

УДК 681.5.15

И.Н.РЯБЧЕНКО, д-р техн. наук,  
 А.В.ГРИГОРЬЕВ, В.М.ТИУНОВ, кандидаты техн. наук  
 Харьковский институт МАУП  
 Н.Ю.КАРПЕНКО, канд. техн. наук  
 Харьковская национальная академия городского хозяйства

## ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рассматриваются методы повышения надежности эксплуатации водораспределительных сетей, базирующиеся на топологическом анализе структуры систем подачи и распределения воды. Приводится пример выбора аварийной стратегии оперативного управления, которая минимизирует ущерб от аварии.

Проблема аварийного управления системами подачи и распределения воды (СПРВ) очень сложна с научной точки зрения и особенно актуальна сейчас – в период уплотнительной застройки центра города, которая приводит к дополнительной неучтенной нагрузке действующих водоводов. Поскольку 80% сетей являются изношенными, то эта дополнительная транзитная нагрузка приводит к резкому росту числа аварий. С практической точки зрения представляет интерес возможность компьютерного тестирования и выбора наилучшей (экономичной, надежной, экологичной) стратегии оперативного аварийного управления.

Этой проблеме посвящено много интересных работ проф. И.Н.Рябченко [1] и представителей его научной школы – аспирантов, докторантов Международной Кадровой Академии, соискателей. Эта проблема активно исследуется учеными Харьковского института Межрегиональной академии управления персоналом. Из ранее не иллюстрируемых фрагментов научных исследований, в статье представлена комплексная характеристика теории, алгоритмов и практических действий при выборе оптимальной (надежной) стратегии управления.

Цель настоящей работы – обобщенная характеристика теоретических положений, алгоритмического инструментария топологического анализа СПРВ и иллюстрация выбора оптимальной аварийной стратегии управления на тестовом примере.

Обычно под утечками или непроизводительными расходами воды обычно понимают [1] тот объем воды, который подается в водораспределительные сети сверх потребленного потребителями объема:

$$U = \sum_{i \in L} Q_i - \sum_{j \in N} Q_j,$$

где  $L$  – множество насосных станций;  $N$  – множество потребителей.

Причина возникновения утечек состоит, во-первых, в выборе нерациональной стратегии оперативного управления СПРВ, т.е. в несоответствии подачи и потребностей, а во-вторых – вследствие некачественного технического обслуживания водораспределительных сетей (старение трубопроводов, «свищи», подтекания запорной арматуры и т.д.).

Согласование подачи и потребления, в самом деле, очень сложная задача, которая может быть решена двумя путями: либо моделированием потокораспределения, т.е. гидравлическим расчетом, либо путем мониторинга потокораспределения, т.е. установлением измерительной аппаратуры как на насосных станциях, так и у потребителей. Естественно, что второй способ значительно дороже первого и, как показали практические исследования, менее точен.

Сегодня к непроизводительным расходам относят также и расходы воды, произошедшие в результате возникновения аварии, длительной или неквалифицированной работе по ее устранению. Это воочию продемонстрировала авария водовода в Москве на Рублевском шоссе (февраль 2006 г.), которая кроме финансовых убытков принесла огромный экологический и моральный ущерб.

В статье основное внимание уделено этой категории непроизводительных расходов, которые отрицательно сказываются на экологической обстановке городов, существенно снижают экономическую эффективность оперативного управления системами водоснабжения во внештатных ситуациях, снижают уровень устойчивого и надежного жизнеобеспечения современных городов.

Специфика водопроводных сетей состоит в наличии запорной арматуры, с помощью которой можно локализовать аварийный участок, предотвратив поступление в него воды. Теоретические исследования, обуславливающие возможность, единственность, конечность топологических преобразований графа, до выхода работы [1] не проводились.

Глубокие теоретические исследования проблемы позволили сформулировать теоремы [1], постулирующие единственность задачи локализации аварийной ситуации на основе топологических особенностей водораспределительных сетей, используемые для полного гиперкомпонентного анализа сетей.

Базируясь на проведенных теоретических исследованиях, были разработаны алгоритмы определения локализуемых компонент графа сети и процедура анализа структуры усеченной водораспределительной сети.

Пример, иллюстрирующий процедуру топологического анализа

тестовой 4-кольцевой сети, представлен на рис.1, 2.

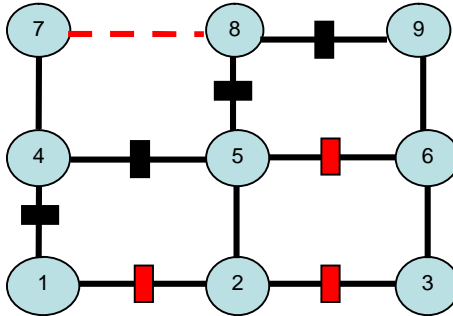


Рис.1 – Граф тестовой 4-кольцевой сети

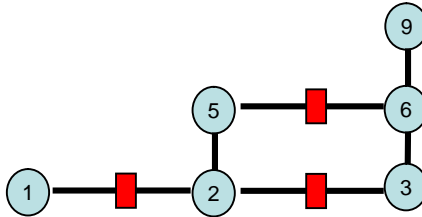


Рис. 2 – Схема графа трансформированной сети (после закрытия запорной арматуры)

На рис.3 приведена схема графа сети с нанесенной запорной арматурой. Замкнутыми линиями обозначены зоны локализирующих компонент, которые были построены с использованием разработанных алгоритмов.

В табл.1 приведены списки смежности, построенные по правилу:

- в колонку А1 записываются те вершины, которые инциденты рассматриваемой, но дуга, их соединяющая, не содержит запорной арматуры;
- в А2 – вершины, инцидентные рассматриваемой, где дуги, соединяющие эти вершины, содержат запорную арматуру, которая расположена возле противоположной вершины;
- в А3 – остальные вершины, инцидентные рассматриваемой.

В табл.2 указан перечень узловых пар, составляющих локализирующую компоненту и перечень дуг, составляющих «замыкающее множество», т.е. тех дуг, на которых расположена запорная арматура, которую необходимо закрыть для локализации аварийной ситуации.

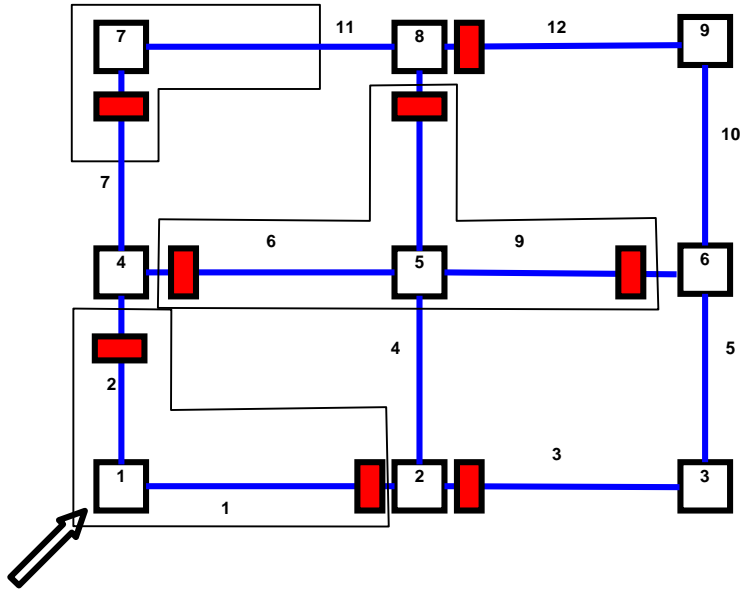


Рис. 3 – Граф сети с элементами запорной арматуры

Таблица 1 – Таблица списков смежности

№ вершины	A1	A2	A3
1		2,4	
2	5	-	1,3
3	6	2	-
4	7	-	1,5
5	2	4,6,8	-
6	3,9	-	5
7	4,8	-	-
8	7	-	5,9
9	6	8	-

Таблица 2 – Перечень локализирующих компонент, узловых пар и замыкающих дуг

№ компоненты	Перечень узловых пар	Замыкающее множество дуг
1	1-4; 1-2	0,1,2
2	2-5; 5-4; 5-8; 5-6	8,6,1,3,9
3	2-3; 3-6; 6-9; 9-8	3,9,12
4	4-7; 7-8	6, 2, 8,12

Упрощенный граф сети, приведенный на рис.4, иллюстрирует взаимное влияние локализирующих компонент. Анализ этого графа позволяет сделать заключение о том, что выход из строя водоводов, со-

ставляющих первую локализирующую компоненту (ЛК), приведет к выходу из строя всей сети (нарушается связность с насосной станцией), тогда как выход любых других водоводов из других ЛК приведет лишь к частичному нарушению работоспособности сети.

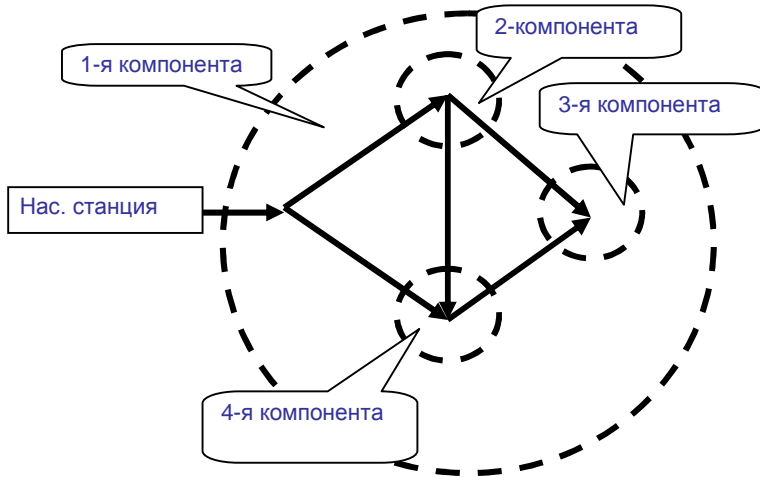


Рис. 4 – Граф, иллюстрирующий взаимное влияние локализирующих компонент

Для реализации теоретических исследований разработано уникальное алгоритмическое и программное обеспечение, имеющее дружелюбный и доступный интерфейс GUI.

В работе [1] рассматриваются различные варианты локализации аварийной ситуации, и выбирается наиболее разумная стратегия локализации.

Рассмотрим упрощенный пример выбора рациональной стратегии локализации аварийного участка.

Схема 4-кольцевой водораспределительной сети с нанесенной запорной арматурой приведена на рис.1.

В практике проектирования водораспределительных сетей применяется принцип структурного резервирования, повышающий надежность их работы. Для наглядной иллюстрации этапа локализации аварийного водовода разместим запорную арматуру на графе таким образом, чтобы возможность локализации аварии присутствовала, но не была однозначной (в случае, когда каждый водовод имеет задвижку в начале и в конце, что делает возможным его отсечение от сети путем перекрытия обеих задвижек).

*Цель расчета:*

- определить, существует ли способ локализовать аварийный водовод;
- определить, какие задвижки, и в каких узлах требуется перекрыть для отсечения аварийного водовода;
- сформировать множество абонентов (в данном контексте узлов), которые вследствие перекрытия задвижек окажутся обезвоженными;
- сформировать множество водоводов, которые окажутся обезвоженными;
- определить потокораспределение (аварийный случай) в остальной сети (транзитные потоки и потери напора, свободные напоры в узлах сети);
- определить значения выбранных критериев.

В результате расчета система предложит пользователю, в соответствии со сформированной выше целью следующую информацию справочного характера:

- файл, содержащий перечень задвижек, подлежащих перекрытию для локализации аварийного водовода;
- файл, содержащий информацию об отключенных от сети узлах;
- файл, содержащий информацию об отключенных водоводах;
- файлы отчета о проведенной прямой задаче анализа;
- файл, содержащий информацию о значениях мгновенных критериев.

Процедура имитационного моделирования на примере двух аварий, отличающихся друг от друга величиной последствий (ущерба) описана в [1]. Первая авария промоделирована на водоводе 7-8, находящемся достаточно далеко от насосной станции и, пропускающем небольшой транзитный расход. Вторая авария промоделирована на водоводе 1-2, находящемся рядом с насосной станцией и, пропускающем достаточно большой транзитный расход.

Для иллюстрации рассмотрим короткую версию – моделирование аварии на водоводе 7-8 (рис.1).

В качестве критерия локализации аварийного водовода в этом примере выбран критерий минимума числа абонентов, оставшихся без воды, вследствие локализации аварии.

В результате алгоритмического расчета выполненного программным обеспечением было предложено:

- перекрыть задвижки на водоводах 5-(8) (число, взятое в скобки, означает, что задвижка расположена в 8-м узле); (8)-9; (4)-5; 1-(4);

- останутся без воды абоненты: 4, 7, 8;
- окажутся обезвоженными водоводы: 5-8, 4-5, 1-4, 4-7, 7-8, 8-9.

Граф трансформированной сети представлен на рис.2.

Результаты расчета потокораспределения в аварийной ситуации, после реализации предложенного варианта локализации, выводятся в базу данных, а значения некоторых критериев приведены в табл.3.

Таблица 3 – Значения критериев после автоматизированного расчета 1-го варианта

№	Наименование критерия	Значение критерия
1	Энергетические затраты в сети	21.99
2	Суммарный расход (литр в секунду)	556.80
3	Суммарный избыточный напор	47.37
4	Суммарные утечки	23.6
5	Средневзвешенная скорость	1.353
6	Процент потребителей без воды	33.34
7	Процент потребителей с пониженной подачей воды	11.11
8	Процент потребителей с нормальной подачей воды	22.22
9	Процент потребителей с повышенной подачей воды	33.33

Рассмотрим другой вариант, позволяющий прекратить подачу воды в аварийный водовод. Этот подход заключается в снижении давления на насосной станции на некоторую величину, обеспечивающую давления в начальных точках аварийного водовода, равные нулю. Для этого установим давление на насосной станции равным 12 м. Результаты расчетов выведены в файлы базы данных, а основные критерии оценки представлены в табл.4.

Таблица 4 – Значения критериев после автоматизированного расчета 2-го варианта

№	Наименование критерия	Значение критерия
1	Энергетические затраты в сети	9.91
2	Суммарный расход (литр в секунду)	556.80
3	Суммарный избыточный напор	0.0
4	Суммарные утечки	0.0
5	Средневзвешенная скорость	0.9982
6	Процент потребителей без воды	44.44
7	Процент потребителей с пониженной подачей воды	55.56
8	Процент потребителей с нормальной подачей воды	00.00
9	Процент потребителей с повышенной подачей воды	00.00

Сравнительная характеристика двух приведенных способов управления СПРВ в аварийной ситуации позволяют сделать вывод о том, что первый способ является более предпочтительным. Об этом свидетельствуют технологические показатели: при втором способе управления СПРВ нет потребителей с нормальной подачей воды, а процент потребителей с пониженным напором составит почти полови-

ну всех абонентов сети.

Очевидно, что теоретические исследования, алгоритмические и программные реализации проблемы предупреждения утечек путем топологической локализации являются актуальными и востребованными как для науки, так и в практике функционирования современных предприятий жилищно-коммунальных предприятий.

Таким образом, можно сформулировать следующие выводы:

1. Расчет потокораспределения значительно дешевле, чем его мониторинг с использованием контрольно-измерительной аппаратуры.

2. Технология расчетов позволяет проводить мероприятия, связанные с локализацией аварийной зоны водораспределительной сети, выбором оптимальной стратегии аварийного оперативного управления системой, в то время как мониторинг с использованием измерительной аппаратуры по определению не в состоянии решить эти проблемы.

3. Теория, алгоритмический и программный инструментарий можно распространить на другие технические объекты, которые описываются сетевыми структурами или относятся к широкому классу инженерных сетей. Это газопроводные, тепловые сети, транспортные магистрали (автомобильная или железная дорога) и др.

1.Рябченко И.Н. Моделирование процессов потокораспределения в системах подачи и распределения воды с использованием ПЭВМ. – Харьков: Основа, 1998. – 188 с.

*Получено 13.10.2006*

УДК 628.1

Э.И.ЖУКОВ

*ГПП «Укрпромводчермет», г.Макеевка*

## **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ РЕМОНТЕ КАНАЛА СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ - ДОНБАСС**

Приводится технология работ, проведенных с целью защиты канала Северский Донец - Донбасс от фильтрации.

Канал Северский Донец - Донбасс является основным источником питьевого и технического водоснабжения Донбасса, источником для орошения сельскохозяйственных земель в прилегающей к нему зоне, а также для оздоровления местных рек.

Основными потребителями воды из канала являются промышленные города Славянск, Артёмовск, Часов-Яр, Краматорск, Константиновка, Дзержинск, Горловка, Енакиево, Макеевка, Донецк, Кировск, Шахтёрск, Красноармейск, Селидово, Мариуполь и др. [1]