

УДК 004.02: 628.144

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.59451

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПОДХОД К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ УПРАВЛЕНИЮ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ В КОММУНАЛЬНЫХ СЕТЯХ С УЧЕТОМ ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ

© И. А. Гавриленко

В статье предложен подход к автоматизированному управлению потокораспределением в коммунальных сетях с учетом их функциональной надежности. Рассмотрено усовершенствование концепции оперативного и стратегического управления потокораспределением в коммунальных сетях. Определена постановка задачи для последующих исследований, а именно – задача разработки информационной технологии для точного расчета функциональной надежности инженерной сети, или риска недопоставки целевого продукта конкретным потребителям сети

Ключевые слова: трубопроводная сеть, функциональная надежность, потребитель целевого продукта, метод расчета надежности

The approach to automated management of load flow in engineering networks considering functional reliability was proposed in the article. The improvement of the concept of operational and strategic management of load flow in engineering networks was considered. The verbal statement of the problem for thesis research is defined, namely, the problem of development of information technology for exact calculation of the functional reliability of the network, or the risk of short delivery of purpose-oriented product for consumers

Keywords: pipe-line network, functional reliability, consumer of purpose-oriented product, method of reliability calculation

1. Введение

Любое предприятие городского или регионального хозяйства связано как потребитель с рядом коммунальных сетей (водопроводных, газовых, тепловых и т. п.). Для одних предприятий целевой продукт сети является продуктом жизнеобеспечения, для других – сырьём. В любом случае для нормального функционирования предприятия необходимо обеспечить надежную поставку целевого продукта. Особенно это касается предприятий с непрерывным производственным циклом. Но не менее важную роль бесперебойная поставка играет и в обеспечении жизненного уровня населения.

Сбой поставок в коммунальных сетях чреват нежелательными последствиями для нормальной жизни населения и производственной деятельности предприятий, а порой приводит и к возникновению экологической катастрофы. Причиной катастрофы может быть как авария на коммунальных сетях, так и прерывание поставок целевого продукта на предприятии с непрерывным циклом производства. Во втором случае виновником катастрофы может быть коммунальное предприятие, не обеспечившее поставку должного объема (обусловленного договором между поставщиком и потребителем) целевого про-

дукта, или само предприятие, если последнее не обеспечило исправную работу резервуаров для хранения целевого продукта или его достаточный запас.

Ситуация усложняется тем, что и у коммунальных сетей, и у производственного оборудования есть довольно объективная причина для выхода из строя – физический износ и старение. Это одна из основных причин аварий. Чтобы не допустить появления аварий и катастроф поставщик обязан следить за текущей надежностью основных структурных элементов коммунальной сети $p_i, i = \overline{1, n+m}$, и функциональной надежностью всей сети P^f , а потребитель должен владеть информацией о текущем риске R , которому он подвергается как потребитель этой сети.

В качестве основного показателя надёжности структурных элементов сети используют паспортный или статистический показатель его бесперебойной работы, а именно, вероятность безотказной работы элемента в течение определенного промежутка времени T , например, года. Для трубопроводных участков такую вероятность будем обозначать $p_i, i = \overline{1, n}$, для задвижек – $q_i, i = \overline{1, m}$. Здесь n – общее количество трубопроводных участков в сети, m – общее

количество запорной арматуры (водопроводных задвижек, клапанов и пр.). Именно ухудшение этих показателей (p_i и q_i) существенно зависит от времени эксплуатации соответствующих элементов сети. Отметим, что величина p_i зависит от пространственных параметров (длины, диаметра, толщины стенок трубопровода), а q_i – нет.

Отметим также, что величины p_i , q_i совместно с топологической структурой сети и расположением точек подключения потребителя к сети определяют функциональную надежность сети, под которой понимают выполнение сетью той или иной функциональной задачи, например, задачи непрерывной поставки целевого продукта тому или иному потребителю. В качестве основного показателя функциональной надежности P_j^f , $j = \overline{1, r}$, используют вероятность бесперебойной поставки целевого продукта j -му потребителю в течение промежутка времени T . Здесь r – общее число потребителей в сети.

Функциональная надежность тесно связана с показателем риска R_j , $j = \overline{1, r}$, которому подвергается j -й потребитель сети: $R_j \leq 1 - P_j^f$. Если потребитель не использует дополнительные емкости для создания резервных запасов целевого продукта на случай непредвиденного прерывания его поставки, то $R_j = 1 - P_j^f$. Несмотря на то, что коммунальные предприятия предусматривают определенный запас функциональной надежности, предприятия-потребители целевого продукта, как правило, сооружают резервуары для снижения риска. При этом объем резервной емкости определяется произведением

$$V_{\text{рез}} = k_3 R_j Q_j = k(1 - P_j^f) Q_j,$$

где Q_j – потребность j -го потребителя в целевом продукте в течение периода времени T ; R_j – риск j -го потребителя на начало периода T ; k_3 – коэффициент, определяющий страховочный запас целевого продукта, $k_3 \geq 1$. Обычно $k_3 = 1$.

Поскольку функциональная надежность и риск определяются через изменяющиеся во времени величины p_i и q_i , то они также имеют тенденцию к изменению (ухудшению). Кроме того, функциональная надежность изменяется каждый раз, когда изменяется структура сети вследствие проведения аварийных и ремонтно-профилактических работ, или реконструкции и развития сети. Следовательно, для нормальной эксплуатации коммунальной сети и устойчивой работы предприятий необходимо иметь строго обоснованные методы расчета P_j^f , $j = \overline{1, r}$. Чтобы следить за тем, чтобы величины P_j^f , $j = \overline{1, r}$, не опустились ниже их допустимых пределов, необходимо постоянно проводить соответствующие расчеты. Для сложных сетей с большим количеством потребителей методы расчета должны быть компьютеризированы, т. е. кроме наличия методов полу-

чения математической модели для расчета P_j^f , $j = \overline{1, r}$, необходимо иметь соответствующую информационную технологию.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Существующие методы расчета функциональной надежности P_j^f либо не применимы для практического использования из-за слишком большого числа необходимых вычислительных операций (комбинаторный метод Н. Н. Абрамова) [1], либо требуют значительных временных затрат для сбора статистических данных, что неприемлемо для задач проектирования [2, 3], либо позволяют получить только оценку (метод Ю. А. Ильина) [4].

В работе [1] автор предлагает использовать тривиальные методы расчета надежности трубопроводных систем. Однако трубопроводные системы имеют в своем составе запорную арматуру (задвижки, вентили и пр.), которая имеет различное функциональное назначение. Без дополнительных исследований трудно однозначно сказать, какому типу соединения она соответствует: параллельному или последовательному. Следовательно, тривиальный метод расчета требует непростой адаптации к трубопроводным системам. Аналогичный недостаток присущ и методам расчета трубопроводных систем с мостовыми соединениями элементов. Метод также имеет комбинаторный характер, что делает его неприемлемым для расчета сложных трубопроводных систем, какими являются коммунальные сети городского хозяйства (водопроводные, тепловые, газовые).

С помощью статистических методов надежности в [2, 3] можно получить более объективные значения показателей надежности трубопроводных систем. Однако в силу их неспособности работать в режиме реального времени оказываются неэффективными и неприемлемыми.

В работе [4] автором предложен расчёт вероятности безотказной подачи воды для сложно структурированных водопроводных сетей методом поперечных сечений сети между источником и потребителями. Основным недостатком метода является то, что результат расчета представляет собой оценку. Неоднозначность результата не позволяет решать такие задачи, как задача оптимального оперативного управления функционированием сети или ее проектирования по критерию надежности, как задача установления виновника аварии в спорных ситуациях между эксплуатационниками и потребителями и тому подобные.

Оценка P_j^f в одних случаях приводит к необоснованным тратам финансовых, материальных и трудовых ресурсов для дополнительного увеличения запаса устойчивости, а в других – не позволяет решить поставленную задачу. Так, в случае экологической катастрофы, вызванной прерыванием поставки целевого продукта предприятию, может возникнуть ситуация, когда нельзя однозначно определить виновника катастрофы. Такая ситуация имеет место,

если значение функциональной надежности к моменту прерывания поставки целевого продукта находилось между значениями нижней и верхней оценок: $P_{j\min}^f \leq P_j^f \leq P_{j\max}^f$, где $P_{j\min}^f$ и $P_{j\max}^f$ – соответственно нижняя и верхняя оценки вероятности поставки целевого продукта j -му потребителю.

Таким образом, задача разработки точных методов расчета функциональной надежности и соответствующей информационной технологии является весьма актуальной и своевременной. Актуальность и своевременность исследований еще более усиливается, если учесть, что большинство коммунальных сетей Украины находится в критическом состоянии из-за значительных сроков их эксплуатации и недостаточности полного и качественного объема профилактических мероприятий.

3. Цели исследования

Научные исследования по разработке точных методов расчета функциональной надежности предполагают корректировку цели функционирования коммунальной сети, освещенной в [5]. Теперь назначение коммунальной сети должно определяться как надёжная поставка целевого продукта всем потребителям в заданных количествах и заданного качества. Здесь под надёжной поставкой понимается поставка целевого продукта каждому потребителю с вероятностью P_j^f не ниже допустимой $P_{j\text{доп}}^f$, оговоренной Договором между j -м потребителем и поставщиком, $j \in \overline{1, r}$. Выполнение условия $P_j^f \geq P_{j\text{доп}}^f$ на текущий момент времени для всех $j = \overline{1, r}$ говорит о должной функциональной надежности сети и отсутствии риска для населения и предприятий быть потребителями этой сети. Целью исследования является усовершенствование концепции оперативного и стратегического управления потокораспределением в коммунальных сетях.

4. Усовершенствование концепции автоматизированного управления функционированием коммунальной сети

В свете нового определения цели функционирования коммунальной сети скорректирована основная концепция автоматизированного управления функционированием коммунальной сети. Сегодня для приемлемого управления потокораспределением в трубопроводной сети недостаточно использовать только компьютерный гидравлический расчет. Новая концепция автоматизированного оперативного управления функционированием коммунальной сети заключается в следующем:

1. Любому управляющему воздействию $u(t)$ на трубопроводную сеть (например, смене режима работы насосных агрегатов, изменению топологической структуры сети, отключению или подключению потребителей, изменению потребностей потребителей и пр.) должен предшествовать компьютерный гидравлический расчет;

2. Если гидравлический расчет показывает, что управляющее воздействие не приводит к желаемому

потокораспределению, то от него (управляющего воздействия) следует отказаться и искать новое приемлемое управление;

3. При подтверждении гидравлическим расчетом требуемого потокораспределения необходимо произвести компьютерный расчет функциональной надежности сети относительно каждого потребителя, который основывается на использовании метода аварийно-ремонтных зон, включающего семь последовательных этапов [6]:

3. 1. Формирование математической модели трубопроводной сети со сложной топологической структурой в виде взвешенного графа.

3. 2. Разбиение исходного взвешенного графа сложной трубопроводной сети на подграфы (макроэлементы), каждый из которых соответствует одной аварийно-ремонтной зоне.

3. 3. Расчет технической надежности аварийно-ремонтной зоны как независимого макроэлемента в функционировании трубопроводной сети.

3. 4. Преобразование исходного взвешенного графа сети большой размерности во взвешенный макрограф аварийно-ремонтной зоны малой размерности (замена микрографа каждой аварийно-ремонтной зоны одной вершиной).

3. 5. Построение упрощенного макрографа аварийно-ремонтной зоны относительно конкретного потребителя трубопроводной сети.

3. 6. Построение расчётной модели функциональной надёжности трубопроводной сети относительно конкретного потребителя.

3. 7. Формирование математической модели функциональной надёжности сети относительно конкретного потребителя с помощью классических методов теории надёжности технических систем и непосредственный расчёт функциональной надёжности.

4. Если расчет функциональной надежности свидетельствует об отсутствии риска недопоставки целевого продукта для всех потребителей сети, то управление $u(t)$ принимается, в противном случае оно отвергается, и следует искать новое приемлемое управление [7].

Усовершенствованная концепция автоматизированного управления потокораспределением в сети выдвигает и новое требование к научным исследованиям – необходимости разработки новой информационной технологии, позволяющей определять *точное* значение вероятности бесперебойной поставки целевого продукта конкретному потребителю в зависимости от:

– топологической структуры трубопроводной сети;

– известных вероятностей безотказной работы каждого структурного элемента трубопроводной сети;

– точки подключения потребителя к трубопроводной сети.

Разработка новой информационной технологии позволит не только осуществлять оперативное управление сетью, но также и стратегическое. Здесь имеются в виду такие протяженные во времени «воздействия» на сеть, как проектирование, реконструкция и развитие сети, а также проведение аварийно-

ремонтных работ. Все перечисленные мероприятия связаны с выбором или изменением структуры сети. Следовательно, их проведение должно сопровождаться соответствующим расчетом функциональной надежности.

5. Результаты исследования

Основные научные результаты данной статьи:

– усовершенствование концепции оперативно-го и стратегического управления потокораспределением в коммунальных сетях;

– вербальная постановка задачи для будущих исследований, а именно, задачи разработки информационной технологии для точного расчета функциональной надежности сети, или риска недопоставки целевого продукта конкретным потребителям сети.

6. Выводы

В работе предложен подход к автоматизированному управлению потокораспределением в коммунальных сетях, базирующийся на усовершенствовании концепции оперативного управления функционированием коммунальных сетей с учетом их функциональной надежности. Дальнейшие исследования будут посвящены задаче разработки информационной технологии для точного расчета функциональной надежности трубопроводной сети, или риска недопоставки целевого продукта потребителям.

Литература

1. Абрамов, Н. Н. Надежность систем водоснабжения [Текст] / Н. Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1984. – 216 с.
2. Барлоу, Р. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность [Текст] / Р. Барлоу, Ф. Прощан. – М.: Наука, 1984. – 328 с.
3. Беляев, Ю. К. Статистические методы в теории надежности [Текст] / Ю. К. Беляев. – М.: Знание, 1978. – 66 с.

4. Ильин, Ю. А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования [Текст] / Ю. А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1985. – 242 с.

5. Евдокимов, А. Г. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, А. Д. Тевяшев. – Харьков: «Вища школа», 1980. – 144 с.

6. Самойленко, Н. И. Адекватность моделей функциональной надежности трубопроводных систем [Текст]: монография / Н. И. Самойленко, А. Б. Костенко, Т. С. Сенчук и др.; под ред. Н. И. Самойленко. – Харьков: Издательство «НТМТ», 2009. – 115 с.

7. Гавриленко, И. А. Концептуальные аспекты автоматизированного управления потокораспределением в коммунальных сетях [Текст]: науч.-практ. конф. / И. А. Гавриленко, Н. О. Манакова. – Математическое моделирование процессов в экономике и управлении проектами и программами (ММП-2015). – Харьков – Николаев, 2015. – С. 122–125.

References

1. Abramov, N. N. (1984). Nadezhnost sistem vodosnabzheniya. Moscow: Stroyizdat, 216.
2. Barlou, R., Proshan, F. (1984). Statisticheskaya teoriya nadezhnosti i ispytaniya na bezotkaznost. Moscow: Nauka, 328.
3. Belyaev, Yu. K. (1978). Statisticheskie metody v teorii nadezhnosti. Moscow: Znanie, 66.
4. Ilyin, Yu. A. (1985). Nadyozhnost vodoprovodnykh sooruzhenij i oborudovaniya. Moscow: Stroyizdat, 242.
5. Evdokimov, A. G., Tevyashev, A. D. (1980). Operativnoe upravlenie potokoraspredelemiem v inzhenernyh setyah. Kharkiv: Vishcha shkola, 144.
6. Samoilenko, M. I., Kostenko, A. B., Senchuk, T. S. et. al; Samojlenko, N. I. (Ed.) (2009). Adekvatnost modelej funktsionalnoj nadezhnosti truboprovodnykh system. Kharkiv: Izdatelstvo «NTMT», 115.
7. Gavrilenko, I. A., Manakova, N. O. (2015). Konceptualnye aspekty avtomatizirovannogo upravleniya potokoraspredelemiem v kommunalnyh setyah. Matematicheskoe modelirovanie processov v ehkonomike i upravlenii proektami i programmami (MMP-2015). Kharkiv – Nikolaev, 122–125.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Грицунов О. В.
Дата надходження рукопису 22.01.2016*

Гавриленко Ирина Александровна, ассистент, кафедра прикладной математики и информационных технологий, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: i.gavrilenko@ukr.net