

На правах рукописи



Зайко Василий Алексеевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ И
ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ
ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ (СПРВ) В
АВАРИЙНЫХ СОСТОЯНИЯХ**

05.23.04 - Водоснабжение, канализация, строительные системы
охраны водных ресурсов

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пенза 2002

Диссертационная работа выполнена на кафедре водоснабжения и водоотведения Самарской государственной архитектурно-строительной академии

Научный руководитель - кандидат технических наук, профессор
Сомов М.А.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Вдовин Ю.И.

кандидат технических наук
Мордясов М.А.

Ведущая организация - Департамент по строительству, архитектуре,
жилищно-коммунальному и дорожному
хозяйству Администрации Самарской
области

Защита состоится 3 июля 2002 г. в 10.30 часов на заседании диссертационного совета К 212.184.01 при Пензенской государственной архитектурно-строительной академии по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Титова, 28.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пензенской государственной архитектурно-строительной академии.

Автореферат разослан « 31 » мая 2002 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Саранцев В.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Эффективная работа систем водоснабжения обеспечивает безопасность населения городов и населенных пунктов России. В последнее время появился ряд документов, в которых указывается на неудовлетворительное состояние систем водоснабжения в стране. К ним относятся: концепция Федеральной целевой программы «Обеспечение населения России питьевой водой», решение Совета Безопасности от 26 июля 2001 г. № 4 «О проблемах техногенного загрязнения открытых и подземных источников водоснабжения и мерах по обеспечению населения России питьевой водой»

Наиболее слабым элементом в СПРВ является водопроводная сеть, повреждения на которой могут вызывать значительный материальный ущерб, определяемый простоем трубопроводов, потерями воды, затоплениями, перебоями в водоснабжении потребителей, затратами на производство ремонтных работ. Как отмечалось на Международной конференции «Строительство, ремонт и эксплуатация водопроводных и канализационных сетей», затраты на эксплуатацию сетей увеличились по сравнению с 1991 г. в два раза, а утечки и неучтенные расходы воды в среднем по городам России составляют 30% подаваемой в сеть воды.

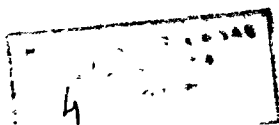
Таким образом, разработка методов диагностики и локализации мест повреждений в водопроводной сети, базирующихся на существующих средствах автоматики и вычислительной техники, с целью совершенствования оперативного управления СПРВ, является актуальной задачей.

Работа выполнялась по плану госбюджетных работ Самарской государственной архитектурно-строительной академии по теме: «Исследование вопросов повышения эффективности функционирования систем подачи и распределения воды (СПРВ)»

Целью диссертационной работы являлась разработка методов диагностики и оперативного управления СПРВ в аварийных состояниях, позволяющих повысить качество управления и надежность работы системы.

В соответствии с поставленной целью **задачами исследований являются:**

- анализ существующих методов диагностики аварийных состояний в инженерных сетях, их практическая применимость в СПРВ с учетом реальных ограничений на возможность получения информации о параметрах, характеризующих состояние системы;
- разработка метода диагностики аварийных состояний СПРВ для совершенствования оперативного управления;
- оптимизация процесса диагностики и определение минимального количества контрольно-измерительных устройств, необходимых для диагностики аварийных состояний;



- разработка методов математического моделирования аварийных состояний водопроводной сети и уменьшения размерности ее модели, с целью решения задачи диагностики и управления СПРВ;

- выбор мест размещения запорной арматуры для оперативного управления и поддержания требуемого уровня качества функционирования СПРВ в аварийных состояниях.

Научная новизна работы:

- разработан метод диагностики аварийных состояний СПРВ и местоположения неисправного участка;
- решена задача оптимизации процесса диагностики, на основе количественной оценки получаемой информации, на каждом шаге поиска аварийного участка;
- предложен способ моделирования аварийных состояний на участках водопроводной сети и метод уменьшения размерности расчетной схемы сети;
- разработана программа гидравлического расчета, позволяющая решать задачи моделирования работы СПРВ, как в нормальных, так и аварийных состояниях;
- для решения задач оперативного управления СПРВ предложен метод выбора места установки запорной арматуры с целью поддержания требуемого уровня качества функционирования (УКФ) в период отключения и ремонта аварийного участка

Практическая значимость и реализация работы.

В результате проведенных исследований разработан метод диагностики аварийных состояний СПРВ, позволяющий повысить эффективность управления и надежность ее работы. Разработанная программа гидравлического расчета позволяет моделировать работу систем подачи и распределения воды, как в нормальных, так и аварийных состояниях и эффективно решать задачи управления СПРВ

Программа гидравлического расчета реализована при анализе работы существующих СПРВ городов Самара, Уфа, Чапаевск, Отрадный, Сызрань, Похвистинев, Альметьевск, районных центров Безенчук и Кошки. Результаты расчетов позволили выявить недостатки в работе СПРВ и выдать рекомендации по улучшению их работы

Результаты исследований были использованы Научно-производственным объединением «Уралсистем» при написании программного обеспечения для АСУ ТП водоснабжения г. Самара.

Программа и методические материалы используются при обучении студентов специальности 290800 «Водоснабжение и водоотведение» в Самарской архитектурно-строительной академии и Московском государственном строительном университете

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и были одобрены на научно-технических конференциях, проводившихся в разные годы в Москве, Уфе, на Самарских областных ежегодных научно-технических конференциях «Исследования в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды».

Публикации По материалам диссертации опубликовано 13 печатных работ.

Структура и объём работы Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 172 страницах машинописного текста, содержит 22 рисунка, 23 таблицы и два приложения. Библиографический список использованной литературы включает 141 наименование.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована ее цель и задачи

В первой главе анализируется состояние вопроса и задачи управления СПРВ, описывается процесс функционирования и существующие методы управления, подчеркивается актуальность решения задач диагностики аварийных состояний и совершенствования оперативного управления.

Процесс функционирования СПРВ представляет последовательности различных состояний, характеризуемых величиной водопотребления и техническим состоянием элементов входящих в СПРВ. Переход системы из одного технического состояния в другое обычно происходит вследствие повреждения или восстановления отдельных ее элементов. Исправной считается система, у которой все элементы находятся в исправном состоянии, в случае же повреждения одного или нескольких элементов система становится неисправной. СПРВ может находиться в состоянии полной работоспособности, когда УКФ не ниже требуемого расчетного уровня, в состоянии не полной работоспособности, когда УКФ ниже расчетного, но выше предельно допустимого снижения УКФ: в неработоспособном состоянии, когда УКФ ниже предельно допустимого, в этом случае наступает отказ системы.

Между двумя техническими состояниями имеется переходный период, который определяется длительностью отключения аварийного элемента. В этот период может происходить снижение УКФ ниже предельно-допустимого. Продолжительность функционирования СПРВ в таком состоянии определяется нормативными требованиями.

Оперативное управление СПРВ осуществляется в непрерывно изменяющихся условиях функционирования, вызванных изменением водопотребления или техническим состоянием входящих в нее элементов. Эти изменения, как правило, носят случайный

характер, поэтому при управлении встает задача выработки таких воздействий на СТРВ чтобы она в максимальной степени удовлетворяла предъявляемым к ней требованиям при минимально возможных материальных затратах.

Говоря об управлении работой СТРВ необходимо особо выделить аварийные состояния, когда возникает необходимость оперативного обнаружения и отключения неисправного элемента. Решение такой задачи невозможно без существования системы оперативной диагностики и локализации повреждений, базирующейся на средствах автоматики и вычислительной техники

В заключение главы сделаны выводы и сформулированы основные цели и задачи, решаемые в настоящей работе.

Во второй главе рассматривается метод диагностики аварийных состояний СТРВ с позиции теории распознавания образов и технической диагностики, предлагается решение оптимизации процесса диагностики на основе количественной оценки получаемой информации и описывается процедура реализации данного процесса

Возникновение повреждения в водопроводной сети всегда вызывает изменение потокораспределения и давления в районе аварии. Поэтому, если представить сеть в виде конечного связного графа, то место повреждения можно изобразить в виде дополнительной вершины, не указанной на графе, описывающем структуру сети в исправном состоянии. Задача диагностики аварийного участка заключается в установлении места возникновения дополнительного узла не указанного на графе сети. Для водопроводной сети, состоящей из m узлов и p участков, каждому узлу m_j графа можно поставить в соответствие давление P_j ($j = 1, \dots, m$), а каждому участку p_i – расход q_i и сопротивление s_i ($i = 1, \dots, p$). Величина давления является функцией от расхода и сопротивления $P_j = f(q_i, s_i)$. Следовательно любое изменение расхода или сопротивления вызывает изменение давления в узлах.

В основе предлагаемого метода диагностики аварийных состояний СТРВ лежат следующие условия: при нормальном функционировании системы не происходит резкого изменения режима водопотребления, т.е. за короткий промежуток времени давление в узлах и расходы в участках изменяются незначительно; при возникновении аварии давление в узлах и расходы в участках изменяются скачкообразно до определенного уровня, соответствующего данному состоянию и существенно не изменяется до момента отключения участка.

В работе предложен трех этапный процесс диагностики аварийных состояний. На первом этапе производится выявления факта возникновения аварии, приводящей к снижению УКФ, на втором – устанавливается в работоспособном или неработоспособном состоянии находится СТРВ и на третьем этапе производится поиск аварийного участка. При таком

подходе все состояния системы разбиваются на три подмножества: подмножество Н - СПРВ полностью работоспособна, подмножество С - СПРВ не полностью работоспособна, аварийное состояние, при котором УКФ не ниже допустимого; подмножество А - СПРВ не работоспособна, аварийное состояние, при котором УКФ ниже предельно допустимого.

На первом этапе диагностики выполняется проверка значений контролируемых параметров и если хотя бы один из параметров выходит за пределы, характеризующие состояние системы в работоспособном состоянии, то делается вывод о возникновении аварии.

На втором этапе, диагностика проводится с помощью дискриминантных функций, которые формируются из условия, что для всех состояний входящих в подмножество А и С выполняется неравенство

$$F_A(x) > F_C(x). \quad (1)$$

Конкретный вид дискриминантных функций $F_A(x)$ и $F_C(x)$ вычисляется на основании обучающей выборки, полученной посредством моделирования аварийных состояний СПРВ или их наблюдения в реальных условиях.

$$F(x) = C_0 + \sum C_j \cdot x_j, \quad (2)$$

где C_0 – свободный член уравнения; C_j – коэффициент для признака $x_j = 1, \dots, m$.

На третьем этапе диагностики аварийного состояния используются алгоритмы вычисления оценок (АВО).

Значения признаков, полученных в результате моделирования или наблюдения аварийных состояний СПРВ, для АВО представляется в виде таблицы признаков (см табл 1). Процесс распознавания заключается в сравнении распознаваемого аварийного состояния w^* со всеми описанными эталонными аварийными состояниями, содержащимися в таблице признаков. Решение о том, к какому подмножеству W_i принадлежит распознаваемое аварийное состояние принимается по величине оценки, характеризующей данное состояние. Для вычисления оценок в работе рассмотрено два алгоритма.

Алгоритм 1 основан на определении общей оценки для каждого подмножества W_i . Процедура вычислений включает в себя два этапа: 1) подсчитывается оценка для каждого аварийного состояния из эталонной таблицы признаков; 2) подсчитываются суммарные оценки по каждому подмножеству аварийных состояний.

Правило близости, позволяющее оценить похожесть строки w^* , соответствующей распознаваемому аварийному состоянию и строки w_{pi}^1 , соответствующей произвольному аварийному состоянию, включенному в таблицу признаков состоит в следующем. Пусть после удаления неиспользуемых признаков, строки таблицы содержат q признаков, то есть $Sw_{pi}^1 = (\Pi_1^1, \Pi_2^1, \dots, \Pi_q^1)$ и $Sw^* = (\Pi_1^*, \Pi_2^*, \dots, \Pi_q^*)$. Строки Sw_{pi}^1 и Sw^* считаются похожими, если выполняется не менее, чем Z неравенств вида $|\Pi_{ri}^1 - \Pi_j^*| \leq E_j, j = 1, \dots, q$. Величины

E_1, E_2, \dots, E_q зависят от класса измерительных приборов и входят в качестве параметров в алгоритм вычисления оценок.

Таблица 1

Форма задания таблицы признаков

Подмножества	Аварийные состояния	Признаки и их значения					
		x_1	x_2	...	x_j	...	x_n
W_1	w_1^1	$\Pi_{1,1}^1$	$\Pi_{1,2}^1$	...	$\Pi_{1,j}^1$	...	$\Pi_{1,n}^1$
	w_2^1	$\Pi_{2,1}^1$	$\Pi_{2,2}^1$	...	$\Pi_{2,j}^1$	...	$\Pi_{2,n}^1$

	$w_{p_1}^1$	$\Pi_{p_1,1}^1$	$\Pi_{p_1,2}^1$	...	$\Pi_{p_1,j}^1$	...	$\Pi_{p_1,n}^1$
W_2	w_1^2	$\Pi_{1,1}^2$	$\Pi_{1,2}^2$	...	$\Pi_{1,j}^2$	...	$\Pi_{1,n}^2$
	w_2^2	$\Pi_{2,1}^2$	$\Pi_{2,2}^2$	...	$\Pi_{2,j}^2$	...	$\Pi_{2,n}^2$

	$w_{p_2}^2$	$\Pi_{p_2,1}^2$	$\Pi_{p_2,2}^2$	...	$\Pi_{p_2,j}^2$	...	$\Pi_{p_2,n}^2$
W_m	w_1^m	$\Pi_{1,1}^m$	$\Pi_{1,2}^m$	...	$\Pi_{1,j}^m$	...	$\Pi_{1,n}^m$
	w_2^m	$\Pi_{2,1}^m$	$\Pi_{2,2}^m$	...	$\Pi_{2,j}^m$	...	$\Pi_{2,n}^m$

	$w_{p_m}^m$	$\Pi_{p_m,1}^m$	$\Pi_{p_m,2}^m$	...	$\Pi_{p_m,j}^m$	...	$\Pi_{p_m,n}^m$
	w^*	Π_1^*	Π_2^*	...	Π_j^*	...	Π_n^*

Порядок вычисления оценок следующий. Проверяется близость строки $S_1 w^*$ со строками $S_1 w_1^1, \dots, S_1 w_{p_1}^1$ принадлежащими аварийным состояниям подмножества W_1 . Число строк этого подмножества, близких по выбранному критерию распознаваемой строки $S_1 w^*$, обозначается через $\Gamma_{s_1}(w^*, W_1)$. последняя величина представляет собой оценку распознаваемого состояния w^* для подмножества W_1 по выбранному подмножеству признаков S_1 . Аналогичным образом вычисляются оценки для остальных подмножеств $\Gamma_{s_1}(w^*, W_2), \dots, \Gamma_{s_1}(w^*, W_m)$. Проведя вычисления для всех остальных подмножеств выбранных признаков формируется систему оценок $\Gamma_{s_2}(w^*, W_1), \dots, \Gamma_{s_2}(w^*, W_m), \dots, \Gamma_{s_r}(w^*, W_1), \dots, \Gamma_{s_r}(w^*, W_m)$. Величины

$$\begin{cases} \Gamma(w^*, W_1) = \Gamma_{s_1}(w^*, W_1) + \Gamma_{s_2}(w^*, W_1) + \dots + \Gamma_{s_r}(w^*, W_1) \\ \dots \\ \Gamma(w^*, W_m) = \Gamma_{s_1}(w^*, W_m) + \Gamma_{s_2}(w^*, W_m) + \dots + \Gamma_{s_r}(w^*, W_m) \end{cases} \quad (3)$$

представляют собой оценки аварийного состояния w^* для соответствующих подмножеств по всему набору признаков S_1, \dots, S_r . На основании анализа этих величин принимается решение, либо об отнесении аварийного состояния w^* к одному из сформированных эталонных подмножеств $W_j, j = 1, \dots, m$, либо об отказе его распознавания.

Алгоритм-2 основан на вычислении оценки для каждого эталонного аварийного состояния

Из полного набора признаков выделяется подмножество, включающее q признаков. Для каждого эталонного аварийного состояния w_{pi}^1 определяется оценка, представляющая собой квадрат суммы абсолютных величин разности значений соответствующих признаков эталонного и распознаваемого аварийного состояния

$$\Gamma(w^*, w_{pi}^1) = (\sum | \Pi_{pij}^1 - \Pi_j^* |)^2. \quad (4)$$

На основании анализа вычисленных оценок принимается решение об отнесении распознаваемого аварийного состояния к одному из эталонных, характеризующих неисправный элемент сети. В качестве решающего правила принимается минимальная величину оценки $\Gamma(w^*, w_{pi}^1)$. Чем ближе находятся сравниваемые аварийные состояния, тем меньше величина оценки.

Описанные выше алгоритмы распознавания используют эталонную таблицу признаков, при анализе которой встает вопрос, все ли признаки одинаково информативны и нельзя ли ограничиться некоторым их подмножеством, включающим в свой состав наиболее информативные. Для оценки информативности той или иной подсистемы признаков принята относительная частота ошибок p , получаемая при распознавании аварийных состояний, входящих в экзаменационную выборку. Для этого используется информационная оценка каждого признака F_j . В качестве оценки принимается принцип максимальной близости, характеризующий количество распознанных аварийных состояний каждым признаком в отдельности.

Процесс диагностики аварийных состояний СПРВ характеризуется различной эффективностью, для оценки которой можно использовать следующие критерии: продолжительность диагностического процесса; общее число проверок, необходимых для отыскания аварийного элемента; стоимость реализации диагностического процесса и др. При разработке метода диагностики в качестве критерия принята минимальная продолжительность поиска аварийного участка. Для этого на каждом этапе поиска необходимо стремиться к увеличению скорости уменьшения неопределенности состояния системы, что равносильно увеличению скорости получения информации.

$$W_j = \left(\frac{I_j}{t_j} \right)_{\max}, \quad (5)$$

где W_j – скорость получения информации на j -ом этапе испытания;

I_j – количество информации, полученной на j -ом этапе испытания;

t_j – продолжительность j -го этапа испытания.

Оптимальный диагностический процесс характеризуется рядом

$$W_{\text{макс1}}, W_{\text{макс2}}, \dots, W_{\text{макс}n} \quad (6)$$

где n - число этапов (испытаний) до обнаружения отказавшего участка

Поскольку количество проверок, необходимых в каждом конкретном случае для выявления отказавшего элемента в системе случайно, так же как случаен сам факт отказа i -го элемента, продолжительность диагностического процесса оценивается средним временем поиска. Наряду со средним временем поиска, в качестве характеристики диагностического процесса можно использовать среднее число проверок до момента отыскания отказавшего элемента.

В заключение главы рассмотрена процедура реализации процесса диагностики аварийного состояния СПРВ. Она включает два этапа. этап обучения системы (наполстки) и этап диагностики аварийных состояний СПРВ.

В главе третьей рассматривается математическая модель водопроводной сети и способ моделирования утечки на трубопроводах, а также описывается метод эквивалентирования полной модели СПРВ до желаемых размеров

Для решения задач потокораспределения математическая модель водопроводной сети представляется в виде связанного конечного ориентированного графа $G = (M, N, V)$, где M - множество узлов сети, N - множество участков сети, V - отображение множества участков на множестве узлов сети $V: N \rightarrow M \times M$. Каждому участку $n \in N$ отображение V ставит в соответствие упорядоченную пару узлов $(v1(n), v2(n))$ из M , где $v1(n)$ - начало участка а $v2(n)$ - конец участка n . Считается, что участок n выходит из узла m если $m=v1(n)$, и входит в узел m , если $m=v2(n)$. Множество участков, входящих в узел m , обозначается через $N^+(m)$, а множество участков, выходящих из узла m , через $N^-(m)$

Участок $n \in N$ интерпретируется как элемент водопроводной сети, участвующий в транспортировке воды (участок-труба, участок-насос, участок-задвижка и т.д.) Узлы $m \in M$ интерпретируются как точки соединения участков сети, точки сосредоточенной подачи или отбора воды. Каждому узлу $m \in M$ в соответствие поставлены переменные H_m и a_m , описывающие соответственно расчетный напор и величину узлового отбора (подачи) в этом узле. Для всех узлов $m \in M$ выполняется уравнение баланса расхода воды

$$\sum \{q_n | n \in N^+(m)\} - \sum \{q_n | n \in N^-(m)\} = a_m, \quad m \in M. \quad (7)$$

Если $a_m < 0$, то узел m является источником поступления воды в сеть, если $a_m > 0$, то в узле m происходит отбор воды, если $a_m = 0$, то узел m является промежуточным

Движение потока по участку n описывается зависимостью

$$(H + Z)_{v2(n)} - (H + Z)_{v1(n)} + S_n | q_n | q_n - H_n = 0, \quad n \in N, \quad (8)$$

где S_n – гидравлическое сопротивление участка n ; H и Z – расчетный свободный напор и отметки земли в узлах ограничивающих участок n ; H_n – дополнительный напор, создаваемый активным участком (участок-насос), для неактивных участков (участок-труба, участок-задвижка) $H_n=0$.

Множество всех узлов M , входящих в конфигурацию сети, разбивается на три подмножества M_1 , M_2 и M_3 .

В узлах из подмножества M_1 задаются фиксированные напоры (узлы с постоянным напором $H_m = \text{const}$ и переменным узловым отбором или подачей)

$$H_m = H^*_m, \quad m \in M_1 \quad (9)$$

где H^*_m – требуемый свободный напор.

В узлах из подмножества M_2 задаются фиксированные узловые отборы (узлы с постоянной подачей или отбором $a_m = \text{const}$ и переменным свободным напором)

$$a_m = a^*_m, \quad m \in M_2 \quad (10)$$

где a^*_m – требуемый узловой отбор или подача.

Значения H^*_m и a^*_m задаются для всех $m \in M$.

В узлах из подмножества M_3 узловой отбор зависит от напора в нем (узлы с нефиксированным отбором и напором)

$$a_m = F_m(H_m), \quad m \in M_3. \quad (11)$$

Зависимость (11) описывает величину узлового отбора в зависимости от напора. При моделировании нефиксированных отборов в программе гидравлического расчета принята следующая зависимость

$$F_m(H_m) = \begin{cases} 0, & \text{если } H_m < 0 \\ a^*_m \times (H_m / H^*_m)^\alpha & \text{если } 0 \leq H_m \leq H^*_m \\ a^*_m, & \text{если } H_m > H^*_m \end{cases} \quad (12)$$

Для моделирования утечки в расчетную схему водопроводной сети вводится узел в предполагаемом месте аварии – точка A (рис. 1).

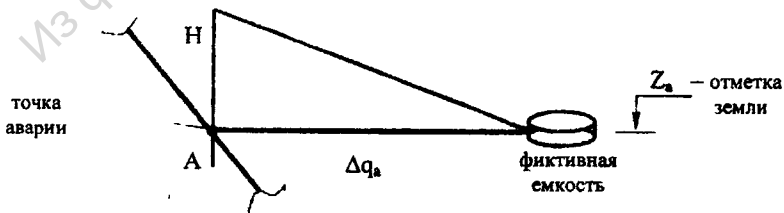


Рис. 1 Схема моделирования утечки воды при аварии на трубопроводе

Сопrotивление дополнительного участка S_a , соединяющего точку А с дополнительным узлом (фиктивной емкостью), моделирует гидравлическое сопротивление при истечении аварийного расхода и определяется из выражения

$$S_a = 1 / 2g \mu^2 \omega^2, \quad (13)$$

где μ – коэффициент расхода; ω – площадь отверстия, m^2

Моделирование аварийных режимов показало, что величина утечки при достижении площади истечения $(0,75 - 0,8) \omega_0$ в дальнейшем мало изменяется

На рис.2 представлен график относительного изменения величины утечки $\Delta q_{ai} / \Delta q_{a0}$ в зависимости от относительной степени раскрытия аварийного отверстия ω_1 / ω_0 для нескольких участков водопроводной сети (ω_0 – площадь живого сечения трубы при полном раскрытии; ω_1 – площадь живого сечения при различной степени раскрытия; Δq_{a0} – величина утечки, соответствующая полному раскрытию ω_0 ; Δq_{ai} – величина утечки, соответствующая ω_1)

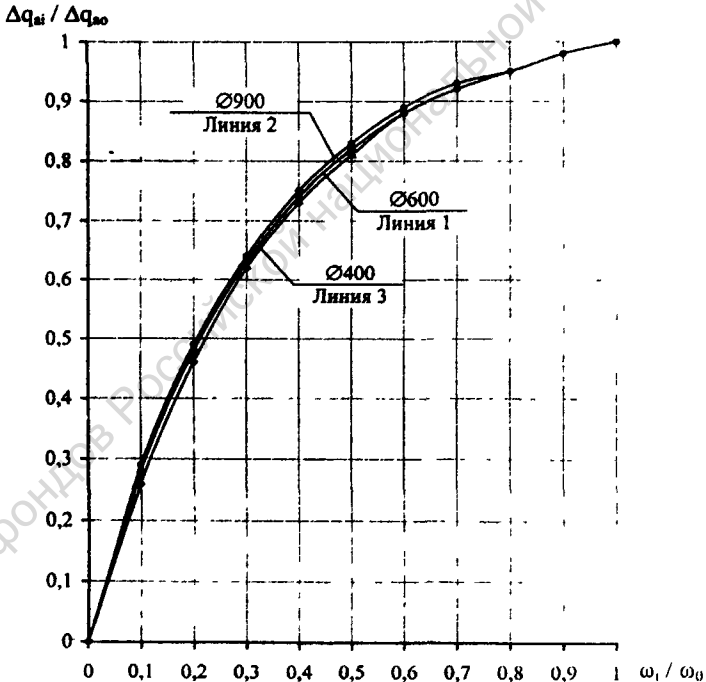


Рис. 2. График относительного изменения величины утечки $\Delta q_{ai} / \Delta q_{a0}$ в зависимости от степени раскрытия аварийного отверстия ω_1 / ω_0

Величина утечки также зависит от напора, при котором происходит истечение воды и местоположения аварийного сечения по отношению к началу или концу участка (начало и конец определяются направлением движения воды при нормальном режиме работы сети в отсутствие аварии). Было выполнено моделирование аварийных состояний с изменением местоположения аварийного сечения на участке сети.

Анализ результатов расчета выявил следующую закономерность изменения величины утечки ($Q_{ут}$):

- если максимальный напор будет в начале аварийного участка и не произойдет значительного перераспределения потоков, то характер изменения $Q_{ут}$, в зависимости от местоположения аварийного отверстия по длине участка, выразится кривой «а», представленной на рис.3;

- если при аварии произойдет значительное перераспределение потоков, особенно при питании от нескольких источников, то существенное значение будет иметь место аварийного участка в структуре водопроводной сети и гидравлическая связь его граничных узлов с другими участками. При этом к конечному узлу аварийного участка вода будет поступать по нескольким направлениям, вследствие чего авария у такого узла будет вызывать максимальную или близкую к ней утечку, кривая «б» на рис.3.

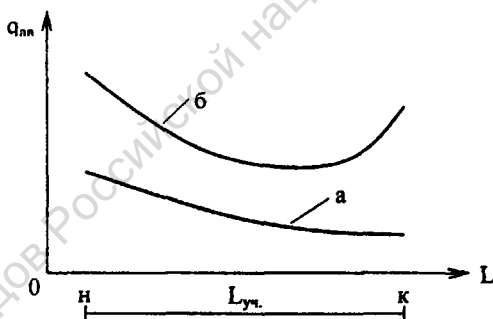


Рис. 3. Характер изменения величины утечки в зависимости от изменения места расположения аварийного сечения
н – начало участка; к – конец участка.

Гидравлический расчет больших СПРВ возможен путем: расчета всей системы; расчленения системы на подсистемы и расчета этих подсистем в отдельности; замены большой системы или её части более простым эквивалентом и расчета такой упрощенной модели

Эквивалентирование является одним из направлений, позволяющих облегчить решение гидравлических задач в сложных СПРВ с точки зрения практической применимости и обзорности результатов расчёта. При этом полная схема эквивалентуется до желаемой размерности с последующим расчётом и анализом режимов работы схемы значительно меньшего размера.

Для уточнения области использования эквивалентных моделей рассмотрены возможные пути их применения. Эквивалентная модель может быть использована в следующих случаях

- решение задач, связанных с оптимизацией условий работы СПРВ;
- изучение вариантов перспективного развития системы;
- расчет аварийных режимов для оценки УКФ и составления таблиц признаков аварийных состояний при решении задач диагностики

Предлагаемый метод эквивалентирования состоит из следующих этапов: расчет установившегося режима полной модели (решение задачи потокораспределения), формирование структуры упрощенной модели; агрегирование узловых отборов, решение задачи потокораспределения на упрощенной модели, оценка результатов расчета, полученных на упрощенной модели. Процедура агрегирования узловых отборов выполняется следующим образом. В том случае, если по удаляемому участку расход направлен от узла, то его величина прибавляется к узловому отбору, в противном случае - отнимается от него.

Изложенные принципы эквивалентирования реализованы в разработанной программе гидравлического расчета водопроводной сети.

На примере водопроводной сети г. Отрадный показана хорошая сходимость результатов расчета полной модели, включающей 405 участков и 301 узел, и эквивалентной модели, включающей 144 участка и 121 узел.

В главе четвертой рассматриваются способы управления СПРВ в аварийных состояниях, описывается порядок выбора мест установки запорной арматуры позволяющей оперативно отключать места аварий и поддерживать УКФ на требуемом уровне, анализируются способы повышения надежности функционирования систем подачи и распределения воды.

Оценка эффективности технических решений, направленных на обеспечение работоспособности СПРВ при возникновении аварийных состояний, должна учитывать возможности активного управления системой путем перевода насосных станций на аварийный график работы, целенаправленное перераспределением потоков между районами с помощью регулирующих и запорных устройств, форсирования работы регулирующих емкостей и локализации районов аварии.

При отключении участков СПРВ прекращается подача воды потребителям, в результате чего они несут экономический и моральный ущерб. Экономический ущерб связан с нарушением работы предприятий (потери продукции, не оказанные услуги и т.д.) и может быть определен достаточно точно. Моральный ущерб связан с обслуживанием населения, имеет социальные последствия и его точное определение практически не возможно.

При проектировании размещение запорных устройств (ЗУ) выполняется проектировщиком, зависит от его опытности и квалификации, и порой достаточно сложно учесть множество факторов, влияющих на выбор их местоположения. Фиксированному расположению ЗУ с одной стороны соответствует ущерб потребителей в результате отключения участков сети, а с другой стороны стоимость ЗУ. Увеличение ЗУ приводит к тому, что меньшее количество потребителей будет отключаться при аварии и тем самым, будет меньше ущерб от недопдачи воды. Уменьшение числа ЗУ приводит к прямо противоположному положению. Зависимость обобщенного ущерба (С) от недопдачи воды потребителям (кривая С₁) и стоимости установки ЗУ (кривая С₂) представлена на рис.4.

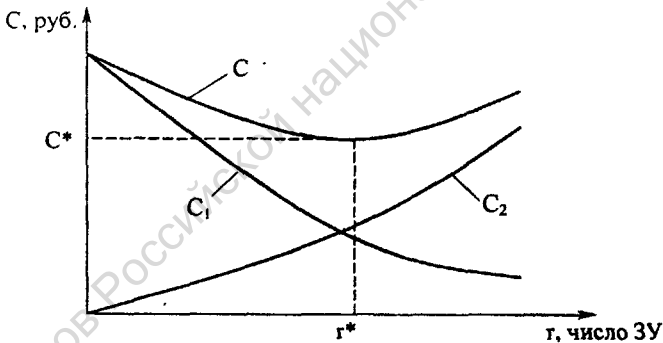


Рис 4 Зависимость обобщенного ущерба от недопдачи воды потребителям и стоимости установки ЗУ

Из графика видно, что задача оптимального размещения ЗУ в СПРВ заключается в том, чтобы найти такое их количество и местоположение при котором обобщенный ущерб будет минимальным

$$C = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{j=1}^{m_j} Q_j K_j + \sum_{k=1}^p Q_k K_k \right) + f \sum_{i=1}^r C_i, \quad (14)$$

где n – число участков сети, $i = 1, \dots, n$; m – число потребителей, подключенных к i -му участку и получающих от него воду, $j = 1, \dots, m$; p – число потребителей, не подключенных к i -му участку, и получающих воду от других участков сети, $k = 1, \dots, p$; Q_i – количество воды, которое не получает j -ый потребитель, в период отключения и ликвидации аварии, m^3 ; Q_k – количество воды, которое недополучает k -ый потребитель в период ликвидации аварии на i -ом участке, m^3 ; k_j и k_k – показатели ущерба в результате недопдачи $1 m^3$ воды, руб/ m^3 , f – коэффициент, учитывающий эффективность капитальных вложений и расходы на обслуживание и текущий ремонт ЗУ; C_i – стоимость ЗУ, с учетом их установки, руб

На стадии проектирования величину ущерба подсчитать довольно сложно так как необходимо знать все предприятия, места их подключения к сети, официально утвержденные методики расчета материального ущерба, объем и номенклатуру выпускаемой продукции или оказываемых услуг, прогноз развития рынка товаров и услуг и многое другое. Поэтому, для решения задач размещения ЗУ и оперативного управления предлагается определять степень значимости каждого участка сети по его влиянию на снижение УКФ при аварии. Для этого можно использовать следующие показатели: величину утечки воды при аварии на данном участке $Q_{ут}$; величину подачи воды после отключения аварийного участка $Q_{пв}$, величину подачи воды потребителям при аварии до отключения аварийного участка $Q_{пв}^{пот}$.

Необходимо особо отметить аварийные состояния в СПРВ, относящихся к первой категории надежности. Например, системы водоснабжения городов с численностью жителей свыше 50 тысяч относятся к первой категории надежности и допускают перерыв в подаче воды или снижение подачи ниже 70% не более чем на 10 мин. Это требование может быть выполнено только при быстрой диагностике аварийного участка и его отключении с помощью дистанционно-управляемых запорных устройств (ДЗУ), местоположение которых определяется заблаговременно в процессе проектирования для типовых схем, режимов и аварийных состояний.

Для решения этой задачи предлагается следующий порядок определения местоположения дистанционно-управляемых запорных устройств (ДЗУ)

- выполняются гидравлические расчеты аварийных состояний СПРВ и определяются участки сети, аварии на которых приводят к снижению подачи воды более чем на 30% от расчетного расхода;

- намечаются места установки ДЗУ (затворов или задвижек, управляемых дистанционно из диспетчерского пункта);

- выполняются гидравлические расчеты с имитацией закрытия ДЗУ и определяется величина снижения подачи воды потребителям, которая должна составлять не более 30%

расчетного расхода. Если в результате расчета эта величина составляет более 30%, то намечают места установки дополнительных ДЗУ и расчеты повторяют.

В конечном итоге определяются места установки всех ДЗУ, управление которыми во время аварии обеспечивает подачу потребителю не менее 70% расчетного расхода воды.

Для иллюстрации данного подхода в работе рассмотрена водопроводная сеть, представленная на рис. 5. Результаты расчетов приведены в табл. 2 ($Q_{\text{пот}}^{\text{аб}}$ – расход потребителей в период аварии, $Q_{\text{ут}}$ – величина утечки, $Q_{\text{пот}}^{\text{н}}$ – расчетный расход при нормальном режиме работы, равен 510 л/с).

Гидравлические расчеты, выполненные на первом этапе, показали, что при аварии на ряде участков (на схеме эти участки выделены жирными линиями) снижение общей подачи воды потребителям превышает допустимые пределы. В результате расчетов оказалось, что установка 15 ДЗУ позволяет обеспечить подачу не менее 70% расчетного расхода при аварии на любом участке сети.

Для аварийных состояний, входящих в подмножества С и Н не требуется такой высокой оперативности при отключении аварийных участков, поэтому в качестве ЗУ можно использовать задвижки без дистанционного управления. Порядок определения их местоположения аналогичен. При этом, для определения обобщенного ущерба можно учитывать только стоимость не реализованной потребителям воды.

$$C = \sum_{i=1}^n (Q_{\text{пот}}^{\text{н}} - Q_{\text{аб}}) \cdot S + f \sum_{i=1}^r C_i \quad (15)$$

где S – стоимость реализации потребителям 1 м^3 воды, руб.

Для автоматизации расчетов в разработанной программе гидравлического расчета имеется блок отключения и включения аварийных участков. В этом блоке автоматически определяется перечень задвижек, которые должны быть перекрыты для отключения аварийного участка. При этом, анализируется в каком состоянии до начала данной процедуры находится задвижка (в открытом, закрытом ранее или в неисправном). После того, как определен перечень задвижек, автоматически подсчитывается количество потребляемой воды в отключенной зоне. На расчетной схеме, представленной на мониторе, закрытые задвижки меняют свое изображение, что позволяет визуально наблюдать процесс отключения. Если аварийный участок отключить не возможно (не достаточно ЗУ или часть ЗУ не может быть использована по причине неисправности), об этом выдается сообщение.

В заключение главы рассматриваются пути повышения надежности функционирования СПРВ в процессе ее создания (проектирование и строительство) и функционирования

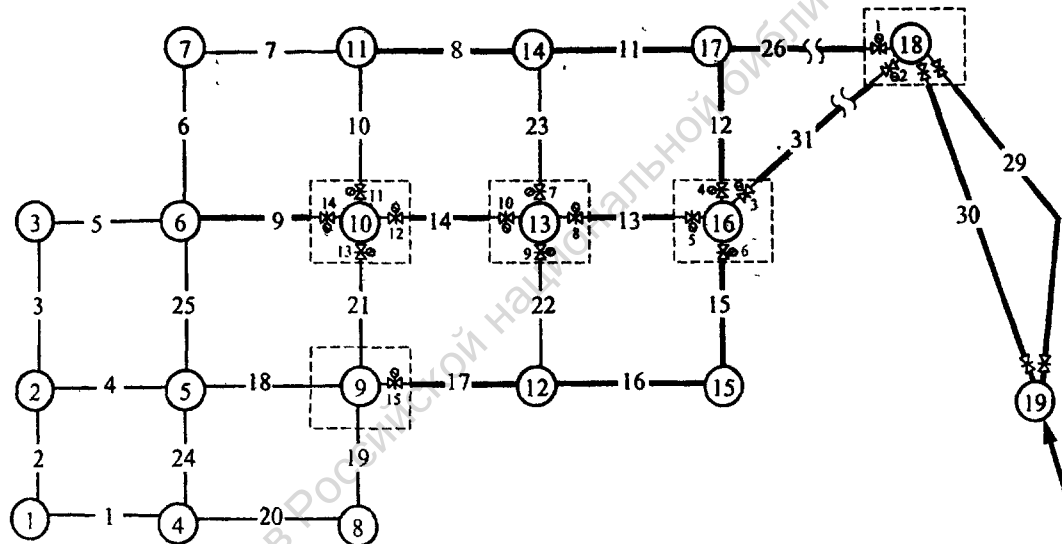


Рис. 5. Схема размещения дистанционно-управляемых запорных устройств

⑨ - номера узлов; — 18 — - номера участков

Таблица 2

Этапы расчета аварийных состояний

Показатели	Номера участков												
	8	9	11	12	13	14	15	16	17	22	23	26	31
Первый этап расчета													
$Q_{пот}^{аб}, л/с$	322	331	260	260	194	306	246	288	280	339	321	291	290
$Q_{шт}, л/с$	281	248	400	400	472	296	414	327	311	253	282	383	383
$Q_{пот}^{аб} / Q_{шт}^{н}$	0,63	0,65	0,51	0,51	0,38	0,60	0,48	0,56	0,55	0,66	0,63	0,57	0,57
Второй этап расчета													
Номера закрытых задвижек	1,4,7	10	1,4,7	1,4,7	5,8	10	6,9	6,9	6,9	6,9	1,4,7	1,4,7	2,3
$Q_{пот}^{аб}, л/с$	331	337	365	371	464	333	383	351	302	355	365	371	462
$Q_{шт}, л/с$	108	167	69	50	0	174	70	105	159	100	69	50	0
$Q_{пот}^{аб} / Q_{шт}^{н}$	0,65	0,66	0,72	0,73	0,91	0,65	0,75	0,69	0,60	0,70	0,72	0,73	0,90
Третий этап расчета													
Номера закрытых задвижек	1,4,7,11	14				10,12		6,9,13	6,9,13				
$Q_{пот}^{аб}, л/с$	377	404				468		334	331				
$Q_{шт}, л/с$	36	103				0		50	53				
$Q_{пот}^{аб} / Q_{шт}^{н}$	0,74	0,80				0,91		0,65	0,65				
Четвертый этап расчета													
Номера закрытых задвижек								6,9,15	6,9,15				
$Q_{пот}^{аб}, л/с$								428	428				
$Q_{шт}, л/с$								0	0				
$Q_{пот}^{аб} / Q_{шт}^{н}$								0,84	0,84				

ВЫВОДЫ

1 Дальнейшее развитие существующих методов управления системами подачи и распределения воды (СПРВ), как в нормальных, так и в аварийных состояниях, возможно только на основе использования современных математических методов и средств вычислительной техники.

2. Для целей оперативного управления СПРВ в аварийных состояниях разработан метод диагностики, базирующийся на существовании факта резкого изменения давления и расхода в районе аварии.

3 Решена задача минимизации количества признаков с позиции их максимальной информативности при выборе состава измеряемых параметров, необходимых для диагностирования аварийных состояний.

4 Для гидравлических расчетов применена математическая модель работы СПРВ с нефиксированными узловыми отборами и предложен способ моделирования утечек воды при авариях на водопроводной сети. Способ реализован в разработанной программе гидравлического расчета СПРВ.

5. Предложен метод уменьшения размерности модели СПРВ, позволяющий решать гидравлические задачи и проводить анализ режимов работы системы на схемах меньшего размера. Метод реализован в разработанной программе гидравлического расчета СПРВ

6 Разработана методика определения мест установки дистанционно-управляемых запорных устройств, позволяющих оперативно частично или полностью отключать участки аварии на которых приводят к снижению расчетного расхода более допустимого предела

7 На стадии проектирования, для повышения надежности работы СПРВ в аварийных состояниях, необходимо предусматривать резервные возможности, позволяющие в период эксплуатации поддерживать необходимый уровень качества функционирования системы

8. Разработанная программа гидравлического расчета СПРВ была использована при расчетах существующих водопроводных сетей городов Самара, Уфа, Чابаньск, Отрадный, Сызрань, Похвистинев, Альметьевск, районных центров Безенчук и Кошки. Полученные результаты позволили выявить недостатки и выдать рекомендации по улучшению их работы. За счет совершенствования управления и оценки проектных решений по развитию СПРВ от внедрения результатов диссертационной работы получен экономический эффект в размере 7195 тыс. рублей (в ценах 2002 г.).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

- 1 Гальперин Е.М., Зайко В.А. Математическая модель аварии на водопроводной сети // Межвузовский сборник научных трудов "Перспективные методы очистки природных и промышленных вод". Куйбышев, 1982, с. 43-52
- 2 Зайко В.А. К вопросу оптимизации процесса диагностики технического состояния водопроводной сети // Межвузовский сборник научных трудов "Перспективные методы очистки природных и промышленных вод", Куйбышев, 1985, с. 65-77
- 3 Гальперин Е.М., Зайко В.А. Комплекс по оцениванию состояния системы подачи и распределения воды (СПРВ) и его структура // Тезисы докладов областной 43-й научно-технической конференции «Пути интенсификации строительного производства и подготовки кадров». Куйбышев, 1986, с. 153
- 4 Зайко В.А. Использование методов теории распознавания образов для оценки аварийных состояний при управлении кольцевой водопроводной сетью (КВС) // Тезисы областной научно-технической конференции "Интенсификация работы сооружений водоснабжения и водоотведения". Куйбышев, 1986, с. 77-78
5. Зайко В.А., Гальперин Е.М. Использование априорной информации при управлении системами подачи и распределения воды (СПРВ). // Тезисы областной научно-технической конференции "Интенсификация работы сооружений водоснабжения и водоотведения", Куйбышев, 1986, с. 74-76
- 6 Зайко В.А. Диагностика аварийного участка в КВС, основанная на вычислении оценок // Тезисы докладов областной 46-й научно-технической конференции «Ресурсосберегающие, малоотходные процессы строительного производства и охрана окружающей среды». Куйбышев, 1989, с. 206-207
- 7 Зайко В.А., Сомов М.А. Диагностика аварийных состояний в системах подачи и распределения воды // Материалы семинара "Обеспечение надежности систем хозяйственно-питьевого водоснабжения" М - 1989, с. 48-54
- 8 Гальперин Е.М., Зайко В.А. Расчет аварийных режимов в кольцевой водопроводной сети // Водоснабжение и сан техника 1990. № 3, с. 6-8
9. Зайко В.А. Анализ аварийных ситуаций и принятие решений в процессе управления водопроводными сетями // Тезисы докладов областной 56-й научно-технической конференции "Исследования в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды" (апрель 1999). Самара, с. 213-214

10. Гальперин Е.М., Зайко В.А., Коваленко А.Г. Надежные расчеты кольцевых водопроводных сетей // Тезисы докладов областной 56-й научно-технической конференции "Исследования в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды" (апрель 1999). Самара, с. 211-212

11. Гальперин Е.М., Зайко В.А. Вопросы энергоресурсосбережения в водопроводных системах // Информационный бюллетень «Энергосбережение и экология», (июль.1999) Самара, с. 31-35

12. Зайко В.А. О диагностике аварийных состояний кольцевых водопроводных сетей // Тезисы докладов научно-технической конференции, посвященной 100-летию Уфимского водопровода «Водоснабжение на рубеже столетий», (июнь, 2001 г.), Уфа, с. 115-117

13. Зайко В.А., Коваленко А.Г. Модель водопроводной сети с нефиксированными узловыми отборами // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование Наука, Практика. Материалы региональной 59-й научно-технической конференции (апрель 2002г.). Самара: СамГАСА, 2002. с.454-455

Подписано в печать 27.05.2002 г.

Заказ №2609. Тираж 100 экз.

Объем 1,5 п.л. Формат 60x84/16

Бумага офсетная. Печать оперативная.

Отпечатано в НПФ «РАКС»

г.Самара, ул. Молодогвардейская, 194

Из фондов Российской национальной библиотеки

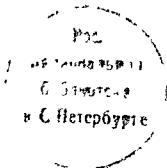
05.23

РНБ Русский фонд

2004-4

2986

Из фондов Российской национальной библиотеки



20 12