающих эти отклонения. В результате построены алгоритмы фильтрации точек и аппроксимации всех необходимых для вычисления $S(T)$ зависимостей (рис. 2).

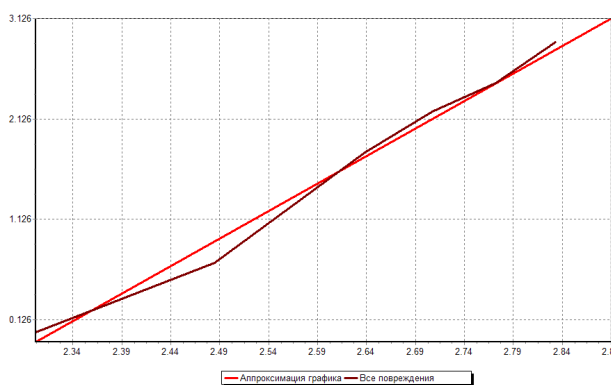


Рис. 2. График зависимости всех повреждений от времени и его аппроксимация, построенный в логарифмических шкалах.

4. Построение функции $S(T)$

Получено выражение для функции зависимости от времени общих затрат на обслуживание участка теплопровода $S(T)$, при условии, что через T лет будет проведена замена участка. Эта функция складывается из стоимости обслуживания участка на этапах диагностики, зимней и летней эксплуатации и стоимости его замены. При определении $S(T)$ была поставлена цель: максимально учитывать все особенности обслуживания и эксплуатации теплосетей. С помощью этой функции определены значения комплексного технико-экономического показателя состояния участка, оптимального времени его замены и оптимального метода диагностики.

5. Определение комплексного технико-экономического показателя состояния участка, оптимального времени его замены и оптимального метода диагностики

Как и в работе [8], оптимальный период замены участка T_0 определялся как момент времени в котором $S_y(t) = \frac{S(t)}{t}$ функция удельных суммарных затрат на обслуживание и плановую замену участка достигает своего минимума (рис. 3).

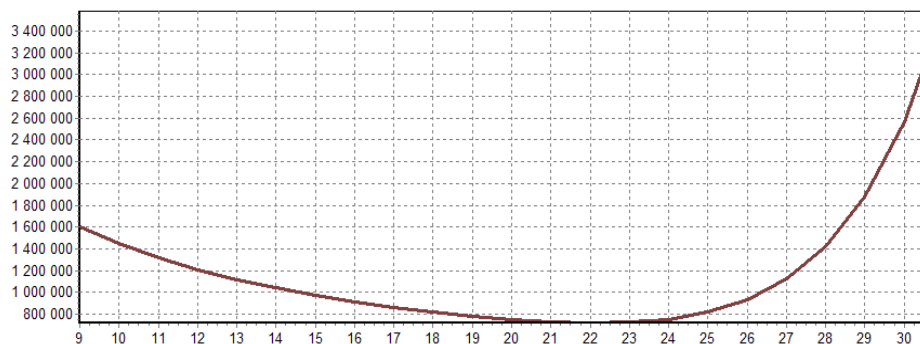


Рис. 3. График зависимости удельных затрат на обслуживание участка от времени.

Комплексный показатель ω определен как:

$$(1) \quad \omega = \begin{cases} 1, & t < T_0 \\ \frac{S_y(T_0)}{S_y(t)}, & t \geq T_0 \end{cases}$$

где t – срок службы участка на момент расчета комплексного показателя.

Значение показателя имеет реальный физический смысл: при $\omega < 1$ величина $1/\omega$ показывает, во сколько раз больше расходуется средств на обслуживание участка, если его заменить в момент t , по сравнению с его заменой в оптимальный период T_0 .

В качестве критерия оптимального варианта диагностики выбрано значение удельных затрат на обслуживание участка в течение срока продления: $\frac{S_{serv}(t+\tau) - S_{serv}(t)}{\tau}$, где τ – величина срока продления, t – срок службы участка. Соответственно, вариант диагностики, при котором значение удельных затрат минимально, считается наиболее оптимальным.

6. Выводы

1. Анализ этапов жизненного цикла участка показал, что управленческие решения происходят на стадиях составления плана работ по диагностике и комплексной оценке состояния участка. Необходимые инструменты при информационной поддержке должны содержать алгоритмы определения комплексного технико-экономического показателя состояния участка, оптимального времени его замены и оптимального метода диагностики. Для их определения необходимо найти функцию $S(T)$;

2. Разработан алгоритм построения функции $S(T)$, в котором максимально учитывались все особенности обслуживания и эксплуатации теплосетей;

3. На основе полученной функции $S(T)$ были разработаны все необходимые методики информационной поддержки управленческих решений, перечисленные в п. 1.

Список литературы

1. Барзилович Е.Ю., Беляев Ю.К. и др. Вопросы математической теории надежности / Под ред. Б.В. Гнеденко. М. Радио и связь, 1983.
2. Герцбах И., Теория надежности (с приложениями к профилактическому обслуживанию). М. Нефть и газ (Изд-во РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина), 2003.
3. Кочерга В.Г., Основы теории надежности оборудования нефтегазовых объектов / Учебное пособие. Хабаровск: ДВГУПС, 2014.
4. Савин В.Н., Надежность трубопроводов и сосудов высокого давления АЭС. Сборник научных трудов / Под ред. Острейковского В.А. Обнинск: Институт атомной энергетики, 1989. С. 68-73.
5. Хенли Э., Кумамото Х., Надежность технических систем и оценка риска. М.: Машиностроение, 1984.
6. ОАО «Газпром промгаз». Методика и алгоритм расчета надежности тепловых сетей при разработке схем теплоснабжения городов. М., 2013.
7. МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. ПРИКАЗ N 565 от 29.12.2012. Об утверждении методических рекомендаций по разработке схем теплоснабжения.
8. Крыгин А.А. Оптимизация графиков плановых ремонтов совокупности участков инженерных сетей. // Автоматика и телемеханика. 2010. № 9. С. 83-102.
9. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.