

Вологодский Государственный Технический Университет

РГБ ОД

20 АПР 2001

На правах рукописи

УДК 628.152

Авсюкевич Алексей Петрович

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАПОРНЫХ СИСТЕМ  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ С НЕСКОЛЬКИМИ ВОДОПИТАТЕЛЯМИ

Специальность 05.23.04 -  
Водоснабжение, канализация,  
строительные системы охраны водных  
ресурсов

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Вологда, 2000 г.

Работа выполнена в ЗАО "Экопром"

Научный консультант – докт. техн. наук, проф. Курганов А.М.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, проф. – Чупин В.Р.

канд. техн. наук, доц. – Юдин М.Ю.

Ведущая организация - ООО институт "Вологдаинжпроект", г. Вологда

Защита диссертации состоится 25 апреля 2000 г.

в 13.30 на заседании диссертационного совета К 064.86.01 по присуждению ученой степени кандидата технических наук в Вологодском государственном техническом университете по адресу: 160 035 г. Вологда, ул.Ленина, д.15, ауд Актовый зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан 24 марта 2000г.

Ученый секретарь диссертационного  
совета, канд. техн. наук, доцент



Е.А. Мезенева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность темы.* Научно-технический прогресс способствует развитию более сложных технологий, разработке и внедрению новой техники, поиску и решению новых научных задач. Одновременно с этим повышаются требования и надежности работы оборудования и механизмов, качеству монтажных и строительных работ, функционированию, технических систем и сооружений.

Повышение эффективности напорных систем водоснабжения (НСВ) неразрывно связано с технологической надежностью и охватывает широкий курс вопросов, связанных с поддержанием требуемого уровня бесперебойности их работы. При этом сегодня выделяют два аспекта: количественное определение степени надежности (техническая надежность) и определение степени обеспеченности подачи воды потребителю (технологическая надежность). Вопросы технологической надежности НСВ актуальны для многих объектов капитального строительства. нередко среди ряда объектов выделяется ряд приоритетных потребителей, которые имеют повышенные требования к обеспеченности водой, в связи с особой важностью решения поставленных перед ними задач. К ним можно отнести потребителей, использующих воду, например, для охлаждения АЭС, радиотехнических систем, средств связи и т.д. Для систем НСВ, в состав которых входят приоритетные потребители, возникает необходимость в 100% обеспеченности водой важных объектов в любых условиях эксплуатации. Это, соответственно, ужесточает требования и к самой НСВ, т.е. к водопроводной сети и водопитателям.

Достижение заданного уровня обеспеченности потребителей водой в различных режимах функционирования НСВ за счет одного лишь резервирования (установки дополнительных насосов, прокладке магистральных линий в несколько ниток, увеличение диаметров каждой нитки для пропускания заданного расхода в аварийных ситуациях и т.п.), во-первых, часто приводит к избыточной надежности и, естественно, к существенному необоснованному удорожанию объекта (за счет стоимости оборудования, капитальных затрат, увеличению установленной мощности и т.д.), во-вторых, не всегда является достаточным условием, так как при этом следует еще

обеспечить совместную работу всех элементов системы для нормальных и экстремальных условий, т.е. в условиях многорежимности.

Многорежимность функционирования НСВ, жесткая гидравлическая взаимосвязь потребителей, сложность структурных схем и т.п. приводят к тому, что при переходе от одного режима к другому возможно появление аperiodических расходящихся процессов, что в свою очередь может привести к преждевременному отказу отдельных элементов (блоков) системы или всей НСВ в целом.

Анализ условий работы насосного оборудования в НСВ с несколькими водопитателями показывает в большинстве случаев несоответствие режимов работы насосов требованиям ГОСТ.

*Целью настоящей работы является:*

1. Совершенствование существующих и разработка новых математических моделей объектов НСВ на стадии проектирования, при реконструкции и эксплуатации с учетом требований приоритетных потребителей, работающих в экстремальных условиях.
2. Разработка новых конструктивных решений и комплекса локальных мер по повышению функционирования НСВ с несколькими водопитателями и методики их решения с учетом многорежимности работы системы и технических ограничений, налагаемых на ее элементы.

Достижение цели позволит снизить капитальные вложения на строительство (реконструкцию) водопроводных сетей, уменьшить трудозатраты и сроки строительства, будет способствовать внедрению АСУ НСВ для регулирования потоков в экстремальных условиях, обеспечит стабильность работы оборудования, тем самым обеспечивая повышение надежности НСВ при снижении приведенных затрат.

*Научная новизна работы состоит:*

- в выявлении факторов, влияющих на технологическую надежность систем подачи воды с несколькими водопитателями, оценена степень их влияния на надежность подачи;

- в методах анализа НСВ с несколькими водопитателями при реконструкции с помощью коэффициента стабильности, учитывая многорежимность работы системы и технические ограничения, налагаемые на ее элементы;
- в обеспечении условий стабильной работы насосного оборудования скважин в пределах выбранной оптимальной зоны и повышения технологической надежности водозабора в целом путем использования предложенной методики расчета диаметров трубопроводов систем водозабора подземных вод;
- в разработке новых конструктивных решений и комплекса локальных мер по повышению функционирования НСВ с несколькими водопитателями в условиях многорежимности работы системы.

***Практическая значимость:***

- разработана на основе предложенной математической модели НСВ программа расчета на ПЭВМ, составлены вспомогательные графики для коэффициента стабильности, через который могут быть выражены технические ограничения, налагаемые на систему или ее оборудование, и требования надежности подачи воды, использование которых снижает трудозатраты и способствует повышению качества проектирования;
- даются рекомендации по проектированию водозабора подземных вод, позволяющие наряду с высокими показателями эффективности обеспечить устойчивую и надежную работу погружных насосов и всего водозабора в целом;
- для повышения надежности водозабора подземных вод предложены герметичная напорная емкость с предохранительными клапанами, устанавливаемая на скважинных трубопроводах (авт. свид. №1278411 от 22.08.1986 г.)

Результаты исследований включены в ВСН 24-87 "Нормы по оценке надежности оборудования систем водоснабжения и водоотведения, 1989 г.", вошли в методику расчета подачи воды приоритетным потребителям при авариях (д.т.н., проф. Ю.А. Ильин "Надежность подачи воды") и используются в учебном процессе СПбГАСУ.

### ***Апробация работы***

Основные положения докладывались на научно-технических конференциях ЛИСИ (СПбГАСУ), в 1985-90, 1999 гг. на Всесоюзном школе-семинаре “математические модели и методы анализа и оптимального синтеза развивающихся трубопроводных и гидравлических систем” СЭИ СО АН СССР г. Иркутск, 1990 г. На Всесоюзном семинаре по математическому моделированию потокораспределения в инженерных сетях (г. Туапсе) 1988 г.

### ***Публикации***

По материалам диссертационной работы опубликованы 3 статьи и получены 4 авторских свидетельства.

### ***Объем работы***

Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 127 наименований, изложена на 184 страницах машинописного текста, содержит 45 рисунков и 8 таблиц.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы исследований, кратко излагается цель диссертации, ее научная новизна и содержание глав.

В первой главе проведен анализ современного состояния работы систем подачи и распределения воды и на основании этого анализа поставлены задачи исследований.

Самая сложная и дорогостоящая часть современных систем водоснабжения - это системы подачи и распределения воды (СПРВ), которые состоят из множества элементов, находящихся в гидравлическом взаимодействии.

При строительстве новых, наладке построенных и реконструкции действующих систем необходимо решать задачи выбора оптимального состава сооружений, экономичных их размеров и наиболее выгоднейшего режима совместной работы.

В результате многовариантного анализа работы рассматриваемых систем, которые представляют в виде математических моделей, находят оптимальное решение.

Существует большое количество гидравлических и технико-экономических методов расчета современных гидросистем любой сложности, позволяющих с помощью вычислительной техники получать результаты с высокой степенью точности. Однако эффективность работы действующих СПРВ зависит от того, насколько принятая математическая модель отражает реальные условия эксплуатации, и от достоверности исходных данных, заложенных в математическую модель. При решении этих задач в расчетах математических моделей следует учитывать реальные характеристики всех сооружений и прогнозировать их изменение в процессе эксплуатации системы.

Проф. Н.Н. Абрамов отмечал, что применяемые методы расчета системы водоснабжения, связанные с вопросами совместной работы водопитателей центробежных насосов и сетей (особенно сетей с контррезервуарами), еще не совершенны крайне громоздки и не дают точного решения.

Недопустимым является расчет сети только на 2-3 так называемых случая водоотбора и питания. В настоящее время регулируемую емкость бака водонапорной башни и резервуара, питающего насосы, определяют в основном в предположении, что производительность насосов не меняется в течение расчетного для них срока работы. Такое допущение приводит к значительному искажению действительной картины совместной работы сооружений СПРВ. Правильный подбор насосов и выбор оптимального режима работы, как отмечал проф. В.Г. Лобачев, может быть сделан только после анализа их совместной работы с водопроводной сетью и резервуарами для всех 24 часов суток расчетного потребления.

Основными водопитателями водопроводных сетей являются центробежные насосы, характеристики которых обычно выражают в виде простых кривых  $Q - H$ ,  $Q - \eta$ ,  $Q - h_{\text{вх}}$ . Эти зависимости целесообразно выражать аналитически в виде уравнений, что дает возможность анализировать гидравлическое взаимодействие всех сооружений при изменении как размеров водопотребления, так и характеристики взаимосвязанных сооружений.

Для характеристики  $Q - H$  насосов В.Г. Ильиным предложено уравнение в виде квадратного уравнения

$$H = H_{\phi} - S_{\phi} Q^2, \quad (1)$$

где  $H_{\phi}$  - напор, соответствующий начальной точке рабочей характеристики насоса;  
 $S_{\phi}$  - фиктивное гидравлическое сопротивление насоса.

Е.А. Претером эта характеристика представлена в виде трехчленного уравнения, а зарубежные специалисты выражают ее по пяти точкам, снимаемым с ее графической характеристики.

Выполненные нами теоретические исследования показали, что при работе насоса в области исследуемого применения использованные уравнения (1) является вполне обоснованным, так как кривая  $Q - H$  насоса в этой области является ниспадающей параболой.

При регулировании работы центробежных насосов, т.е. при изменении частоты вращения и обточке рабочего колеса насоса его рабочие параметры могут быть выражены по формулам:

$$Q_{рег} = K_1 K_2 Q, \quad H_{рег} = K_1^2 K_2^2 H, \quad N_{рег} = K_1^3 K_2^3 N \quad (2)$$

и

$$H_{рег} = H_{\phi} K_1^2 K_2^2 = S_{\phi} Q^2 K_1^2 K_2^2 = H_{\phi} K_1^2 K_2^2 = S_{\phi} Q_{рег}^2 \quad (3)$$

Здесь  $K_1 = n_{рег} / n_{нор.н}$ ,  $K_2 = D_{обт} / D_{нор.н}$ ,

$n_{нор.н}$  и  $D_{нор.н}$  - частоты вращения и диаметр рабочего нерегулируемых насосов,

$n_{рег}$  и  $D_{обт}$  - то же, при их регулировании изменением частоты вращения и обточки рабочего колеса.

Расчет гидравлического взаимодействия насосов, трубопроводов и резервуаров позволяет определить фактическую подачу воды насосами, давление в трубах, а также затраты электроэнергии на водоподъем, т.е. проверить возможность водообеспечения потребителей при экономичном режиме работы насосов.

Трудоемкость расчетов зависит от количества насосных станций и резервуаров, сложности системы трубопроводов, наличия отборов воды из них и других факторов.

Совместная работа насосов и водовода возможна лишь в том случае, если развиваемый насосами напор, соответствующий их производительности, равен полной высоте водоподъема.



Поддача насоса изменяется при изменении сопротивления водовода и геодезической высоты водоподъема вследствие колебания уровней воды в напорном резервуаре.

Одновременная подача воды в несколько напорных резервуаров возможна лишь в том случае, если полная высота водоподъема для каждого из резервуаров одинакова. В процессе расчетов путем последовательных приближений определяется подача воды в каждый из резервуаров, а также общая подача и напор насосов.

Работа насосной станции на водовод с отборами воды по пути анализируется при изменении значений фиксированных отборов воды, сопротивлений на отдельных участках водовода, а также при колебании уровней воды в резервуарах.

Для случая водовода с насосными станциями по пути движения воды (последовательной работы нескольких насосных станций на общий водовод) развиваемый насосами напор соответствует полному необходимому напору каждой насосной станции при одинаковой подаче всех насосных станций и сумма геометрических высот водоподъема всех станций равна полной геометрической высоте водоподъема.

Исходя из требований, предъявляемых к надежности водообеспечения, в случае аварии на водоводе должна быть обеспечена подача воды на хозяйственно-питьевые нужды не менее 70% расчетной потребности, а также на промышленные предприятия по аварийному графику. С этой целью водовод обычно прокладывают не менее чем в две нитки, которые при большой его длине соединяют переключениями, позволяющими ремонтировать любой участок, обеспечив подачу расчетного расхода при аварии.

Для увеличения подачи воды потребителям часто используется подача воды несколькими насосами в общий напорный трубопровод, т.е. параллельная работа насосов.

Проблема надежности технических систем, в частности систем водоснабжения и водоотведения, охватывает широкий круг вопросов, связанных с поддержанием требуемого уровня бесперебойности их работы. При этом следует различать техническую надежность, т.е. количественное определение степени надежности - определение степени обеспеченности подачи воды потребителю.

В состав систем водоснабжения нередко входят приоритетные потребители, для которых возникает необходимость в 100% обеспеченности водой в любых условиях эксплуатации. Достижения заданного уровня обеспеченности потребителей водой в различных режимах функционирования систем водоснабжения за счет одного лишь резервирования (установки дополнительных насосов, прокладке магистральных линий в несколько ниток, увеличение диаметров каждой нитки для пропускания заданного расхода в аварийных ситуациях и т.д.) часто приводит к существенному необоснованному удорожанию объекта (за счет стоимости оборудования, капитальных затрат, увеличения установленной мощности и т.д.) и не всегда является достаточным условием, так как при этом следует еще обеспечить совместную работу всех элементов системы для нормальных и экстремальных условий, т.е. в условиях многорежимности. Многорежимность функционирования систем водоснабжения, сложность структурных схем и т.п. приводят к тому, что при переходе от одного режима к другому возможно появление аperiodических расходящихся процессов, что может привести к отказу отдельных элементов системы или всей системы в целом.

Анализ и исследования условий работы насосного оборудования в системах водоснабжения с несколькими водопитателями показали во многих случаях несоответствие режимов работы насосов требованиям ГОСТ.

В связи с этим появилась необходимость в решении задачи по повышению надежности функционирования систем водоснабжения с несколькими водопитателями и методики их проектирования, с учетом многорежимности работы системы и технических ограничений, налагаемых на ее элементы.

Вторая глава посвящена управлению потокораспределением систем подачи и распределения воды в экстремальных условиях.

Централизованные системы водоснабжения, как правило, объединяют потребителей с различными требованиями по обеспечению водой. Поэтому с целью повышения надежности подачи воды приоритетным потребителям целесообразно создание систем автоматизированного управления с использованием микропроцессоров. Для управления (регулирования) потокораспределением может быть использован алгоритм, который в

диалоговом режиме позволяет регулировать подачу воды отдельным элементам системы. Такой алгоритм должен включать в себя:

- блок ввода и изменения исходных данных;
- блок поверочного расчета и анализа обеспеченности потребителей заданным расходом;
- блок определения возможности регулирования и подготовки результатов к диалоговому режиму;
- диалоговый режим, определение места (и порядка) регулирования;
- блок определения степени регулирования;
- блок анализа работы системы водоснабжения при различных вариантах отключений потребителей, чтобы за счет сокращения подачи воды отдельным потребителям и внутреннего резерва обеспечить требования приоритетных потребителей.

Для надежной подачи воды потребителям на насосных станциях, как правило, устанавливается группа насосов, параллельно работающих на несколько водоводов (рис. 1). Анализ совместной работы насосов и водоводов при проектировании и реконструкции систем водоснабжения обычно проводится с помощью поверочных расчетов. Это требует перебора большого числа вариантов, потому что результаты поверочного расчета отвечают лишь на вопрос, приемлем или нет рассматриваемый вариант, и не дает рекомендаций по улучшению параметров системы.

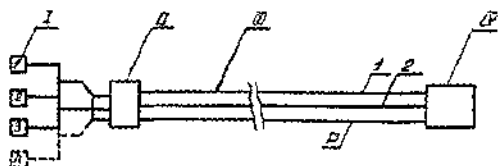


Рис 1 Схема транспортировки воды:

I - насос; II - камера переключений; III - водовод; IV - резервуар.

Для снижения трудозатрат и повышения качества проектирования целесообразно пользоваться коэффициентом стабильности  $\beta$  (параллельности), величина которого

зависит от соотношения числа рабочих и отключенных элементов системы (насосов и водоводов), а также от соотношения их гидравлических сопротивлений:

$$\beta = q_1 / q_p = \sqrt{\left(1 + \frac{S_B}{S_H} \left(\frac{n}{p}\right)^2\right) / \left(1 + \frac{S_B}{S_H} \left(\frac{n \pm k}{p \pm k'}\right)^2\right)}, \quad (1)$$

Здесь  $q_p$  и  $q_1$  - расход насосов при  $n$  и  $(n - k)$  работающих агрегатов;

$S_B$  и  $S_H$  - условное гидравлическое сопротивление водовода и насоса (включая местные сопротивления и сопротивления на трубопроводах до камеры переключений, см. рис.1);  
 $n$  - число одинаковых параллельно установленных насосов, которые транспортируют воду по  $p$  водоводам;

$k$  и  $k'$  - количество работающих (включенных) насосов и ниток водоводов.

Коэффициент  $\beta$  (рис.2) показывает величину отклонения параметров системы при условиях эксплуатации, отличных от основного расчетного режима, т.е. характеризует устойчивость функционирования системы.

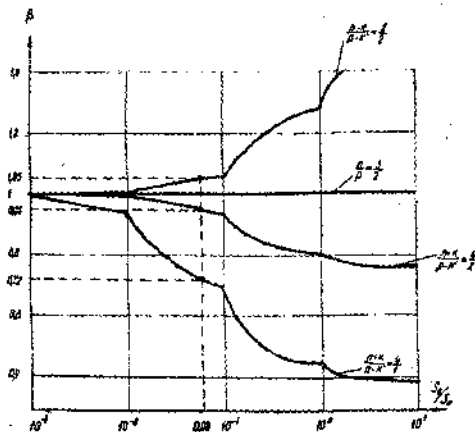


Рис 2 График зависимости  $\beta = \sqrt{\frac{S_B}{S_H}}$  при различных значениях  $\frac{n \pm k}{p \pm k'}$

Основными факторами, вызывающими отклонения от расчетного режима являются:

- факторы, вызывающие изменения сопротивления системы (регулирование на участках, отклонение или дополнительное включение отдельных участков ниток водовода, насосов, потребителей и т.д.);

- факторы, вызывающие изменение геометрической высоты подъема, что возможно при регулировании режимов работы насосных агрегатов, колебание уровней в источниках и резервуарах, изменения требований потребителей и т.д.

Основные требования к системе выражаются в следующем:

- 1) подача воды в резервуар не должна снижаться более заданной величины  $\alpha$  при любых регулировках системы, включая аварийные ситуации, т.е.  $Q_{\text{min}} = \alpha Q_p$ ;
- 2) работа насосных агрегатов допускается в пределах рабочей зоны,  $q_1 < q_w < q_2$ , где  $q_1$  и  $q_2$  - производительность насоса на границах рабочей зоны.

При этих ограничениях изменение подачи одного из насосов относительно основного (расчетного) режима удобно выразить с помощью коэффициента стабильности  $\beta = q_i / q_p$  (где  $q_p, q_i$  подача насоса в расчетном и любом  $i$ -ом, отличном от расчетного, режиме).

Подача каждого насоса  $q_{ji}$  при их совместной работе относительно одного, например, первого  $q_1$  может быть представлена в виде  $\beta$ :

$$\beta = q_{ji} / q_1 = \sqrt{\frac{1 + S_B / S_H \left( \sum_{j=1}^n \sqrt{\frac{H_j - H_1 + S_1}{S_j q_1^2} + \frac{S_1}{S_j}} \right)^2 - \frac{\pm \Delta Z}{S_1 q_1^2}}{1 + S_B / S_H \cdot x_B / (p - k')^2 \sum \sqrt{\frac{(H_j \pm \Delta h_j) - H_1 + S_1}{x_H S_j q_1^2 \beta_1} + \frac{S_1}{S_j x_H}}}}; \quad (2)$$

где  $j$  - индекс режима, 1, 2, 3 ...  $n$ ;

$H_j$  - условный напор насоса при  $q_j = 0$ ;

$S_B, S_j$  - сопротивления одной нитки водовода и насоса;

$n$  - число работающих насосов;

$\Delta h, \Delta Z$  - изменения напоров насосов и геометрической высоты подъема воды в системе;

$x_H, x_B$  - коэффициенты, характеризующие изменение сопротивлений насосов и водоводов.

По формуле (2) можно вести анализ работы системы практически для любых режимов функционирования. Наиболее наглядно это можно проследить анализируя работу системы при  $H_j = H$ , и  $S_1 = S_j$  по формуле:

$$\beta = \sqrt{\frac{1 + S_B / S_1 \cdot n^2 / p^2 - (\pm \Delta Z) / S_1 q_1^2}{1 + S_B / S_1 \cdot (n \pm k)^2 / (p \pm k')^2}}; \quad (3)$$

Коэффициент  $\beta$  не зависит от значений напора и расхода системы и может быть представлен типовым графиком для анализа подобных структур при определенных соотношениях  $n/p$ . Приняв  $p=1$ , на рис. 3 каждая кривая соответствует определенному проценту отключенных от числа работающих  $n$  насосов (5%, 10%, 15% и т.д.).

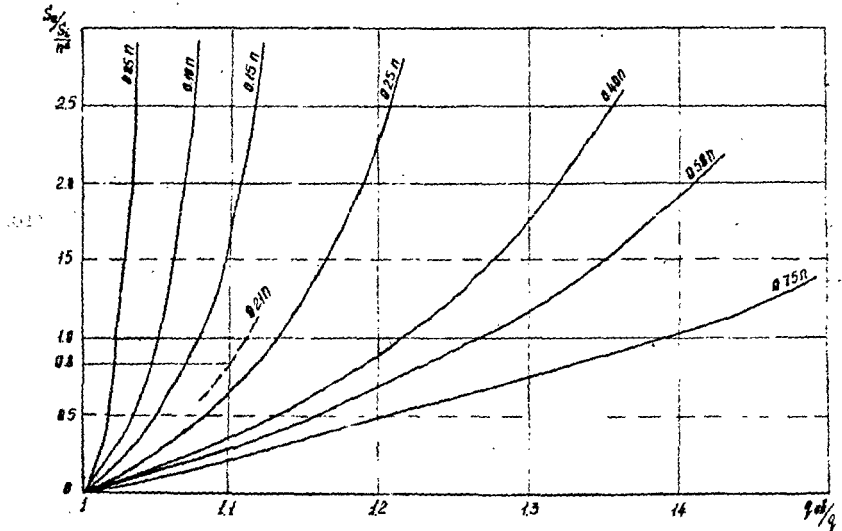


Рис 3 График соотношения аварийных и нормальных расходов в зависимости от гидравлических сопротивлений при вероятном отключении насосов от общего числа работающих.

Нами также рассмотрены предложения по совершенствованию и упрощению методики выполнения гидравлических поверочных расчетов при авариях отдельных элементов систем водоснабжения.

Гидравлический расчет системы для  $j$ -го аварийного состояния ведется в следующей последовательности:

1. После отключения аварийного участка производится увязка сети при требуемых фиксированных расходах у насосной станции и потребителей с вычислением напоров  $H_j$  у последних.

2. Определяют расход воды, подаваемый в систему  $Q_{сг}$ , и поступление каждому из потребителей ( $q_{ij}$ ) при их общем минимальном сопротивлении и нефиксированном отборе. исключение составляют  $k$  потребителей с фиксированным расходом, у которых  $H_{ij} \geq H_i$ :

$$Q_{сг} = \sum_{i=1}^k q_i + \sum_{i=1}^{n-k} q_{ij}, \quad (4)$$

3. В случае, когда поступающий при аварии нефиксированный расход в узле больше требуемого  $q_{ij} \geq q_i$ , учитывая возможность его регулирования, принимают  $q_{ij} = q_i = const$ . После чего цикл повторяется, но уже с большим числом фиксированных отборов  $k = k + \bar{k}$ , где  $\bar{k}$  - количество узлов с  $q_{ij} = q_i$ .
4. Счет прекращается, если у всех нефиксированных потребителей  $q_{ij} < q_i$ , или все расходы в узлах зафиксированы ( $q_i = const$ ).

Для выполнения расчетов строится модель, которая включает в себя участки сети, элементы, моделирующие потребителей и водопитателей.

Фиктивные линии на расчетной схеме задаются для учета разности пьезометрических отметок ( $\Delta H = H_{\phi} - H_i$ ) между потребителями и насосной станцией, что позволяет учитывать вертикальную геометрию сети, существенно влияющую на потокораспределение в системе. Разработаны алгоритм и программа, позволяющие анализировать работу гидравлических систем с учетом аварийных отключений участков сети. Поверочные работы по предлагаемой методике могут учитывать не только аварийное отключение участка, но и аварии на насосной станции и у потребителя. Возможно и моделирование аварийных ситуаций в системе из-за нарушения герметичности (возникновения утечек) трубопроводной сети.

Разработанная методика позволяет моделировать аварийные ситуации с учетом взаимовлияния всех элементов системы.

При гидравлическом расчете многокольцевых сетей методом последовательного внесения поправок предлагается вводить дополнительный контур, охватывающего участок с наибольшим сопротивлением, что во всех случаях способствует увеличению

скорости сходимости процесса увязки и значительно сокращает время расчета и интенсифицирует проектирование систем.

Глава 3 посвящена расчету систем подачи и распределения воды с водозаборными скважинами.

Характерной особенностью работы и сложностью расчета таких систем является то, что гидравлическое взаимодействие всех сооружений зависит от характеристик скважин, их взаимного влияния друг на друга, а также от изменения этих характеристик во времени. В настоящее время водозаборы подземных вод устраиваются в виде группы скважин, объединенных между собой системой сборных водоемов, по которым вода подается в резервуары к насосной станции или непосредственно к потребителю. Элементы таких систем являются гидравлически взаимосвязанными, т.е. изменение режима работы одного из элементов вызывает изменение режима работы у всех остальных. Такие изменения могут быть существенными и приводить к уменьшению суммарной расчетной подачи воды от водозабора, а также вызывать колебания напоров в системе, гидравлические удары. В результате все это отражается на эффективности функционирования водозабора, надежности насосного оборудования и всей системы в целом. Когда скважины водозабора расположены последовательно в виде линейного ряда, то у ближайших к насосной станции  $n$  подъемов скважин расход больше, чем у скважин, расположенных в конце этого линейного ряда. При такой схеме выключение или переключение обязательно вызывает значительные колебания расходов и напоров в отдельных точках системы. Поэтому рекомендуется устанавливать насосы в системе с малоизменяющейся характеристикой или при их работе непосредственно на индивидуальный водоприемник. Создание системы с малоизменяющейся характеристикой приводит к значительному увеличению диаметров трубопроводов, а следовательно капитальных затрат на строительство.

С целью сокращения капитальных затрат на строительство водозабора подземных вод предлагается соединить скважины  $1$  водозабора через напорную емкость (рис.4). Причем, гидравлические сопротивления трубопроводов  $2$  должны быть примерно



равны. Такое решение обеспечивает равномерное распределение дополнительной нагрузки между скважинами в случае нарушения нормального режима их работы.

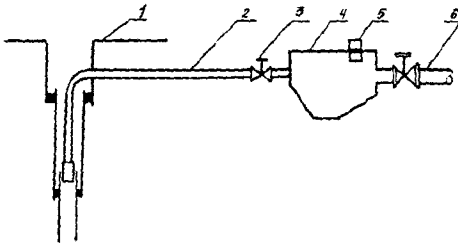


Рис. 4 Разрез водопроводной сети.

Для обеспечения устойчивости работы насосного оборудования в требуемых пределах рабочей зоны  $H-Q$  характеристики диаметр водовода (его гидравлическое сопротивление  $S_B$ ) определяют в зависимости от суммарного гидравлического сопротивления оборудования скважины (фильтра скважины, насоса, арматуры) и скважинного трубопровода  $S$ , по формуле:

$$S_B \leq \frac{1 - q_{\text{ав}}^2 : q^2}{\frac{q_{\text{ав}}^2}{q^2} (n - k)^2 - n^2} \cdot S; \quad (5)$$

где  $q$  - расход от скважины при нормальном (расчетном) режиме работы водозабора подземных вод;

$q_{\text{ав}}$  - расход от скважины при аварии;

$n$  - количество рабочих скважин водозабора;

$k$  - количество скважин, выключаемых при аварии.

Интервал соотношения сопротивлений  $\frac{S_B}{S} \cdot \frac{S_1}{n^2}$  для систем водозаборов чаще всего

находится в пределах 0,5 - 1,5. При повышении давления в системе до величины, при которой насос выходит за пределы границы рабочей зоны, через предохранительный клапан 5 происходит сброс давления.

Применение такой напорной емкости позволяет снизить капитальные затраты на строительство примерно на 25 - 30% по сравнению с самотечным.

Предложенные выше конструктивные решение защищено авторским свидетельством.

На основании изложенного материала во II и III главах разработана новая инженерная методика расчета диаметров трубопроводов систем водозабора подземных вод, которая позволяет учитывать технические ограничения, налагаемые на отдельные элементы системы, выражаемы через допустимые изменения подачи насосов относительно расчетного режима, что позволяет определять диаметр трубопроводов с учетом технологической надежности водозабора в целом.

Кроме того, разработана методика гидравлической увязки взаимосвязанных сооружений системы, позволяющая проверить возможность обеспечения всех потребителей расчетным расходом под необходимым напором при нормальной работе, а также в случае аварии, выбрать наимыгоднейший режим работы системы при различных режимах водопотребления.

Для повышения надежности водозабора по обеспечению расходом потребителей разработано схемное решение.

В четвертой главе рассмотрены особенности поверочных гидравлических расчетов при оценке надежности подачи воды.

К числу задач, решаемых при поверочных гидравлических расчетах, относятся:

1. Определение обеспеченности расходов и напоров при тушении пожаров;
2. Распределение расходов между водопитателями, а также установление зон их влияния, в системах с несколькими водонисточниками;
3. Определение обеспеченности расходов и напоров в системах с напорно-регулирующими емкостями;
4. Определение обеспеченности расходов и напоров при аварийном отключении отдельных элементов систем подачи воды: насосов, линий водоводов, напорно-регулирующих емкостей, участков сети или их комбинаций;
5. Для оценки степени соответствия принимаемых решений по надежности и качеству водоснабжения требованиям потребителей к бесперебойной подаче и обеспеченности расходов;

6. При определении производительности систем подачи воды в период эксплуатации, отличающийся повышенными требованиями к бесперебойности работы;
7. Для приоритетного перераспределения расходов между потребителями в аварийных ситуациях.

Значительный вклад в развитие теории поверочных расчетов внесли Н.Н. Абрамов, Л.Ф. Мошнин, Ю.А. Ильин, В.С. Дикаревский, В.Я. Хасилев, Е.М. Гальперин, М.А. Сомов, Г.П. Небольсин, П.Д. Хоружий и др.

Поверочные гидравлические расчеты являются неотъемлемой частью анализа эффективности работы принимаемых схем водоснабжения при непрерывно изменяющихся режимах водопотребления и состоянии сооружений (включая аварийные) в эксплуатации, которые носят вероятностный характер.

В данной главе рассмотрены особенности их выполнения при решении задач оценки степени соответствия принимаемых решений требованиям потребителей к надежности подачи и обеспеченности расходов воды.

Сначала изложены методика поверочных расчетов при оценке надежности систем с разветвленной сетью, характерной особенностью которой является то, что она представляет собой связанный "ориентировочный" граф, не содержащий колец.

Первой задачей поверочных расчетов при оценке надежности систем водоснабжения с несколькими водопитателями и разветвленной сетью является установление "зон питания", в соответствии с которыми оценивается надежность подачи воды от каждого источника питания. Превалирующими здесь являются расчеты, связанные с обеспечением внешней увязки сети. Особенности построения расчетных уравнений для внешней увязки систем с разветвленной сетью показаны для двух наиболее характерных случаев: все отборы воды фиксированы и с нефиксированным водоотбором.

Задачей поверочных гидравлических расчетов кольцевых сетей является определение как перераспределяются расходы и потери в участках сети и какой отбор будет обеспечен в ее узлах. По результатам поверочных расчетов проводится сопоставление полученных коэффициентов расхода у каждого потребителя с его требованиями. В результате

сопоставления выявляются те участки, аварии на которых могут повлечь отказ систем, а также снижение подачи воды отдельным потребителям ниже допустимого нормами уровня.

На основании таких расчетов строится расчетно-логическая схема и выполняются поверочные вероятностные расчеты по определению вероятности безотказного обеспечения водой или продолжительности в подаче воды потребителям для каждого сечения по мере их удаления от точки питания.

Характер и степень влияния выключенных аварийных участков на обеспеченность расходов и напоров сетью зависят от места расположения аварийного участка, его гидравлических характеристик, конфигурации сети и условий ее питания, рельефа местности и этажности застройки.

Наиболее сильно могут влиять на снижение подачи воды при аварии участки параллельных транзитных магистралей, расположенные у точки питания сети. Поэтому они в первую очередь подлежат проверке.

При выполнении поверочных гидравлических расчетов систем подачи воды с кольцевыми сетями преобладающими становятся расчеты, связанные с обеспечением внутренней увязки сети. Сложность их нарастает по мере увеличения числа колец и нефиксированных отборов у узлах сети.

В основу наиболее простого метода поверочных расчетов (Н.Н. Абрамова) положена предпосылка фиксированного отбора воды в узлах при авариях. Данный метод является приближенным, так как позволяет лишь ориентировочно проверить, сможет ли источник питания гарантировать подачу фиксированного отбора при обеспечении минимально допустимого свободного напора в диктующих точках сети.

Метод, в основу которого положена предпосылка о том, что узлы отбора в аварийных режимах эксплуатации представляют собой элементы с регулируемыми параметрами (С.В. Сумароков), является достаточно сложным и громоздким и он не учитывает, что потребитель не получает воды, когда создаваемый у него напор в сети будет менее высоты расположения водоразборной арматуры.

З основу предлагаемого метода поверочного расчета сетей положена предпосылка о том, что в узлах отбора воды, имеющих избыточный свободный напор при авариях, потребитель, отбирая воду в режиме регулирования, будет поддерживать свой расход на расчетном уровне.

При наличии приоритетных потребителей воды в системе требуется определять возможность систем гарантировать (без регулирования или посредством регулирования пьборов) требуемый уровень обеспеченности расхода у приоритетных потребителей. предложенная методика поверочных гидравлических расчетов позволяет обеспечить водой в требуемом объеме приоритетных потребителей путем уменьшения водоотбора в допустимых пределах у неаприоритетных потребителей.

З пятой главе описаны мероприятия по повышению надежности подачи воды из подземных водозаборов для 3 реальных объектов.

З ходе строительства водозабора “Дальний”, служащего для гарантированного обеспечения водой г. Ленинска и состоящего из 78 скважин (64 рабочих и 14 резервных), было признано, что невозможно обеспечить стабильную параллельную работу скважинных электронасосных агрегатов на общий напорный трубопровод. Поэтому согласно выданному проекту подача воды осуществлялась от каждой группы (6-8) скважин по двум напорным водоводам, прокладываемым параллельно друг другу (на каждую нитку работает 3-4 скважины) до врезки в самотечный коллектор. В результате схемных решений различных вариантов устройства напорной сети был принят к реализации вариант, в котором группа 6-8 скважин работает на одну напорную нитку.

Выполненные расчеты по определению диаметров напорных водоводов, с учетом требований завода-изготовителя погружных насосов и наличия у подрядчика сортамента водопроводных чугунных труб, позволили указать минимальные значения диаметров, при которых будут выполняться требования по нормальному функционированию водозабора при отключении на отдельных линиях до 50% скважин. увеличение диаметров напорных линий на один типоразмер приведет к еще более

стабильной работе каждой скважины и возможности отключения на линии до 70% скважин.

Реализация предложенного варианта позволила сократить капитальные затраты на строительство на 3,4 млн. руб. и металлоемкость на 15 тыс. тонн.

При рассмотрении ряда схемных решений водозабора объекта МО, состоящего из 10 артезианских скважин (7 рабочих и 3 резервных) было предложено сгруппировать скважины в 3 зонах: по 3 скважины в 2 зонах и 4 скважины в 3-ей зоне. В каждой из 3-х зон водозабора предусматривается одна резервная скважина. В случае аварийного отключения двух или более скважин в зонах отключения по расходу от расчетного уровня не превышает 21%. Данное решение обеспечивает стабильную работу насосного оборудования, повышает его долговечность, снижает вероятность появления в системе водозабора гидравлических ударов. Результаты работы были использованы институтом Ленводоканалпроект при проектировании группового водозабора подземных вод (1 скважин) для г. Резекне.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих методик гидравлического расчета совместной работы насосов и водоводов, показал, что учитываются не все факторы существенно влияющие на конечные результаты - подачу необходимых расходов (объемов) воды, и это затрудняет поиск и выбор наиболее рациональных решений при проектировании новых реконструкции и эксплуатации действующих напорных систем водоснабжения. Наибольшие затруднения возникают в системах групповых водозаборов подземных вод, которые имеют специфические особенности; большое количество насосных станций в системе, параметры которых взаимосвязаны с общими гидравлическими условиями; большое количество режимов функционирования системы, что связано с наличием резервных скважин, расположенных на значительной площади водосбора; технические ограничения, налагаемые на систему в целом и на ее отдельные элементы (диапазон колебания расходов и др.).

Поиск рациональных решений при проектировании или эксплуатации ведется на основании результатов поверочных расчетов, путем анализа режимов работы системы.

2. Для определения расчетной производительности насосов при проектировании системы подачи воды обоснована и рекомендована методика расчета с использованием коэффициента стабильности, который показывает допустимую величину отклонения от расчетных параметров, т.е. характеризует область устойчивого функционирования системы. Эти же подходы могут быть использованы для поиска оптимальной производительности отдельных насосных агрегатов в период эксплуатации системы, когда возникает необходимость выключать из работы тот или иной напорный агрегат (ту или иную скважину).

3. Даны аналитические обоснования и предложены математические зависимости для нахождения рабочих характеристик насосов.

4. Предложены новые подходы к учету технологической надежности.

5. Предложена математическая модель для определения диаметров трубопроводов с учетом технологической надежности системы.

6. Предложено решение, обеспечивающее повышение надежности водозабора за счет подключения скважинных трубопроводов к водоводу через герметичную напорную емкость, что позволяет снизить колебания напоров в системе водозабора, стабилизировать режимы насосов. Новизна решения зашифрована авторскими свидетельствами на изобретения.

7. Даны рекомендации по схемным решениям водозаборов подземных вод.

8. Для практического использования предложенных расчетных зависимостей и методики расчета составлены вспомогательные графики и номограммы, позволяющие существенно сокращать время на поиск наиболее рациональных решений.

9. Результаты научных разработок использованы при устройстве водозаборов подземных вод объекта "Дальний", при проектировании группового водозабора подземных вод (9 скважин) для г. Резекне - Ген. проектировщик Ленводоканалпроект. Реализация рекомендуемого решения позволила снизить сметную стоимость

строительства на 3,4 млн. руб. (в ценах 1984 г.) и сэкономить около 15 тыс. тонн металла.

Предложенный метод расчета включен в нормативный документ ВСН 24-87 "Нормы по оценке надежности оборудования систем водоснабжения и водоотведения".

Основные полученные результаты опубликованы в следующих работах:

1. Поверочные расчеты при оценке надежности гидравлических систем (соавтор Ю.А. Ильин) // Межвузовский тематический сборник трудов ЛИСИ "Новые разработки систем водоснабжения хозяйственно-питьевого и производственного назначения". Л., 1987, с. 5-11.
2. Способ повышения скорости сходимости процесса увязки при поверочных гидравлических расчетах (соавторы Н.А. Жданова, Ю.А. Ильин) // Межвузовский тематический сборник трудов ЛИСИ "Вопросы проектирования и эксплуатации систем водоснабжения". Л., 1988, с. 105-108.
3. О параллельной работе насосов и водоводов (соавтор Ю.А. Ильин) // Межвузовский тематический сборник трудов "Повышение эффективности работы систем водоснабжения, очистки природных и сточных вод". Л., 1991, с. 13-19.
4. Авторское свидетельство № 1278411 "Волозабор подземных вод", от 22.08.1986 (соавтор Ильин Ю.А.).
5. Авторское свидетельство № 248565 от 02.02.1987 г.
6. Авторское свидетельство № 3214372 от 29.01.1985 г.
7. Авторское свидетельство № 3265748 от 01.12.1987 г.
8. ВСН 24-87. Нормы по оценке надежности оборудования систем водоснабжения и водоотведения. Мин. обороны СССР, М., 1989 г. (в соавторстве)

Л.Р. № 020717 от 02.02.1998

Подписано в печать 15.03.2000 Усл. печ. л. 1.0. Печать офсетная Тираж 100 экз. Заказ № 21