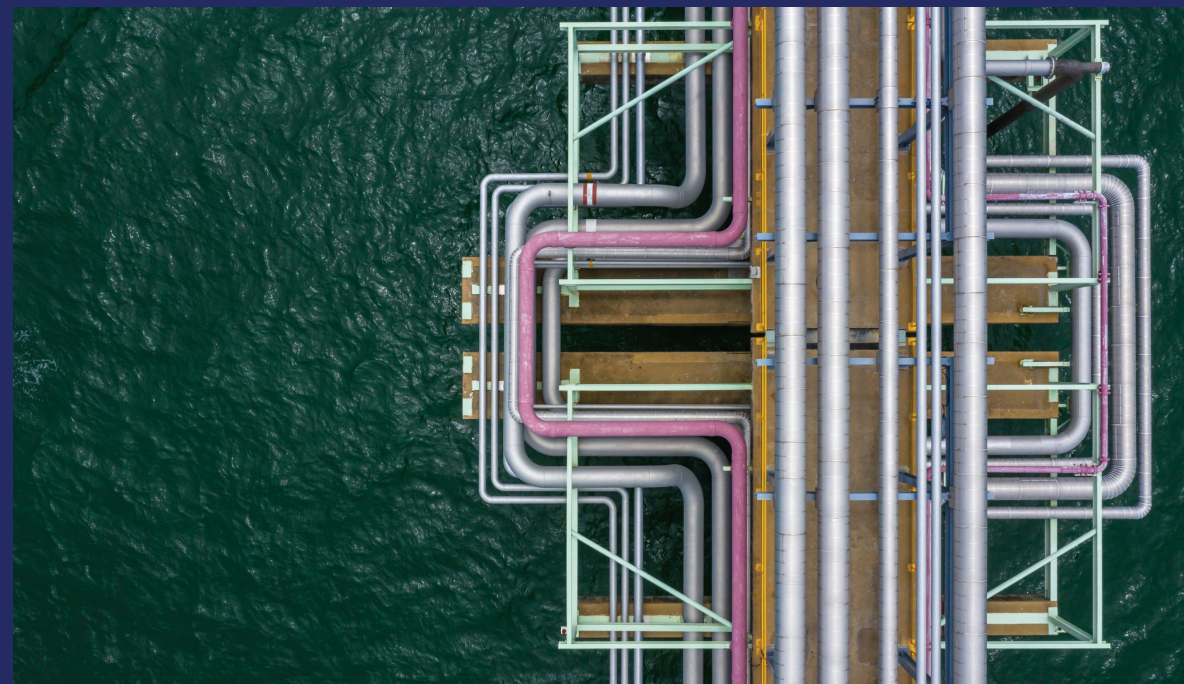


В монографии приводятся подробный обзор ранее проведенных исследований и новые результаты полученные авторами по развитию теоретических основ расчета системы подачи и распределения воды входящих комплексы питьевого водоснабжения. Анализируются основные теории, модели, методы расчета систем подачи распределения воды, в условиях различных ограничений и требований нормативных документов, а также изменяющихся многочисленных воздействующих факторов. Приводятся традиционные и новые методы расчета системы подачи и распределения воды питьевого водоснабжения.

Монография рассчитана для проектировщиков, научных работников, докторантов, магистрантов и специалистов-практиков отрасли водоснабжения. Она также является полезной литературой для студентов, обучающихся по соответствующим направлениям высшего образования.



Абдулхаким Салохиддинов
Андрей Савицкий
Ольга Аширова

Теория и расчет систем подачи и распределения воды

Салохиддинов Абдулхаким Темирхужаевич, доктор технических наук, профессор
Савицкий Андрей Георгиевич, кандидат технических наук
Аширова Ольга Александровна PhD

Салохиддинов, Савицкий, Аширова



**Абдулхаким Салохиддинов
Андрей Савицкий
Ольга Аширова**

Теория и расчет систем подачи и распределения воды

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

**Абдулхаким Салохиддинов
Андрей Савицкий
Ольга Аширова**

**Теория и расчет систем подачи и
распределения воды**

FOR AUTHOR USE ONLY

LAP LAMBERT Academic Publishing

Imprint

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: www.ingimage.com

Publisher:

LAP LAMBERT Academic Publishing

is a trademark of

International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group

17 Meldrum Street, Beau Bassin 71504, Mauritius

Printed at: see last page

ISBN: 978-620-2-81610-6

Copyright © Абдулхаким Салохиддинов, Андрей Савицкий, Ольга Аширова

Copyright © 2020 International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group

FOR AUTHOR USE ONLY

**САЛОХИДДИНОВ А.Т., САВИЦКИЙ А.Г.,
АШИРОВА О.А.**

**ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ СИСТЕМ ПОДАЧИ И
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ**

FOR AUTHOR USE ONLY

ВВЕДЕНИЕ

Развитие населенных пунктов сельского хозяйства неразрывно связано с использованием воды, потребление которой происходит во все расширяющихся масштабах. Соответственно улучшение качества жизни для населения сельских регионов подразумевает постоянный доступ к питьевой воде.

Своевременное и беспереывное обеспечение населения водой требуемого качества с необходимым напором является основной целью системы водоснабжения.

В настоящее время многочисленные типы водопотребителей предъявляют к воде требования, различные как в количественном, так и в качественном отношении. Нарастающие объемы водопотребления и ухудшение качества водных ресурсов под влиянием природных и антропогенных факторов приводит во всем мире к количественному и качественному дефициту воды. Поэтому в современных условиях требуется комплексный подход к решению задач водоснабжения, учитывающий интересы различных групп потребителей воды, рационального ее использования, предусматривающий разработку мероприятий по охране источников от загрязнения и истощения, совершенствования систем водоснабжения, использование научно обоснованных норм водопотребления, разработку маловодных и безводных технологических процессов и др.

Современная система сельскохозяйственного водоснабжения представляет собой комплекс сложных инженерных сооружений по добыче, обработке, хранению, подаче и распределению воды между потребителями. Требования к качеству проектов систем сельскохозяйственного водоснабжения постоянно возрастают. Это связано с увеличением числа водопотребителей, регулирующих

емкостей, нерегулируемым водопотреблением, постоянно протекающими переходными процессами, развитием и реконструкцией систем и сооружений, возможными пиковыми нагрузками и отказами элементов системы. Системы водоснабжения становятся еще более сложными и запутанными вследствие подсоединения к ним новых и новых участков по доставке воды вновь возникающим водопотребителям. Сети водоснабжения становятся такими сложными, что тривиальный ручной расчет их гидравлических характеристик начинает требовать неприемлемых затрат во времени и ресурсах, что создает все возрастающую проблему.

Решение этой проблемы становится возможным на основе автоматизации проектирования систем водоснабжения при рациональном распределении функций между человеком и ЭВМ.

В современных условиях в ведении служб сельскохозяйственного водоснабжения находятся трубопроводные системы, построенные несколько десятилетий назад и находящиеся в неудовлетворительном состоянии. В настоящее время на процесс эксплуатации инженерных сетей наиболее ощутимое влияние оказывает внутренний – износ существующих сетей и сооружений коммуникаций и оборудования. Техническое состояние действующих инженерных систем представляет собой значительную угрозу социального и экономического характера. Ответ на вопрос - насколько можно дополнительно нагрузить уже существующие сети и где необходимо провести реконструкцию, уже не может решаться методом экспертных оценок в связи с возможностью неэффективного использования неограниченных сил и средств.

Поэтому особое значение приобретают исследования по поиску оптимальных решений при проектировании (планировании) новых, или реконструкции уже существующих сетей водоснабжения, сетевой идентификации при недостатке или неопределенности исходных данных. При решении данного класса задач основная проблема заключается в

построении адекватной модели инженерной системы, учитывающей большое количество факторов влияющих на её работу в условиях неопределенности. Для реальных инженерных объектов как системы подачи и распределения воды, процесс выбора подлежащих замене элементов не может быть четко унифицирован и сведен к решению одной конкретной задачи. Более того, достаточно сложной задачей является построение последовательной универсальной цепочки взаимодействия математических задач, решение которых позволило бы рассматривать процесс составления плана реконструкции системы подачи и распределения воды как детерминированный. Тем не менее, используя последние достижения мировой науки в области решения оптимизационных задач, удалось:

- разработать модели по оптимизации и реконструкции сетей водоснабжения;
- проверить путем сравнения в режимах имитации адекватность и правильность построенных моделей;
- довести разработанное программное обеспечение до возможности использования его на любых произвольных системах водоснабжения;
- довести разработанное программное обеспечение, до пользовательского уровня создав дружественный интерфейс доступа к моделям и исходным данным;
- собрать полученные модели (описание и открытый, доступный для использования многократно проверенный код с комментариями по всему тексту), примеры расчетов, весьма полезны, но вспомогательный исполняемый модуль (редактор схем), инструкции к использованию на лазерный диск, превратив его в легко копируемый инструмент поиска оптимальных решений при проектировании и реконструкции сетей водоснабжения.

ГЛАВА 1. ОБЗОР РАНЕЕ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ В КОМПЛЕКСЕ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

1.1. Изученность проблемы

В условиях нарастающего дефицита, прогрессирующего ухудшения качества ограниченных водных ресурсов и быстро растущих и конкурирующих потребностей на воду, устойчивое управление и рациональное использование водных ресурсов, охрана их от загрязнения является актуальной проблемой обеспечения регионального устойчивого социально экономического развития. Узбекистан как страна с самой большей численностью населения и расположенная в низовьях основных рек ощущает последствия водно-экологических проблем в наибольшей степени. Поэтому в республике принимаются широкомасштабные меры по водосбережению, повышению продуктивности воды, при этом особо уделяется внимание обеспечению развития водоснабжения населения на современном уровне. В результате уменьшился забор свежей воды на нужды промышленности и сельского хозяйства, возросла роль оборотного водоснабжения, уменьшился сброс загрязненных стоков. Несмотря на рост потребности на воду благодаря проводимым мерам водозабор в республике уменьшился с 63 куб км (1990г) до 51 куб км (2012г). Однако, рост потребности на воду, интенсивные воздействия природных и антропогенных факторов на водные ресурсы значительно усложнили проблему развития водоснабжения населения. Потеря и истощение источников водоснабжения, устранение и отказы систем, подача воду с перерывами по графику, не обеспечение расхода, качества и напора воды, низкая эффективность работы – все это неполный перечень проблем связанных в системами водоснабжения, что являлся основанием проведения многочисленных исследований в течении многих лет в поиске их решений.

Использование достижений научно-технического прогресса позволит интенсифицировать работу систем и сооружений водоснабжения, сократить строительные затраты и эксплуатационные расходы, повысить производительность труда и экономить материальные и трудовые ресурсы.

Широкое внедрение вычислительной техники позволяет решать задачи проектирования и эксплуатации на качественно новом уровне, обеспечивающем требования экономичности и надежности. К таким задачам следует отнести гидравлические расчеты систем подачи и распределения воды, расчеты по защите трубопроводов от гидравлических ударов, выбор оптимальных режимов работы, как отдельных элементов, так и всей системы в целом и ряд других сложных задач.

Вопросами оптимизации систем подачи и распределения воды, а также технико-экономическими расчетами водоводов и водопроводных сетей издавна интересовались ученые различных стран, которые посвятили данной проблеме многочисленные труды и исследования.

Расчет системы подачи и распределения воды в системах водоснабжения, и в системах сельскохозяйственного водоснабжения особенно является одной из трудоемких и построенных на определенных допущениях частью работ при проектировании их развития и реконструкции. Это связано со сложностью и многофакторностью расчетов. Существующие теоретические основы недостаточно развиты и методы расчета имеют существенные недостатки. За рубежом и у нас в республике в основном решались отдельные задачи по развитию теоретических основ и совершенствованию методов расчета, где учитывались некоторые аспекты рассматриваемого вопроса. В данной научно-исследовательской работе, учитывающий все вышеприведенные факторы, предпринят совершенно новый обобщенный подход.

Следует отметить, что для решения научных и инженерных вопросов водопроводной техники много сделали ученые и инженеры: Жуковский Н.Е., Зимин И.П., Игнатов К.М., Тимонов В.Е., Черепашинский Ш.И., Чижов Н.К. и др. Многие задачи теории и практики водоснабжения решили советские ученые: Абрамов Н.Н., Азерьер С.Х., Бочевер В.М., Гениев Н.Н., Кашкаров Н.А., Клячков В.А., Лобачев В.Г., Малишевский Н.Г., Турчинович М.Т. и многие другие. Большой вклад в развитие теории и практики водоснабжения вносят ученые и инженеры ведущих научно-исследовательских, проектных и других организаций – ВНИИ ВОДГЕО, Гидропроект и многие другие отраслевые институты и ведомства нашей Республики.

Проблемами, совершенствования методов расчета систем подачи и распределения воды в системах сельскохозяйственного водоснабжения занимались такие исследователи, как Абрамов Н.Н., Абелев А.С., Оводов В.С., Сомов М.А., Андрияшев М.М., Ильин В.Г., Пашенков Я.М., Карамбиров Н.А., Грибанов И.П., Юшманов О.Л., Латипов К.Ш., Широков М.В., Вербицкий А.С. и многие другие.

Наилучших результатов при исследованиях системы подачи и распределения воды в системах сельскохозяйственного водоснабжения достигали, рассматривая математическую проблему как большую сложную открытую динамическую систему.

Пользователи, потребляя воду, не возвращают её обратно, что характерно для открытых незамкнутых систем. Динамичность системы подачи и распределения воды определяется, с одной стороны, её развитием и реконструкцией, с другой – переходными процессами при включении – выключении насосов и узлов управления и изменении водопотребления в аварийных ситуациях[45].

Стохастичность характеризуется: нерегулируемым случайным процессом отбора воды потребителями, процессами износа и старения, а также природными факторами, аварийностью и износом оборудования.

Петриченко Р.Н., Батурин С.Л., Исаков Ю.Н и другие [45] выделяют следующие основные отличительные признаки сложных систем:

- многообразии выполняемых функций;
- сложный разветвленный характер взаимодействий между элементами;
- возможность выполнять поставленные задачи различными средствами;
- сложная, разветвленная система управления;
- зависимость характеристик системы от взаимодействия с внешней средой;
- наличие тенденции временного ухудшения характеристик.

По данным группы ученых Светлов В.Я., Яковлев С.А., Евдокимов А.Г., Зайко В.А.[35,36,49], исследования подобных систем привели к созданию особой методологии – системного подхода, который предполагает последовательный переход от общего к частному, когда в основе рассмотрения лежит цель, причем исследуемый объект выделяется из окружающей среды.

Современная система водоснабжения представляет собой комплекс инженерных сооружений по добыче, обработке, хранению, подаче и распределению воды между потребителями. Требования к качеству проектов систем водоснабжения постоянно возрастают. Это связано с увеличением числа водопотребителей, регулирующих емкостей, нерегулируемым водопотреблением, постоянно протекающими переходными процессами, развитием и реконструкцией систем и сооружений, возможными пиковыми нагрузками и отказами элементов системы. Структура сооружений подачи и распределения воды всегда уникальна, являющаяся уникальной для почти каждого объекта водоснабжения. Вместе с тем, Абрамовым Н.Н., Эгильский И.С., Хоружий П.Д.[1,120,121]сделали попытки выделить характерные элементы, образующие структуру системы подачи и распределения воды и определить какое-то единообразие:

- одна насосная станция подает воду в сеть или изолированную зону сети;
- несколько насосных станций работают на сеть;
- несколько отдельно расположенных скважин подают воду в сеть;
- насосная станция подает воду в сеть через напорный резервуар;
- насосная станция подает воду в сеть, в конце которой расположен контррезервуар;
- на сети имеются станции подкачки и узлы регулирования с безнапорным резервуаром и подкачивающей насосной станцией.

Процесс функционирования распределение воды в системах водоснабжения можно представить в виде смены различных состояний, характеризуемых величиной водопотребления и техническим состоянием входящих в нее элементов. Данный подход был обоснован в работах Абрамова Н.Н., Вербицкого А.С., Ильина Ю.А. [3,21,22,23,38,39].

В качестве управляющих воздействий могут быть выбраны:

- Изменение режимов работы насосных станций и регулирующих емкостей;
- Изменение графиков подачи воды отдельным крупным водопотребителям;
- Изменение структуры распределение потоков и регулирование напоров воды путем включения и отключения отдельных перепусков и перемычек.

Кроме воздействия на условия работы системы путем изменения количества работающих насосов, в практике управления используется метод дросселирования задвижек на напорных коллекторах насосных станций и отдельных магистральных водоводах. Дросселируемая задвижка на участке сети позволяет менять гидравлическую характеристику этого участка и управлять потокораспределением в системе. Этот прием широко используется в процессе регулирования водопроводных систем [36].

В работах Бахрамова У., и Вербицкого А.С. [14,15] предложена стохастическая модель для управления потокораспределением в инженерных сетях (только расходы участков) на основе аналогии с электрическими сетями.

Водопроводная сеть подает воду непосредственно к водоразборным устройствам, через которые население получает воду. Следовательно, режим работы сети в целом определяется режимом водоразбора и может характеризоваться тем же графиком водопотребления.

При работе любой напорной системы водоподачи, в том числе и водоснабжения, её параметры непрерывно изменяются. Эти изменения связаны с выключением или отключением ряда водопотребителей, начальным заполнением системы водой, включением или отключением некоторых насосов, аварийными ситуациями и т.д. Поэтому деление процессов на стационарные весьма условно, что также подтверждается в работах Вишневого К.П., Бахрамова У., Вербицкого А.С., Николадзе Г.И., Сомова М.А., Андрияшева М.М. и др. [7,25,71]. При обычных режимах работы системы, принимаемых стационарными, изменение параметров относительно невелики и их можно не учитывать.

При переходном процессе происходит быстрый переход из одного условно стационарного состояния в другое, сопровождающийся значительными отклонениями параметров от стационарных [71].

Теория гидравлического удара с учетом упругих свойств трубопровода и движущейся по нему жидкости была заложена Жуковским Н.Е.

В соответствии с формулой Н.Е. Жуковского максимальное повышение напора при закрытии задвижки может составить

$$\Delta H = c \cdot v_0 / g, \quad (1.1)$$

где, c – скорость распространения звука (волн) в трубе;

v_0 – начальная скорость движения воды;

g – ускорение свободного падения.

Однако, такое повышение давления будет лишь в том случае, когда время закрытия задвижки $t_{не}$ больше удвоенного времени распространения волн по длине трубопровода $t \leq 2l_{mp} / c$. При выполнении этого условия гидравлический удар называется прямым [25,71]. В большинстве случаев можно установить такой режим закрытия запорной арматуры, чтобы значительного повышения давления при этом не происходило.

Проблемами возникновения переходных процессов в напорных системах водоподачи занимались Андрияшев М.М., Вишневский К.П., Николадзе Г.И., Сомов М.А., Хоружий П.Д., Мошнин Л.Ф., Тимофеева Е.Т. и др. [7,25,71,118]. Наиболее частой причиной возникновения переходных процессов в напорных системах водоподачи является аварийное отключение электродвигателей насосных агрегатов.

Переходные процессы, связанные с отключением насосов, начинаются с распространения по трубопроводам волн понижения давления. Однако давление может уменьшиться лишь до давления насыщенных паров воды, зависящего от температуры. Дальнейшего снижения давления происходить не будет, поэтому скорость движения колонны воды на участке трубопровода до места образования насыщенных паров станет меньше скорости после него. Образовавшееся пространство между колоннами воды будет заполняться парами воды и выделившимися из нее газами. Таким образом, происходит образование кавитационного разрыва сплошности потока воды в трубопроводе. При изменении направления движения колонны начнут сходить, вплоть до соударения, сопровождающегося резким повышением давления, которое может быть больше, чем при отсутствии разрыва сплошности потока. Мошнин Л.Ф. получена формула, определяющая предельное повышение напора в трубопроводе в условиях образования разрыва сплошности потока [7, 25, 71, 118]:

$$H_{\max} = c \cdot v_0 / g + 3H_{ст} \quad (1.2)$$

где, $H_{ст}$ – статический напор.

При выводе этой формулы не учитывались потери напора в трубопроводе и инерция насосных агрегатов, поэтому в большинстве случаев напор, определенный по ней, значительно превышает фактический [25, 71].

Впервые метод расчета гидравлического удара в сложных трубопроводных системах был предложен Спарром Д.[118]. В дальнейшем широкое распространение получил метод Шнидера-Бержерона [19].

В настоящее время появилась возможность решать подобные задачи в общем виде. Основой для такого решения служат численные методы и, в первую очередь, метод характеристик.

По расчетам переходных процессов в напорных системах водоподачи занимались такие ученые как Алышев В.М., Лямаев Б.Ф., Небольсин Г.П., Нелюбов В.А., Чарный И.А., Мошнин Л.Ф., Тимофеева Е.Т. и др [6, 60, 118, 119]. Расчеты переходных процессов в напорных системах водоподачи связаны, в первую очередь, с решением задач с неустановившимся движением воды в трубопроводах. При расчетах переходных процессов необходимо учитывать: потери напора в трубопроводах на трение и местные сопротивления; упругость материала стенок труб и сжимаемость жидкости; наличие в воде нерастворенного и растворенного воздуха; возможность образования кавитационных разрывов сплошности потока; действие различной арматуры, установленной на трубопроводах, а также насосных станций и резервуаров.

Для решения задач, связанных с переходными процессами в напорных системах водоподачи, наиболее популярным является численный метод характеристик и др. Проблемами, связанными с

переходными процессами в напорных системах водоподачи также занимались такие исследователи как Вишневецкий К.П., Фокс Д.А., Лямаев Б.Ф., Небольсин Г.П., Нелюбов В.А. и др. [25, 60, 119].

Вишневецким К.П. разработана и реализована на ЭВМ одна из первых методик расчета переходных процессов в гидравлических системах, главным образом, мелиоративного назначения [25, 45, 71].

Методикой учитывается большинство факторов, влияющих на переходные процессы:

- конфигурация системы;
- длины, диаметры и материал трубопроводов;
- отметки и отборы воды в узлах системы;
- скорости распространения ударных волн в трубопроводах;
- разрывы сплошности потока;
- характеристики насосов, электродвигателей и трубопроводной арматуры.

При этом процесс изменения частоты вращения роторов насосных агрегатов, определяется выражением[25]:

$$I \frac{d\omega}{dt} = M_D - M_H \quad (1.3)$$

и используются в виде граничных условий.

Здесь, $d\omega/dt$ – угловое ускорение ротора;

I – момент инерции вращающихся масс насосного агрегата;

M_D – момент, разрываемый электродвигателем;

M_H – момент, потребляемый насосом (момент сопротивления).

Следует упомянуть граничные условия, создаваемые водовоздушными баками, где процесс сжатия и расширения воздуха принят изотермическим.

Данная методика разрабатывалась применительно к мелиоративным напорным системам, прежде всего к крупным насосным станциям, которые подают воду в открытые емкости и к закрытым

оросительным сетям, где вода подается от насосной станции в разветвленную сеть и дальше, к дождевальным машинам. Применения данную методику для расчета кольцевых систем водоснабжения не позволяют.

В целом, методика Вишневого К.П. [7, 25, 71, 118], являясь одной из первых, реализованных методики на ЭВМ, позволяет учесть множество факторов, влияющих на протекание переходных процессов в напорных трубопроводных системах и решить ряд задач связанных с этим процессом.

Вместе с тем, совершенствование расчетных моделей можно дополнить с использованием дополнительных граничных условий или агрегированием нескольких из них в пределах одной расчетной единицы (участка или узла).

Наряду с этим учет факторов неопределенности в расчете переходных процессов имеет большое практическое значение. Для этого к приближенным значениям стационарного режима добавляется неоднозначность параметров не стационарности, т.е.: – скоростей звука по участкам сети (по некоторым данным от 450 до 1000м/с [16, 25]; времени срабатывания и характеристик противоударной арматуры, учета диссипативных членов и т.д.

При проектировании напорных систем водоподачи за расчетное давление принимается величина, не меньшая максимального рабочего давления при нормальных условиях работы.

Вместе с тем, при эксплуатации системы подачи и распределения воды имеют место нестационарные процессы, возникновение которых связано с закрытием запорной арматуры, заполнением трубопроводов водой, отключением или включением отдельных потребителей, насосов, напорно-регулирующих емкостей, авариях на трубопроводах и т.д.

Резкие колебания давления (гидравлический удар), как показывает опыт эксплуатации, могут привести к разрушению сети, поломкам

трубопроводной арматуры, насосов и даже к полному выходу из строя насосной станции. Аварии, возникающие при гидравлических ударах, наносят существенный экономический ущерб, вследствие затрат на их ликвидацию и перерывов в подаче воды.

Переходные процессы в напорных системах водоснабжения имеют специфические черты, связанные с:

- наличием кольцевых структур в топологии сети;
- распределением водопотребителей и стохастическим характером разбора воды;
- возможностью включения высоконапорных пожарных насосов;
- недопустимостью длительного перерыва в подаче воды и попадания загрязнений в сеть через повреждения в стенках трубопроводов;
- наличием напорно–регулирующих сооружений, являющихся источниками отраженных волн;
- возможностью подсоса воздуха через водоразборную арматуру при понижении давления в сети, ниже атмосферного.

При работе водопроводных систем часто возникают переходных процессов, что создает трудности при выборе разработанных мероприятий и средств борьбы с гидравлическими ударами, а также с рациональным размещением этих средств на системе.

Широко известны работы посвященные к этим проблемам таких авторов, как Алышев В.М., Андрияшев М.М., Буниатян Б.Л., Виссарионов В.И., Вишневыский К.П., Дикаревский В.С., Картвелишвили Н.А., Картвелишвили Л.Н., Кривченко Г.И., Лямаев Б.Ф., Манджавидзе Н.Ф., Мелконян Г.И., Мишуев А.В., Мошнин Л.Ф., Небольсин Г.П., Нелюбов В.А., Сурин А.А., Чарный И.А., Уссаковский В.М., Аллиев Л., Бержерон Л., Пирсол И., Фокс Д., Стритер В., Шнидер О., Салохиддинов А.Т., Махмудов И.Э., Махмудова И.М., Савицкий А.Г. и многих других.

Ряд решение и разработок для сложных напорных систем получены в работах: Мостовым М.А., Картвелишвили Н.А., Суриным А.А., Чарным

И.А., Ливундовым И.Ф., Мошниным Л.Ф., Асатуром К.Г., Вишневым К.П., Мишуевым А.В., Смирновым Д.Н., Дикаревским В.С., Мостовым А.Ф., Кривченко Г.Н. и др.

Поскольку реализация расчета переходных процессов в сложных инженерных сетях немислима без применения ЭВМ. При этом возникает проблемы разработка программного продукта на ЭВМ и ее реализации для решения конкретных задач.

До сих пор расчет переходных процессов осуществляется в рамках отдельной программной единицы, зачастую не связанные со стационарным расчетом и требующие дублирования значительной части исходных данных.

Ввод исходных данных по-прежнему остается трудоемкой задачей, и требует использование возможности современного графического интерфейса. Это приводит к необходимости изменения топологии сети, неизбежной при расчете переходных процессов, и получения нового стационарного решения, требуемого для начальных условий. В силу этого, расчета нестационарных течений в ряде случаев не является обязательным и носит рекомендательный характер.

Существующие программные продукты на ЭВМ не всегда предоставляют всю интересующую информацию в доступном для восприятия виде. Так как кроме получения графиков протекания процесса в заданных расчетных точках, необходимо иметь информацию в целом по системе, чтобы выявить её «узкие места». В перспективе расчет переходных процессов может входить в многокритериальную задачу оптимизации инженерных сетей по их основным параметрам.

Таким образом, при проектировании и эксплуатации систем подачи и распределения воды, кроме расчетов стационарных режимов, необходимо выполнять расчеты переходных процессов с разработкой системы мероприятий, уменьшающих негативные последствия гидравлического удара.

Проведение таких расчетов с достаточной для практических целей точностью связано с очень большими объемами вычислений, поэтому выполнять их без применения современной вычислительной техники невозможно.

Изменения параметров системы при переходных процессах описываются уравнениями движения воды в трубопроводах, уравнениями вращательного движения ротора насосных агрегатов, уравнениями изменения массы и давления воздуха в системе и т.д. Большая часть задач динамики напорных трубопроводов связана с распространением волны в жидкости так и трубопроводах, длина которых по много раз превышает поперечные размеры трубы. Для исследования этих волн достаточна одномерная идеализация, оперирующая со средними по сечению величинами.

Выбор оптимальных параметров (диаметров труб и напоров), а также мест расположения и характеристик сетевых сооружений системы заданной или выбранной (на предыдущем этапе) схемы сети, составляет основную задачу проблемы комплексной оптимизации систем водоснабжения [108].

В более узком смысле задача сводится к нахождению распределения потоков и диаметров трубы, которые отвечали бы наибольшей экономичности, как сети, так и связанных с ней насосных станций и регулирующих ёмкостей при соблюдении требований надёжности [45, 50].

Для случая водовода (с отбором воды в ряде промежуточных точек), приведённые затраты будут иметь вид:

$$P_{np} = (1/T_{ок} + R/100) \cdot \sum (a + b \cdot d_{ik}^\alpha) \cdot l_{ik} + P \cdot (H_0 + \sum \kappa \cdot q_{ik}^\beta \cdot l_{ik} / d_{ik}^m) \cdot Q, \quad (1.4)$$

где, d_{ik} и l_{ik} - диаметр и длина отдельных участков водовода; q_{ik} - расход воды участка водовода; κ - коэффициент потерь напора, $T_{ок}$ - расчетный период; R - фильтрационное сопротивление пласта; коэффициенты a , b и α зависят от вида труб; H_0 - геометрическая высота подъема воды; P -

давление; Q – полный расход, поступающий в водовод; β и m – показатели степени при расходе и диаметре; коэффициенты a , b и α зависят от вида труб, глубины их укладки, вида грунта, способа укладки, наличия грунтовых вод и т.д.

При этом давление воды и оптимальные значения диаметра трубопровода d_{ik} можно определить по формуле:

$$P = T \cdot \sigma \cdot \gamma / (102\eta) \quad (1.5)$$

$$d_{ik} = \mathcal{E}^{1/(\alpha+m)} \cdot Q^{1/(\alpha+m)} \cdot q_{ik}^{\beta/(\alpha+m)} \quad (1.6)$$

Здесь, σ - стоимость 1 кВт ч электроэнергии, потребляемой насосными агрегатами, γ - коэффициент неравномерности расходования энергии в течение расчётного периода $T=365*24$ (час); η - КПД насосной станции.

Экономический фактор (\mathcal{E}), характеризующий условия строительства и эксплуатации системы водоснабжения определяется:

$$\mathcal{E} = \frac{8760 \cdot \sigma \cdot \gamma \cdot \kappa \cdot m}{102 \cdot \eta \cdot \alpha \cdot b(1/T_{ок} + R/100)} \quad (1.7)$$

Вычисленные экономически наивыгоднейшие диаметры, как правило, не соответствуют стандартным диаметрам труб, выпускаемых промышленностью. Для выбора стандартных наивыгоднейших диаметров труб используются понятие «предельные» расходы, т.е. при которых приведённые затраты двух ближайших сортов труб будут близкими.

На практике пользуются таблицы предельных расходов, составленные для конкретных значений экономического фактора \mathcal{E} . В этих таблицах приведены верхняя и нижняя границы целесообразности применения каждого диаметра труб [71].

В случае кольцевой сети потокораспределение заранее не известно и задача сводится к определению условного экстремума функции P_{np} при

выполнении I и II законов Кирхгофа: $\sum q_{ik} + Q_i = 0$ для узлов и $\sum h_{ik} = 0$ для колец сети.

Однако, найденное потокораспределение в сети отвечает не минимуму, а максимуму функции P_{np} . Исследование функции P_{np} на экстремум показывает, что наивыгоднейшими с экономической точки зрения являются трубопроводные сети, имеющие конфигурацию в форме дерева [71, 109]. В полной мере это относится к вновь проектируемым системам. Однако, такая структура сети делает её наиболее уязвимой при авариях. Таким образом, найти одновременно экономически на выгоднейшие диаметры и определить расходы воды по линиям кольцевой водопроводной сети не представлялось возможным.

Поэтому, в этом направлении нами проводились определенные исследования в результате чего была достигнута удачное решение данной проблемы.

Если же задаться предварительным потокораспределением, экстремальные значения d_{ik} будут соответствовать $\min P_{np}$.

Таким образом, для получения экономически выгодных параметров участков сети требуется задать первоначальное потокораспределение, которое выбирается с учётом обеспечения надёжности системы. А это уже не совсем та оптимальность, которую хотелось бы достичь.

Для нахождения экономически выгодных диаметров участков водопроводной сети при заданном потокораспределении разработано различные методы.

Наиболее известным из классических методов оптимизации является метод Л.Ф.Мошнина [71, 109]. Исходной в методе является формула для затрат энергии на транспортирование расхода Q по простому участку сети без попутных расходов с потерями напора H : $\mathcal{E} = Q \cdot H$.

В более сложном случае водоводов с попутными расходами – разветвлённой и кольцевой сети, предлагается представить H как взвешенную сумму потерь напора по всем участкам сети:

$$H = \sum x_{ik} h_{ik} , \quad (1.8)$$

Показано, что коэффициенты x_{ik} можно определить, исходя из баланса расходов в узлах сети, рассматривая их как некоторые фиктивные расходы. Для кольцевой сети, имеющей m узлов, можно составить $m-1$ уравнений вида $\sum x_{ik} = 0$. Недостающие уравнения получаются из условия «увязки сети», т.е. из уравнений вида: $\sum h_{ik} = 0$. Число таких уравнений равно числу колец сети, а явное их выражение имеет вид:

$$\sum q_{ik}^{2\alpha/(\alpha+m)} \cdot l_{ik} \cdot x_{ik}^{m/(\alpha+m)} = 0 , \quad (1.9)$$

что представляет собой систему контурных уравнений увязки колец по фиктивным расходам x_{ik} . Величину $q_{ik}^{2\alpha/(\alpha+m)} \cdot l_{ik}$ можно рассматривать как фиктивное сопротивление S_{fik} , тогда $h_{fik} = S_{fik} \cdot x_{ik}^{m/(\alpha+m)}$.

После увязки сети по фиктивным расходам, отвечающим Iи II законам Кирхгофа, находятся значения x_{ik} .

Связь между коэффициентами x_{ik} и диаметрами линий имеет вид:

$$d_{ik} = \mathcal{E}^{1/(\alpha+m)} \cdot (x_{ik} \cdot Q)^{1/(\alpha+m)} \cdot q_{ik}^{\beta/(\alpha+m)} \quad (1.10)$$

Округление диаметров до их стандартных значений производится по таблице предельных расходов путём определения приведённых расходов:

$$q_{npik} = \left(\frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_T} \cdot \frac{Q \cdot x_{ik}}{q_{ik}} \right)^{1/(1+\beta)} \cdot q_{ik} , \quad (1.11)$$

где, \mathcal{E} – экономический фактор, определенный для конкретных условий строительства и эксплуатации; \mathcal{E}_T – экономический фактор, принятый при составлении таблиц предельных расходов. Этим методом Специальным подбором фиктивных расходов, притоков, и сбросов можно учесть наличие несколько источников воды, в том числе регулирующих ёмкостей, рельеф местности и др. При этом затруднён

учёт ограничений в форме неравенств, например, на величины напоров в узлах сети и у пользователей воды. Помимо этого, в полной мере не учитывается дискретность диаметров труб, входящих в формулу затрат по сети, имеющую вид двучленной аналитической зависимости. Последующее округление, в какой-то мере обесценивает результаты оптимизации.

Наряду с этим модернизация этого метода для решения задач реконструкции предложена Сомовым М.А. [105], в котором впервые реализован системный подход к решению задачи оптимизации водопроводной сети с учетом взаимодействия отдельных её элементов.

В практике проектирования приходится рассматривать систему водоснабжения в условиях постоянных и переменных режимов работы с учётом: поэтапного развития и реконструкции; зонирования; прокладки участков в одну или две нитки. При этом желательно выбирать диаметры линий непосредственно из стандартного ряда.

В настоящее время в практике расчета и оптимизации инженерных сетей, а также рационального использования водных ресурсов, успешно используются методы и алгоритмы, базирующиеся на результатах исследований Андрияшева М.М., Абрамова Н.Н., Белана А.Е., Белозорова Н.П., Вербицкого А.С., Гальперина Е.М., Дикаревского В.С., Евдокимова А.Г., Ильина Ю.А., Карамбилова Н.А., Кикачейшвили Г.Е., Койды Н.У., Курганова А.М., Майзельса М.П., Мерснкова А.П., Мордясова М.А., Мошнина Л.Ф., Найдено Б.В., Николадзе Г.И., Оводова В.С., Рожкова А.Н., Сидлера В.Г., Сомова М.А., Сумарокова С.В., Тевяшева В.Я., Фрога Н.П., Хасилева В.Я., Хоружего П.Д., Чупина В.Р., Шевелева Ф.А., Шопенского Л.А., Эгильского И.С., Кесслера А., Келли Э.и др.

Появление ЭВМ способствовало разработке программ по механизации расчетов известных методов технико-экономического расчета, созданных ранее применительно для ручного счета, что дало

возможность более широко прибегнуть к оптимизационным расчетам. Так, в работах А.Я. Ласиса разработан алгоритм технико-экономического расчета кольцевых водопроводных сетей, воспроизводящий метод «фиктивных расходов», предложенный Л. Ф. Мошниным. В работе Р. Каримова. “Использованием системы линейных уравнений”, метод «фиктивных расходов» был обобщен для решения задачи с учетом реконструкции и развития существующих систем водоснабжения. Был предложен ряд других программ. Однако механизация методов, разработанных для ручного счета, не давала сколько-нибудь удовлетворительных результатов.

Вопросам обоснования принятия решений по управлению водными ресурсами в условиях не стационарности и неопределенности природно – хозяйственных процессов, разработки методологии оценки и учета не стационарности гидрологических процессов при управлении водными ресурсами, созданию нового поколения имитационных и оптимизационных моделей и их программно–информационного обеспечения посвящены работы Воропаева Г.В., Исмайылова Г.Х., Федорова В.М., Демина А.П. и др.

1.2. Анализ существующих теорий и методик

Перед строительством любой сети водоснабжения всегда производятся расчеты процессов, которые будут развиваться в данной сети. Всегда данные результаты расчетов должны отражать реальность с той или иной точностью. Данная точность, как правило, определяется так называемой невязкой по водному балансу или по напорам. Появление ЭВМ и совершенствование вычислительных методов позволило производить данные расчеты быстрее избегая ошибок вызванных человеческим фактором.

Описывать здесь имеет смысл только системы способные рассчитать кольцевые схемы водоснабжения. Линейные системы

водоснабжения настолько просты для расчетов, что для их расчета достаточно простого калькулятора или минимальных знаний Microsoft EXCEL.

Программ для расчета кольцевых сетей великое множество.

Нам известны такие программные продукты как Eponet, Zulu, PLUMBING, а также неисчислимо количество (похожих и часто безымянных) программ(<http://lib4all.ru/base/B1881/B1881Part11-47.php#>).

Все они, тем не менее, алгоритмизируют давно разработанные ручные методы расчета детерминированных кольцевых схем. “Детерминированных” означает, что о сети водоснабжения известно все кроме расхода и напора. Самое главное, что заданы диаметры труб. Программ и моделей, где диаметр труб является равнозначной напорам и расходам переменной, подлежащей расчету, обнаружить не удалось. Рассмотрим примеры программных продуктов по расчету кольцевых систем водоснабжения, стоящих в списке наилучших. (<http://www.gis.su/products/product/show/81.htm>). Как и следовало ожидать, главный упор в данной программе делается на продвижение дружественного интерфейса по вводу и выводу детерминированной информации. Более того, осуществлена программная связь с ГИС (ArcMap 8 и выше). Сам же расчет есть алгоритмизация известных итерационных ручных методов расчета кольцевых сетей водоснабжения разработанных еще в первой половине прошлого столетия.

И это видно из описания (<http://www.rosteplo.ru/soft/4/136/>): “Расчеты ZuluHydro работают в тесной интеграции с Геоинформационной системой (ГИС) и выполнены в виде модуля расширения ГИС. Сеть водоснабжения весьма просто и быстро заносится в ГИС с помощью мышки или по координатам. При этом сразу формируется расчетная модель. Остается лишь задать расчетные параметры объектов и нажать кнопку выполнения расчета. Система также позволяет проводить совместный анализ данных, пересекать запросы к

данным с подмножеством графических данных, выполнять тематическую раскраску по семантическим данным (по величине потерь, по скорости движения воды, по принадлежности к источнику и другим), экспортировать табличные данные для анализа в Microsoft Excel. Выделение цветом по тем или иным параметрам позволяет сразу увидеть критические места в водопроводной сети”. Прекрасный интерфейс осуществляет доступ к детерминированной сети водоснабжения и обеспечивает выброс результатов в EXCEL и не более. Цена же лицензии более чем значительная – 2000 долларов США. По сути научная наполненность данного программного продукта это алгоритмизация известных итерационных расчетов детерминированных кольцевых систем.

Расчет так называемых “оптимальных” диаметров не совсем оптимален с точки зрения определения самого термина. В программе осуществляется поиск наилучшего варианта среди фиксированного числа заданных вариантов множественным перебором этих вариантов и определенных пользователем. Этот перебор включает в себя поиск наилучшего варианта в ограничениях “По скоростям или по удельным потерям”. По сути, это будет набор решений детерминированных задач. Это, кстати, означает, что при сложных системах водоснабжения время для проведения таких переборов возрастает даже не как геометрическая прогрессия, а как факториал. Пользователь, следовательно, сильно ограничен в поиске наиболее приемлемого для себя решения, и полученные результаты сильно зависят от выбора ограничений введенных пользователем. Это также означает, что решение всегда будет приемлемым, но субъективным. Об экономике вопрос в данной программе не стоит вообще. Но имитация такого экономического расчета все-таки есть. Она реализована в модели PLUMBING.

Программа PLUMBING затрагивает экономический фактор, обещая подсчитать экономически выгодный диаметр трубопроводов. Но

опять расчет сводится к перебору решений детерминированных задач с выбором наиболее выгодного с экономической точки зрения варианта из числа определенного пользователем.

Программа "Гидравлический расчет напорных трубопроводов" предложенный Тарановым В. позволяет рассчитать потери напора водопровода на единицу длины трубопровода (так называемый "гидравлический уклон").

Также программа, учитывая материал, из которого изготовлены трубы, определяет величину гидравлического сопротивления на стыковых соединениях в трубопроводах напорного типа. Но это программа выполняет только гидравлический расчет трубопровода без учета совместно работающих сооружений системы.

Программа для выполнения гидравлических расчетов кольцевых водопроводных сетей предложенный Черниковым Н.А. очень проста в использовании, не требует предварительного потокораспределения.

Необходимо знать только узловые нагрузки и направление движение воды. Если направление движение воды после расчетов отличное от предварительного, то в программе это показывается в виде знака "-". Это всего, лишь означает сменить направление движения воды на чертеже (пересчет не нужен).

Можно сразу произвести расчет на случай аварии, на каком-либо участке, не вводя снова данные (просто в программе после основного расчета, выбирается на каком участке мы задаем аварию, указываем номер этого участка).

Строит пьезометр, с выводом графика (профиля) в WORD (нужно только соединить соответствующие точки, для получения графика).

Все данные расчета сохраняются в WORDe автоматически после выхода из программы (создается файл в формате .PRN, который открывается с помощью WORD, как кодированный документ MS-DOS и получается весь расчет).

Как видно, данной программе пользователь сильно ограничен в поиске наиболее приемлемого для себя решения, и полученные результаты сильно зависят от выбора ограничений введенных пользователем. Это также означает, что решение всегда будет приемлемым, но субъективным. Об экономике вопрос в данной программе не стоит.

Разработанный метод позволяет рассчитывать системы подачи и распределения воды, при фиксированных отборах, практически любой сложности с учетом реконструкции и поэтапного развития, при наличии различных ограничений и условий, характеризующих данный объект, не прибегая к сколько-нибудь ограничительным стилизациям. При этом сконструированный метод отличается высокой точностью и сравнительно малой трудоемкостью.

В самом методе реализация расчетов на компьютере осуществляется по специально составленной программе, которая включает в себя стандартную программу симплексного алгоритма. Указанная программа подготавливает исходные данные, производит оптимизационные расчеты и выдает результаты расчета в удобном для проектирования виде.

Наша оптимизационная модель, безусловно (и возможно временно) проигрывает многим моделям по качеству интерфейса и его возможностям. Но возможности научной новизне, научной наполненности и возможностям оптимизации сетей водоснабжения (по диаметрам в том числе) несоизмеримо превосходит существующие в настоящее время детерминированные аналоги.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ I

Проведенный обзор известных работ позволило выявить:

- несовершенство существующих методов, и сложность теории расчета являются сдерживающим фактором в развитии сельскохозяйственного водоснабжения.

- существующие методы расчета не позволяют решать оптимизационные задачи, что часто приводит к необоснованному удорожанию строительства и эксплуатации систем.

- теоретические и методические основы проектирования реконструкции и развития существующих систем водоснабжения разработаны недостаточно.

FOR AUTHOR USE ONLY

ГЛАВА II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ И РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПОРОВ ВОДЫ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

2.1. Краткое изложение необходимых сведений из теории графов

При разработке математической модели для поиска оптимальных решений применительно к сети водоснабжения был использован математический аппарат – математические графы с элементами множеств: “узлы” и “дуги”.

Узлы есть скалярные объекты обладающие, какими-либо дополнительными скалярными свойствами.

Дуги есть скалярные объекты, также обладающие дополнительными скалярными характеристиками. В модели использовались направленные дуги. Начало и конец дуги (для графов с направленными дугами) определяются узлами. Любой узел это всегда начало или конец дуги или то же для группы дуг. Для направленной дуги всегда известно, какой узел является началом дуги, а какой ее концом.

Наиболее предпочтительным предполагается использование направленного графа для разработки оптимизационной модели сети водоснабжения. Направленный граф соответствует отрезку трубопровода обладающего одинаковыми гидравлическими характеристиками (шероховатость, материал, примененный для изготовления трубопровода, диаметр). Направление графа не всегда соответствует направлению движения потока воды. Направленность графа только в совокупности со знаком полученного в расчете потока воды определяет направление движение потока воды. Если рассчитанный поток положительный, то движение воды совпадает с направленностью графа и поток воды движется от начального узла графа к его конечному узлу. Если рассчитанный поток воды отрицательный, то поток воды движется от конечной точки графа к начальной точки графа.

2.2. Математическая оптимизационная модель системы водоснабжения (без учета консервативной примеси)

Описание свойств и типов множеств использованных в модели

Для модели и оптимизирующей системы использовался аппарат направленного математического графа. Основной функцией направленного графа будет имитация реальной сети водоснабжения математическим объектом – направленным графом.

Определим скалярные свойства узлов и дуг направленного графа, в соответствии со смыслом оптимизационных задач рассматриваемых в данной работе.

Узлы определяют собой множество имитирующих реальные объекты сети водоснабжения – разветвления трубопровода, соединения трубопроводов, местные гидравлические сопротивления на протяженном трубопроводе (затворы, вентили и прочее), точку смены характеристик трубопровода (новая труба соединена со старой и т.п.), резервуары, водозаборы или насосы.

Дуги определяют собой множество элементов имитирующих реальные объекты сети водоснабжения – трубопроводы. На дуге заданы скалярные величины, отражающие свойства, физические характеристики трубопровода неизменные по всей длине трубопровода. На дуге не может быть задано два разных по значению скалярных свойств. Например, шероховатость трубы или ее диаметр постоянен для графа имитирующего данную трубу. Иначе труба, соединенная из кусков с разными гидравлическими характеристиками должна имитироваться двумя различными последовательно соединенными графами.

Группа подмножеств имитирующих различные типы узлов образует общее множество узлов A_i :

$$A_s \cup A_f \cup A_r \cup A_p \cup A_u = A_i \quad (2.1)$$

где,

A_s – узлы соответствующие разветвлениям соединениям трубопроводов,

A_f – узлы соответствующие местным гидравлическим потерям в трубопроводах,

A_r – узлы имитирующие резервуары,

A_p – узлы имитирующие насосы,

A_u – узлы имитирующие водопотребителей.

Каждый из узлов полного множества узлов A_i характеризуется высотой расположения h_e относительно некоторого принятого пользователем уровня земли и независящей от времени. Напор H_t зависит от времени t и является целью решения.

Каждая дуга определена узлом начала дуги и узлом своего конца.

$$D_{s(a_start,a_end)} \quad (2.2)$$

где,

D_s – множество дуг,

a_start – узел начала дуги (любой из множества A_i),

a_end – узел конца дуги (любой из множества A_i).

Для каждой дуги (напомним, что они имитируют трубопроводы) задана длина участка трубы - L и шероховатость этого участка трубы (учтена в коэффициентах в уравнении расчета потерь напора). При решении задачи оптимизации для каждой дуги должен быть определен расход воды и его направление (знак) в каждый момент времени и диаметр трубы. Полное множество дуг D_s разобьем на два подмножества

$$D_L \cup D_R = D_s \quad (2.3)$$

где, D_L – множество дуг подводящих воду к резервуарам,

D_R – множество остальных дуг в общем множестве дуг D_s .

Цель и необходимость такого разбиения будет показана ниже.

Математическая модель для оптимизации проектируемой сети водоснабжения

Математическая модель оптимизации сети водоснабжения состоит из замкнутой группы уравнений, то есть количество уравнений

составляющих математическую модель не меньше количества переменных.

Уравнение для расчета потерь напора (для всех труб кроме труб подводящих воду к резервуарам). На каждом участке из системы труб не подводящих воду к резервуарам (подмножество D_L) потери напора вычисляются по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta H_{(t)} &= (H_{(t)}^{start} + he^{start}) - (H_{(t)}^{end} + he^{end}); \\ \Delta H_{(t)} &= 0.000912 \left\{ Lr \cdot V_{(t)}^2 \cdot d^{-1.3} \right\} \cdot \left[1 + 0.867 \cdot V_{(t)}^{-1} \right]^{0.3}; \\ Q_{(t)} &= 3.14 \cdot \frac{d^2}{4} \cdot V_{(t)}; \end{aligned} \quad (2.4)$$

где,

$\Delta H(t)$ – потери напора на участке трубы (м),

$H(t)^{start}$ – напор в начале трубопровода (м),

$H(t)^{end}$ – напор в конце трубопровода (м),

he^{start} – высота расположения начала трубы (м),

he^{end} – высота расположения конца трубы (м),

Lr – длина трубы (метр),

$V(t)$ – средняя скорость движения воды (м/с),

d – диаметр (м),

$Q(t)$ – расход воды по трубе (м³/с),

t – время (с).

Уравнение (2.4) подтверждено многочисленными опытами и тем не менее оно неприменимо для использование в модели без необходимых преобразований. Дело в том, что потери напора это скаляр, который не определяет в каком из узлов напор больше, а в каком меньше. Для того чтобы можно было использовать систему уравнений (2.4) для расчетной модели уравнения следует слегка преобразовать придав определенность знаку потерь напора и направленности графа, на котором эти потери рассчитываются.

$$\begin{aligned}
 & (H_{(t)}^{start} + h e^{start}) - (H_{(t)}^{end} + h e^{end}) = \\
 & 0.000912 \cdot \left\{ Lr \cdot abs(V_{(t)}) \cdot V_{(t)} \cdot d^{-1.3} \right\} \cdot \left[1 + 0.867 \cdot abs(V_{(t)})^{-1} \right]^{0.3} ; \\
 & Q_{(t)} = 3.14 \cdot \frac{d^2}{2} \cdot V_{(t)} \tag{2.5}
 \end{aligned}$$

Формула (2.5) будет давать такие же результаты как и формула (2.4) но результаты будут иметь свой знак (положительный или отрицательный). Формула (2.5) становится частично векторным уравнением и после проведенного преобразования обеспечивает следующее соответствие:

- положительная разница между напорами в начальном и конечном узлах дуги соответствует положительному значению расчетного расхода воды по дуге – и его направление будет совпадать с направлением дуги.
- отрицательная разница в напорах между начальным и конечным узлами дуги обеспечит получение отрицательного расхода воды и будет соответствовать движению воды от конца направленного графа к его началу.

Уравнение о неразрывности потока воды

$$\begin{aligned}
 Q^{pump}_{(t)} + \sum_{in}^{A_j} Q(t)_{in} &= Q^{intake}_{(t)} - \sum_{out}^{A_j} Q(t)_{out} ; \tag{2.6} \\
 A_j \in A_i \text{ и } A_j \cup A_r &= ()
 \end{aligned}$$

где,

$\sum_{in}^{A_j} Q(t)_{in}$ – сумма расходов по всем дугам, для которых данный узел является концом дуг,

$\sum_{out}^{A_j} Q(t)_{out}$ – сумма расходов по всем дугам, для которых данный узел является началом дуг,

$Q^{pump}_{(t)}$ – поступление воды в узел в случае наличия насоса,

$Q^{intake}_{(t)}$ – отбор воды в узле потребителем,

$()$ – пустое множество, гарантирующее что для узлов имитирующих резервуары данное уравнение применяться не будет.

Выражение $A_j \in A_i$ и $A_j \cup A_r = ()$ означает, что узел “j” не принадлежит к подмножеству узлов имитирующих резервуары, но является узлом сети водоснабжения.

Отметим, что дуги, для которых конечным узлом является расчетный узел, не обязательно являются дугами, по которым вода всегда поступает в расчетный узел. Отрицательный расход воды на такой дуге с конечной точкой в расчетном узле будет означать, что вода уходит по данной дуге из расчетного узла. Аналогично учитываются и расходы на дугах, для которых расчетный узел является начальным узлом. То есть отрицательные расходы на таких исходящих из узла расчета дугах должны рассматриваться как приходная часть водного баланса.

Уравнение баланса воды в резервуарах

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial S_r H_r}{\partial t} = \left(\sum^{Dr} Q(t) \right) = \left(\sum^{Dr} Q_m(t) \right) + \left(\sum^{Dr} Q_{out}(t) \right), \quad (2.7)$$

где,

∂ – символ производной,

W – объем воды в резервуаре (m^3),

H_r – уровень воды в резервуаре (м),

S_r – площадь резервуара (m^2).

Для упрощения расчетов при построении направленных графов системы водоснабжения узлы, имитирующие резервуары располагаются в конечных узлах дуг D_R . Данное ограничение не является принципиальным, но упрощает понимание процессов происходящих при регулировании воды резервуарами в системе водоснабжения.

2.3. Решение уравнения о потерях напора в трубе подводящей воду к резервуару (проблемы и их разрешение)

К сожалению потери напора на трубопроводе соединяющем систему водоснабжения с резервуаром не могут быть рассчитаны также просто как для случая обычного трубопровода.

Решение задачи о взаимодействии резервуара и напорной сети

Необходимо совместно решить два уравнения (2.7) и линеаризованный аналог уравнения (2.5).

Уравнение водного баланса для резервуара (в случае одной подводящей трубы):

$$\frac{\partial W}{\partial t} = Q_{in} + Q_{out} - Q_{loss} \quad (2.8)$$

$$H_r = f(W) \quad (2.9)$$

Уравнение о потоке воды через подводящую систему труб (общая форма уравнения (2.5)):

$$Q_{in} + Q_{out} = \psi(H_s - H_r) \quad (2.10)$$

Граничные условия

$$H_s = \theta(t) \quad (2.11)$$

$$W|_{t=0} = W_0 \quad (2.12)$$

где,

W - объем воды в резервуаре (m^3),

∂t - дифференциал времени (с),

$\frac{\partial W}{\partial t}$ - производная по времени от объема воды в резервуаре (m^3/c),

Q_{in}, Q_{out} - расход притока в резервуар расход оттока из резервуара (m^3/c),

H_r - уровень воды в резервуаре (м),

H_s - давление воды на входе в подводящей к резервуару трубу (м),

$Q_{in} + Q_{out} = \psi(H_s - H_r)$ - функция, связывающая разность напора воды в системе и уровня воды в резервуаре с расходом воды в подводящей трубе ($m^3/c \Leftrightarrow \psi(m)$),

$H_r = f(W)$ - функция зависимости уровня воды в резервуаре от объема воды в резервуаре ($m \Leftrightarrow f(m^3)$),

$H_s = \theta(t)$ - заданный хронологический ход давления воды в системе (м),

$W|_{t=0} = W_0$ - заданный начальный объем воды в резервуаре (m^3).

При построение данной простейшей модели было принято допущение об отсутствии инерционных сил при движении воды в подводящем к резервуару трубопроводе.

Несмотря на то функция ψ связывающая перепад напоров с расходом воды в подводящем трубопроводе является достаточно сложной эмпирической функцией (кроме того используются разные версии данной функции разными авторами), главная ее особенность заключается, в том что при нулевом перепаде напоров обеспечивается нулевой расход воды и функция является возрастающей относительно переменной – перепад напоров.

Это означает, что при небольшом изменении напоров в системе сложная функция (2.12) может быть аппроксимирована линейным функционалом –

$$Q_{in} + Q_{out} = A \cdot (H_s - H_r) \quad (2.13)$$

Данная аппроксимация введена не для того что бы рассчитывать какую-либо практическую задачу, а только лишь для того чтобы оценить свойства возможных получаемых решений.

Итак, предположим, что резервуар образован цилиндрической поверхностью с неизменной по высоте площадью горизонтального сечения

$$H_r = f(W) \text{ преобразуется в } H_r = W / S_r + H_{sr} \quad (2.14)$$

где,

H_{sr} -константа имеющая размерность (м),

S_r - площадь горизонтального сечения в резервуаре (m^2).

Задачу, для последующего анализа решения, предполагается решать методом установления. Метод установления является методом, в

котором стабилизированы или бесконечно повторяются временные серии граничных условий до тех пор, пока решение не перестает зависеть от начальных условий (начальные условия задаются произвольно). Начальный уровень воды в резервуаре принимается равным 0,10,30 метрам. Площадь водной поверхности резервуара принимается равной 10 квадратным метрам. После построения расчетной схемы для модели резервуара возникает вопрос о правильности построения расчетной схемы. Для этого решим данную модель при следующих граничных условиях. Пусть напор в подводящей системе меняется по синусоидальному закону с амплитудой в пять метров и средним значением 20 метров водного столба. Результаты расчетов сравним с аналитическим решением модели, которое в данном случае все же можно получить.

Итак, запишем еще раз уравнения модели и затем решим их в аналитической форме при условии, что граничным условием (хронологический ход давления в системе водоснабжения) задается синусоидой (дифференцируемая функция). Способ решения уравнений такого типа известен[1]:

$$\frac{\partial S_r \cdot H_r}{\partial t} = Q_{in} + Q_{out} \quad (2.15)$$

$$Q_{in} + Q_{out} = A \cdot (H_s - H_r) \quad (2.16)$$

$$H_s = B \cdot \sin(\omega t) \quad (2.17)$$

В виде одного уравнения система приобретет вид:

$$S \frac{\partial H_r}{\partial t} = A \cdot [B \cdot \sin(\omega t) - H_r] \quad (2.18)$$

Будем искать решение в виде произведения двух функций $H_r = (\nu \cdot v)$.

Тогда

$$\frac{\partial(\nu \cdot v)}{\partial t} = \nu \cdot \frac{\partial(v)}{\partial t} + v \frac{\partial(\nu)}{\partial t} \quad (2.19)$$

$$S \cdot \left[\nu \cdot \frac{\partial(v)}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial(\nu)}{\partial t} \right] = A \cdot [B \cdot \sin(\omega t) - (\nu \cdot v)] \quad (2.20)$$

$$\nu \cdot \left[\frac{\partial(v)}{\partial t} + \frac{A}{S} \cdot v \right] = \frac{A}{S} \cdot [B \cdot \sin(\omega t)] - \nu \cdot \frac{\partial(\nu)}{\partial t} \quad (2.21)$$

Выберем функцию ν такой чтобы:

$$\left[\frac{\partial(v)}{\partial t} + \frac{A}{S} \cdot v \right] = 0 \quad (2.22)$$

Дифференцируя по частям, получим решение:

$$v = C_1 \cdot e^{-\frac{A}{S}t} \quad (2.23)$$

Возьмем одно произвольное решение соответствующее случаю, когда постоянная интегрирования $C_1 = 1$ и $v \neq 0$.

$$v \cdot \frac{\partial(v)}{\partial t} = \frac{A}{S} \cdot [B \cdot \sin(\omega t)] \quad (2.24)$$

$$v = \int \frac{\frac{A}{S} [B \cdot \sin(\omega t)]}{e^{-\frac{A}{S}t}} dt + C_2 \quad (2.25)$$

или окончательно,

$$H_r = e^{-\frac{A}{S}t} \cdot \int \frac{\frac{A}{S} [B \cdot \sin(\omega t)]}{e^{-\frac{A}{S}t}} dt + e^{-\frac{A}{S}t} \cdot C_2 \quad (2.26)$$

Или

$$H_r = e^{-\frac{A}{S}t} \int e^{\frac{A}{S}t} \cdot \frac{A}{S} \cdot [B \cdot \sin(\omega t)] dt + e^{-\frac{A}{S}t} \cdot C_2 \quad (2.27)$$

Известно что,

$$\int e^{mt} \cdot [\sin(nt)] dt = \frac{m \cdot \sin(nt) - n \cdot \cos(nt)}{m^2 + n^2} \cdot e^{mt} + C_0 \quad (2.28)$$

Значит решением будет выражение[2]:

$$H_r = e^{-\frac{A}{S}t} \cdot \frac{A \cdot B}{S} \cdot \left[\frac{\frac{A}{S} \sin(\omega t) - \omega \cdot \cos(\omega t)}{\left(\frac{A}{S}\right)^2 + \omega^2} \right] \cdot e^{-\frac{A}{S}t} + e^{-\frac{A}{S}t} \cdot C_2 + C_3 \quad (2.29)$$

Или

$$H_r = \frac{A \cdot B}{S} \cdot \left[\frac{\frac{A}{S} \sin(\omega t) - \omega \cdot \cos(\omega t)}{\left(\frac{A}{S}\right)^2 + \omega^2} \right] + e^{-\frac{A}{S}t} \cdot C_2 + C_3 \quad (2.30)$$

где, C_2, C_3 — постоянные интегрирования, которые могут быть определены из начального условия.

Установление стабильности в периодичности изменения уровня воды происходит по убывающей экспоненте - $e^{-\frac{A}{S}t}$.

Далее

$$H_r = \frac{A \cdot B}{S} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{A}{S}\right)^2 + \omega^2}} \left[\frac{\frac{A}{S} \sin(\omega t) - \omega \cdot \cos(\omega t)}{\sqrt{\left(\frac{A}{S}\right)^2 + \omega^2}} \right] + e^{-\frac{A}{S}t} \cdot C_2 + C_3 \quad (2.31)$$

Вполне можно считать, что компоненты $\frac{\frac{A}{S}}{\sqrt{\left(\frac{A}{S}\right)^2 + \omega^2}} \rightarrow \cos(\phi)$ (2.32)

и $\frac{\omega}{\sqrt{\left(\frac{A}{S}\right)^2 + \omega^2}} \rightarrow \sin(\phi)$ (2.33)

Так как сумма квадратов данных компонент (2.32) и (2.33) равна единице.

Итак, компоненты есть синус и косинус некоторого угла ϕ и тогда[3]:

$$H_r = \frac{A \cdot B}{S} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{A}{S}\right)^2 + \omega^2}} [\sin(\omega t - \psi)] + e^{-\frac{A}{S}t} \cdot C_2 + C_3 \quad (2.34)$$

где, угол $\phi = \text{Arctg}\left(\frac{S}{\omega}\right)$ (2.35)

В установившемся режиме процесс отображается уравнением

$$H_r = \frac{A \cdot B}{S} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{A}{S}\right)^2 + \omega^2}} [\sin(\omega t - \phi)] \quad (2.36)$$

Или проще,

$$H_r = \frac{A \cdot B}{S} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{A}{S}\right)^2 + \omega^2}} [\sin(\omega t - \phi)] \quad (2.37)$$

$$H_r = \frac{B}{\sqrt{1 + \left(\frac{S}{A}\right)^2 \cdot \omega^2}} [\sin(\omega t - \phi)] \quad (2.38)$$

Исследование полученной формулы показывает, что чем больше диаметр подводящей трубы A и чем меньше площадь горизонтального сечения резервуара тем менее отличается ход уровней в резервуаре от изменения давления во внешней системе. То есть часть резервуара не заполняется водой и не влияет течение воды.

Если принять во внимание что вполне приемлемым является эффективность работы резервуара 99% то можно определить каким

максимальным сопротивлением трению должна обладать подводящая труба.

$$\sqrt{1 + \left(\frac{S}{A}\right)^2} \omega^2 = 1.02 \quad (2.39)$$

Откуда

$$\frac{S}{A} \omega < 0.142 \quad (2.40)$$

$A > \frac{S}{0.142} \omega$ при S к примеру 10 квадратных метров и при ω измеряемой в часах = $2 \cdot 3.14 / 24$.

Получим $A > 18$. Напомним, что коэффициент A [размерность квадратный метр в секунду] равен расходу в принятую единицу времени при перепаде напоров на подводящей трубе равном один метр.

$$Q_{in} + Q_{out} = A \cdot (H_s - H_r) \quad (2.41)$$

Это означает, что при напоре в один метр подводящий трубопровод должен пропустить не менее 18 кубических метров за один час. Это обеспечит эффективность использования объёма резервуара на 99процентов при синусоидальном ходе давления в системе водоснабжения.

Для того чтобы использовать численную модель для некоторых последующих заключений необходимо удостовериться в правильности построения расчетных схем. Сравним результаты расчета по модели для серии коэффициентов A и сравним их с функцией (2.38). Результат сравнений представлен на рисунке (2.1).

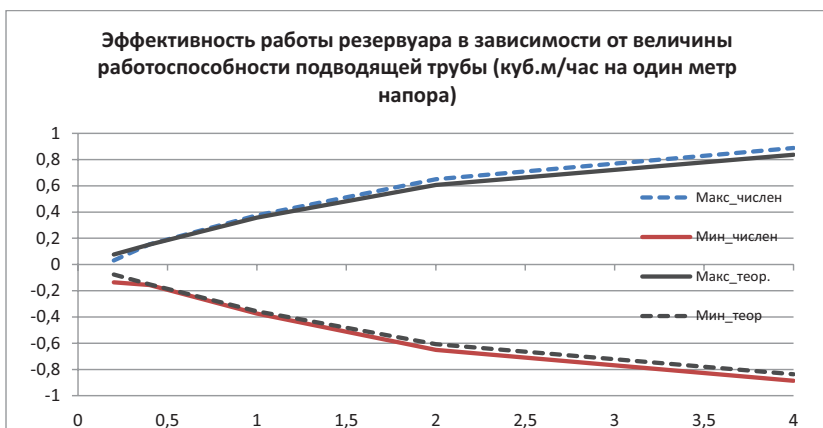


Рис. 2.1. Сравнение результатов расчета по численной модели резервуара с теоретическим решением той же модели (2.38)

Видно, что чем выше Коэффициент A подводящей трубы, тем меньше диапазон изменения уровней в резервуаре. Диапазон изменения уровней в резервуаре ограничен верхним и нижним пределом давления воды в подводящей системе. Все в полном соответствии с формулой (2.38).

На рисунке 2.2 показан процесс выхода на установившийся режим работы резервуара при синусоидальном внешнем давлении для разных коэффициентов A . Заметен сдвиг по фазе убывающий с ростом коэффициента A . Как это и должно происходить в соответствии с аналитическим решением. Результат сравнений показывают, что расчетная схема построена правильно и адекватна уравнениям модели. Теперь можно перейти к расчетам задач с более сложными граничными условиями и посмотреть, как они влияют на работоспособность и эффективность работы резервуара.

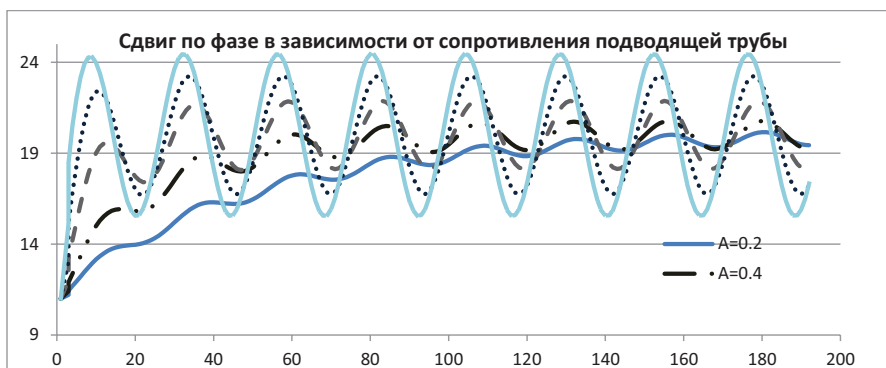


Рис.2.2. Сдвиг по фазе в зависимости от сопротивления подводящей трубы по численной модели резервуара не противоречит теоретическому решению (2.38)

Рассмотрим поведение уровня воды в резервуаре при скачкообразном изменении требований со стороны потребителей. Граничными условиями является серия из 24 значений напора воды в системе, из которых подряд 12 значений равны 15 метрам и следующие 12 значений равны 25 метрам. На рисунке 1.3 показано, что начальные условия не влияют на установившийся режим работы резервуара. Заметно движение по экспоненте в процессе установления как это и следует из теоретического решения (2.38) — компонент при постоянной интегрирования C_2 .

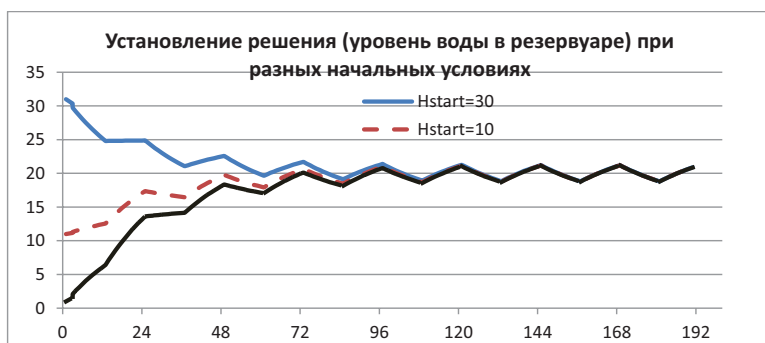


Рис.2.3. Установление решения при разных начальных положениях уровня воды в резервуаре (0,10,30 метров)

Для условий данной задачи видно, что уже через пять дней влияние начальных условий на ход уровней в резервуаре не наблюдается. Среднее положение уровня в резервуаре становится равным 20 метрам, что соответствует среднему напору в системе водоснабжения. Коэффициент A был принят равным 4.

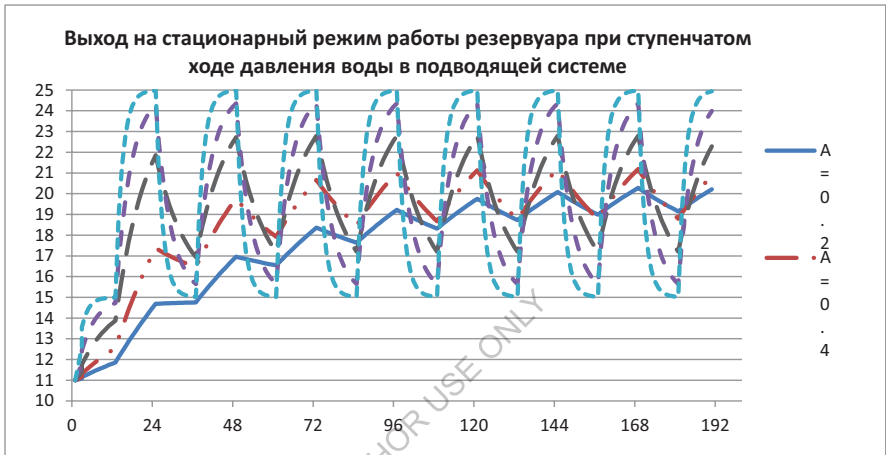


Рис. 2.4. Установление уровня в резервуаре при ступенчатом ходе давления во внешней системе

На рисунке 2.4 видно, как при повышении коэффициента A ход уровней воды все больше и больше начинает повторять ход давления воды во внешней системе (12 часов – 15 метров и следующие 12 часов 25 метров). Однако заметим, что эффективность работы резервуара упала. Если при синусоидальном ходе внешнего давления и коэффициенте $A=4$ эффективность составляла 83% то при скачкообразном изменении давления эффективность упала до 78% (учтен сдвиг по фазе. Без сдвига по фазе эффективность резервуара внутри периода будет еще ниже, но этот расчет принимать во внимание не следует так как он не отображает реальную эффективность резервуара). Это падение вполне ожидаемо, поскольку плавное понижение и повышение давления дает возможность резервуару дополнительное время для реакции на данные изменения.

Более подробно ход уровня в резервуаре в течении одного периода при установившемся режиме и $A=4$ отображено на рисунке Рис. 2.5.

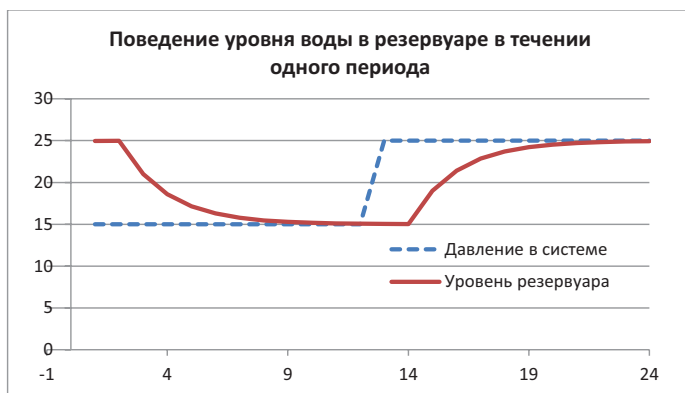


Рис. 2.5. Ход уровня в резервуаре при ступенчатом ходе давления во внешней системе в течении одного периода при $A=4$ и числе Куранта-Леви 0.5 от максимально возможного

К сожалению, условие Куранта-Леви γ накладывает ограничение в числовой модели на величину применяемого коэффициента A .

$$\gamma = \frac{A}{S} < 1 \quad (2.42)$$

И появление скрытой численной диссипации на схеме

$$\mu = \frac{A}{S} \cdot \Delta l \cdot (1 - \gamma) \quad (2.43)$$

где, Δl – длина подводящей трубы (м).

Внешне данная диссипация проявляется так, как будто реально действует какой-либо физический фактор воздействующий на рассеивание энергии в системе. Но в действительности цифровая диссипация зависит от соотношения шагов по пространству и времени (это субъективный фактор назначаемый человеком), а значит к реальности отношения не имеет.

Это означает, что рассчитать работу резервуара, с эффективностью более 90% без специальных приемов и неявных методов численной математики, значительно усложняющих модель принципиально невозможно. Можно обойти ограничение (2.42) перейдя от временного

шага в один час к более мелким шагам по времени и находясь на пределе условия Куранта-Леви. Естественно коэффициент A равный количеству воды протекшей через подводящую трубу при перепаде в один метр уменьшится, и условие Куранта-Леви позволит использовать относительно большую величину коэффициента A . Но и шаг расчета будет меньше, а задача заметно усложниться, алгоритм фактически уничтожит возможность широкого использования модели. Модель каждой системы станет уникальной и это неприемлемо. При всех расчетах мы должны помнить данный факт, но использовать все, же мы будем шаг по времени равный один час. Нашей задачей является разработка подхода общего для множества практических задач и устойчивого в расчетах.

Выводы: Подводящая труба к резервуару должна быть такого диаметра, чтобы при перепаде давления в один метр обеспечивалось бы условие.

$$\sqrt{1 + \left(\frac{S}{A}\right)^2} \omega^2 < 1.02 \quad \text{где, } S - \text{площадь резервуара, } \omega = \frac{6,28}{N}, N -$$

количество фиксированных интервалов в повторяющемся периоде. A – следует ассоциировать с объемом воды проследовавшим по подводящей трубе за некоторый фиксированный интеграл времени при перепаде напоров в один метр.

В этом случае эффективность работы резервуара составит 99% (теория при синусоидальном изменении напоров) и на практике не опуститься ниже 95% (скачкообразное изменение напоров). При шаге по времени в один час при расчетах следует учитывать ограничение Куранта-Леви. $\frac{A}{S} < 1$ где S площадь резервуара, а A количество воды способное перетечь по трубе за расчетный шаг по времени при перепаде напоров в один метр водного столба.

2.4. Целевая функция оптимизации строительства сети водоснабжения

Основной целью данной оптимизации является:

- 1) Обеспечение всех потребителей водой, согласно установленным требованиям на воду (зависят от временного интервала внутри расчетного периода времени),
- 2) Минимизации затрат на работу насосов подающих воду в систему,
- 3) Минимизация затрат на создание сети водоснабжения.

$$\begin{aligned}
 OBJ = & C_u \cdot Sec_step \cdot \{Q^{demand}(t) - \sum_{Au} Q^{intake}(t)\} + \\
 & + C_p \cdot 9.81 \cdot КПД \cdot Sec_step \cdot \left\{ \sum_{Ap} Q(t) \cdot H(t) \right\} / 3600 + \\
 & + \left\{ \sum_{Ds} f(D_L) \cdot L \right\} / n + \\
 & + \left\{ \sum_{Ar} C_{r1} \cdot S_r \right\} / n + \\
 & + \left\{ \sum_{Ar} C_{r2} \cdot H_{sr} \right\} / n
 \end{aligned} \tag{2.44}$$

где,

C_u – стоимость ущерба от недопоставки воды пользователю (сум/ (м³/ч)),

C_p – стоимость электроэнергии для насосов обеспечивающих закачку воды в водную сеть (сум/кВтЧас),

$КПД$ – коэффициент полезного действия насосов (обычно равен 0.6),

Sec_step – число секунд в одном шаге по времени (с/шаг),

$f(D_L)$ – функция стоимости одного метра трубопровода (сум/м) в зависимости от его диаметра D_L (м),

L – длина трубы (м),

C_{r1} – стоимость одного квадратного метра площади резервуара (сум/м²),

C_{r2} – стоимость поднятия резервуара над поверхностью земли (сум/м),

H_{sr} – величина поднятия резервуара над поверхностью земли (сум/м),

$Q^{intake}(t)$ – расчетный расход забора воды потребителем воды (м³/ч),

$Q^{demand}(t)$ – требования на поставку воды потребителю воды (м³/ч),

S_r – площадь горизонтального сечения резервуара (м²),

n – число расчетных интервалов в периоде окупаемости сети водоснабжения (штук на интервал, период окупаемости обычно 8 лет или в нашем случае пбудет равняться числу дней в восьми годах).

Величина H_s , (величина поднятия резервуара над поверхностью земли)

Может быть рассчитана по формуле

$$H_{Sr} = \text{Max}(H_r) - h_e \quad (2.45)$$

Определим теперь затраты на работу насосного оборудования сети водоснабжения. Известно, что

$$I_{квч(кВт)} = 9.81(\text{м/с}^2 \cdot H(\text{м}) \cdot Q(\text{м}^3/\text{с}))$$

Или

$$I_{квч(кВт.час)} = 3600(\text{с/час}) \cdot 9.81(\text{м/с}^2 \cdot H(\text{м}) \cdot Q(\text{м}^3/\text{с}))$$

где,

n_time – число часов в одном расчетном шаге по времени (в модели равно 1),

тогда,

$$I_{квч(кВт.час)} = 3600(\text{с/час}) \cdot 9.81(\text{м/с}^2 \cdot H(\text{м}) \cdot Q(\text{м}^3/\text{с})) = 9.81(\text{м/с}^2 \cdot H(\text{м}) \cdot W(\text{м}^3/\text{час}))$$

Исходя из этого и вычисляется слагаемое целевой функции ответственной за затраты на работу насосов:

$$C_p \cdot 3600 \cdot 9.81 \cdot КПД \cdot \left\{ \sum_{A_i \in A_p} Q(t) \cdot H(t) \right\} / \text{Sec_step} \quad (2.46)$$

где,

Sec_step – число секунд в одном шаге по времени (с/шаг).

Функция $f(D_L)$ определяется путем решения малой оптимизационной задачи на основе таблично заданных стоимостей труб разных диаметров при поиске решения:

$$f(D_L) = A \cdot d^2 + B \quad (2.47)$$

Минимизируется отклонение квадратичной функции “стоимость”- “диаметр” от заданных значений соответствующих стоимостей труб разных диаметров:

$$OBJ = \sum_k \left\{ (A \cdot d_k^2 + B) - C_{Li} \right\}_{OBJ \rightarrow MIN}^2 \quad (2.48)$$

где,

d_k – диаметры(м),

c_{Li} – стоимость погонного метра трубы заданного диаметра (сум/м),

OBJ – целевая функция малой оптимизационной задачи.

Пример результата малой оптимизации представлен на рисунке 2.6.

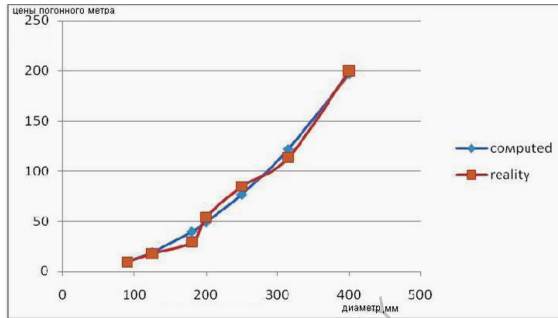


Рис. 2.6. Табличное и функциональное представления зависимости цены погонного метра трубы от ее диаметра

Задача оптимизации при строительстве сети водоснабжения решается для группы переменных:

$H_{(t)}$ –напор в (м),

S_r – площадь резервуаров (m^2),

$H_{s,r}$ – высота поднятия резервуара (м),

d – диаметр труб (мм),

$Q^{pump}(t)$ –поступление воды в узел в случае наличия насоса,

$Q^{intake}(t)$ –водозабор ($m^3/час$),

$Q(t)$ – потоки воды по трубам ($m^3/час$),

OBJ – целевая функция затраты на содержание и работу сети водоснабжения (сум).

2.5. Ограничения при оптимизации строительства сети водоснабжения

При оптимизации (поиске минимального или максимального значения целевой функции) иногда оптимум может достигаться при

безграничном уменьшении или увеличении переменных оптимизации. Для того чтобы избежать этого, обычно все переменные оптимизации ограничиваются сверху и снизу ограничениями на основе здравого смысла и сущности задачи. В нашей модели используются следующие ограничения:

$$\begin{aligned}
 & d_{gost} < d_{Ai} < \text{inf} , \quad 0 < S_{Ar} < \text{inf} \text{ (inf – большое число)} \\
 & (1 - \text{deficit} / 100) \cdot Q_{Ai(t)}^{demand} < Q_{Ai(t)}^{intake} < Q_{Ai(t)}^{demand} \quad (2.49) \\
 & 0 < \sum_{Ai} Q_{Ai(t)}^{demand} < \sum_{Ai} N^{pump} \\
 & H_{Ai_min(t)} < H_{Ai(t)} < H_{Ai_max(t)}
 \end{aligned}$$

где, индекс Ai -показывает, что формула применяется для всех узлов,

d_{gost} – минимально возможный из используемых диаметров труб исходя из требований обеспечения пожарной безопасности в районе действия системы водоснабжения.

Обычно задаются минимальным используемым диаметром труб 100мм в системе водоснабжения исходя из требований противопожарной безопасности. Возможны и иные ограничения на минимально используемый диаметр труб в сети водоснабжения.

inf – максимально возможный диаметр труб,

deficit – процент допустимого дефицита поставки воды водопотребителю,

N_{Ai}^{pump} – производительность насоса,

$H_{Ai_min}(t)$ – минимальный напор в сети водоснабжения. Так как пользователь должен получать воду под некоторым минимальным напором воды. Кроме того, и пожарная безопасность требует некоторого минимального напора воды в системе водоснабжения.

$H_{Ai_max}(t)$ – максимальный напор в сети водоснабжения. Данное ограничение обычно следует из прочности труб.

Очевидно, что некоторые ограничения связаны между собой. Например, явная связь:

$$\sum_i \sum_{A_{i \in A_i}} (1 - deficit / 100) \cdot Q_{A_i}^{demand}(t) < \sum_i \sum_{A_{p \in A_i}} N_{A_p}^{pump} \quad (2.50)$$

То есть, гарантированная величина подачи воды не меньше возможностей насосов. Возможно и неявная связь. Например, при данном верхнем ограничении на диаметр труб в заданных пределах изменения напоров воды поставка воды с гарантированным максимальным дефицитом может быть не осуществима.

Исходя из сути задачи можно принимать величину $deficit = 100$, а при возникновении сообщения о отсутствии искомого оптимального решения ограничения на максимальный диаметр труб или мощность насосов отменять вовсе. В этом случае проще понять и удалить из задачи неосуществимые и взаимоисключающие условия.

Все остальные компоненты входящие в уравнения модели оптимизации сети водоснабжения являются параметрами и должны быть заданы.

Граничное условие требуется только для одной переменной $H_{A_r}(t)$. Именно для напоров работает единственное дифференциальное уравнение первого порядка по времени (2.18). Водораспределительная сеть работает при постоянно повторяющихся во времени режимах водопотребления. Обычно периодом повтора ситуации с водопотреблением являются сутки. Состояние сети в конце такого периода должно равняется начальному состоянию:

$$H(t) (t|t= t_s) = H_n(t|t= t_k) \quad (2.51)$$

где,

t_k – время окончания повторяющейся ситуации в сети водоснабжения,

t_s – время начала повторяющейся ситуации в сети водоснабжения.

2.6. Приведение распределенного водопотребления к узлам сети водораспределительной сети

При расчете и проектировании водораспределительной сети не учитываются все мелкие коммунальные потребители воды соединенные

и питающиеся от распределительной сети. Известно только общее количество воды, которое они изымают из водораспределительной сети.

Считается достаточно приемлемым допущение о равномерном распределении данных водопотребителей вдоль участков трубопроводов водораспределительной сети. Тогда с каждого участка сети будет потребляться расход воды вычисляемый по формуле:

$$Q_{L_j(t)}^{demand} = Q_{j \in DL}^{demand}(t) \cdot L_{j \in DL} / \sum_{j \in DL} L_{j \in DL} \quad (2.52)$$

где,

$Q_{L_j(t)}^{demand}$ -общая величина требований на распределенное потребление воды,

$j \in DL$ – номер участка трубопровода,

D_L – участок трубопровода,

$Q_{j \in DL}^{demand}(t)$ – общий водоотбор на участке D_L .

$$Q_{j \in DL}^{demand}(t) = \sum_{Au \in CDL(a_{start}, a_{end})} Q_{j \in DL}^{demand}(t) / 2, \quad (2.53)$$

Уравнения (2.52) и (2.53) распределяют распределенное по длине трубопроводов требование на воду к узлам сети водоснабжения.

2.7. Переход от оптимальных диаметров труб в водораспределительной системе к реально существующим диаметрам труб

В результате решения оптимизационной задачи пользователь получает информацию о диаметрах труб в водораспределительной системе с точки зрения минимизации целевой функции (стоимости водораспределительной сети и ее дальнейшей работы). Однако, определенные в решении оптимальные диаметры труб могут не существовать в реальности на рынке и не производятся на заводах.

В модели реализован простейших алгоритм, в котором осуществляется поиск ближайший и чуть больший диаметр реально существующей трубы. Производится имитационный расчет, в котором

оптимальные диаметры труб подменяются реально существующими диаметрами труб предоставляемых промышленностью.

Без сомнения оптимизационная целевая функция увеличивается за счет увеличения стоимости труб, но падают напоры в сети, увеличивается водообеспеченность потребителей и уменьшаются энергетические затраты на работу насосов.

Таким образом, решение остается оптимальным при условии реальной возможности воплотить его в реальности. Полученное решение уже не является строго оптимальным с точки зрения математики, но оно:

- a) ближайшее к оптимальному (потери только в стоимостях труб),
- b) технически осуществимое,
- c) не ухудшающее положение водопотребителей,
- d) не увеличивающее энергетические затраты поскольку трение в

трубах большего диаметра становится меньше.

Определение круга задач при реконструкции существующей сети водоснабжения

Современные системы водоснабжения представляют собой комплекс сложных инженерных сооружений по добыче, обработке, хранению, доставке, подаче и распределению воды между потребителями. Требования к качеству и работоспособности систем водоснабжения постоянно возрастают. Это связано с увеличением числа водопотребителей, регулирующих емкостей, нерегулируемым водопотреблением, постоянно протекающими переходными процессами, развитием и реконструкцией систем и сооружений, возможными пиковыми нагрузками и отказами элементов системы.

Решение этой проблемы становится возможным на основе автоматизации проектирования систем водоснабжения при рациональном распределении функций между человеком и ЭВМ.

В ведении служб водоснабжения находятся трубопроводные системы, построенные несколько десятилетий назад и некоторые

находятся в неудовлетворительном состоянии. При этом с расширением населенных пунктов к уже существующим водопроводным сетям подключаются новые участки. Однако методы расчета водопроводных сетей, которые применяются в подобных условиях, недостаточно развиты и не позволяют определять рациональные параметры при реконструкции сетей обеспечивающих требуемые условия. Поэтому иногда возникают совершенно невыносимые режимы подачи воды потребителям. Например, вода подается два или три раза в неделю по полдню и начиная с полночи. Мало того, что это осложняет жизнь потребителям воды, но и приводит к сверхнормативному старению и износу трубопроводов, загниванию застойной воды в понижениях трубопровода и прочим неприятным последствиям.

В настоящее время на процесс эксплуатации инженерных сетей наиболее ощутимое влияние оказывает внутренний износ существующих сетей и сооружений, коммуникаций и оборудования. Иными словами, ранее прекрасно работавшая система становится неспособной выполнять прежние поставленные перед ней задачи. Но что реконструировать? Какие участки менять и как реконструировать? Данные проблемы решают методом проб, бесконечных расчетов и основываясь только на опыте проектировщиков. Поэтому исследования по разработке метода поиска оптимальных решений при проектировании (планировании и развитии) водопроводных сетей, их реконструкции, сетевой идентификации при недостатке или неопределенности исходных данных особенно актуальны.

Разработанная ранее и описанная выше математическая модель позволяет наряду с облегчением расчета вновь проектируемых водопроводных сетей, рассчитать оптимальные реконструкции водопроводных сетей при их развитии с подключением новых участков к уже существующим сетям. Предлагаемая ниже модификация модели позволяет определить эффективную и наиболее дешевую реконструкцию

отдельных участков существующей водопроводной сети с учетом подключения новых участков (т.е. расширения сети). Эта модифицированная модель позволяет определить не только список предлагаемых к реконструкции участков существующей сети, но и определить новые (требуемые) характеристики обновляемых водоводов. Причем необходимая реконструкция определяется с точки зрения минимизации затрат на реконструкцию. Иными словами модель предоставит оптимальное решение по реконструкции существующей водопроводной сети при подключении к ней, новых участков с точки зрения минимизации затрат на её реконструкцию при обеспечении заданных условий устойчивого водоснабжения.

2.8. Описание математической модель оптимизирующей реконструкцию системы водоснабжения (без учета консервативной примеси)

Всего две новых переменных следует добавить в уравнение ответственное за расчет потерь напора на участке трубопровода что бы модифицированная этим модель позволила рассчитывать оптимальную реконструкцию сети водоснабжения при каких-либо изменениях режима работы существующей сети.

$$(H_{(t)}^{start} + h_e^{start}) - (H_{(t)}^{end} + h_e^{end}) = 0.000912 \left\{ L_r \cdot abs(V_{(t)}) \cdot V_{(t)} \cdot [d + B(dL) \cdot \Delta d]^{-1.3} \right\} \cdot \left[1 + 0.867 abs(V_{(t)})^{-1} \right]^{-0.3}$$

$$Q_{(t)} = 3.14 \cdot ([d + B(dL) \cdot \Delta d]^2 / 4 \cdot V_{(t)})$$

$$Q_{(t)}^{pump} + \sum_{in}^{Aj} Q_{(t)} = Q_{(t)}^{intake} - \sum_{out}^{Aj} Q_{(t)} \quad ; \quad (2.54)$$

$$Aj \in Ai \quad \text{и} \quad Aj \cup Ar = ()$$

$$H_r(t|t = Sec_step) = H_{n(t)}$$

$$Q_{(t)} = \{ H_r(t|t = Sec_step) - H_r(t|t = 0) \} \cdot S_r / Sec_step$$

Реконструкция сети подразумевает обычно замену-реконструкцию каких-либо участков трубопроводов на трубопроводы с иными диаметрами. Значит, единственное место где может проявиться реконструкция - это изменение уравнения расчета потерь напора на участке трубопровода. Потребуется как и было сказано ранее ввести две новых переменных.

- Новая переменная Δd

- Новая переменная “ $B(dL)$ ” дополняющая модель целочисленная переменная с двумя допустимыми значениями: 0 и 1. Это так называемая Булевская переменная (Boolean).

Естественно должна быть изменена и объектная функция. В объектной функции вместо стоимости всех труб системы водоснабжения должны учитываться только стоимости труб для которой свойство имитирующий их граф - диаметр трубопровода, умноженный на переменную $B(dL)$ отличен от нуля.

Иначе говоря, объектная функция должна выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned}
 OBJ = & C_u \cdot \left\{ Q^{demand}(t) - \sum_{Au} Q^{intake}(t) \right\} + \\
 & + C_p \cdot Sec_step \cdot 9.81 \cdot КПД \cdot \left\{ \sum_{Ap} Q(t) \cdot H(t) / 3600 \right\} + \\
 & + \left\{ \sum_{Ds} B(dL) \cdot f([d + \Delta d]) \cdot Lt \right\} / n + \\
 & + \left\{ \sum_{Ar} C_{r1} \cdot S_r \right\} / n + \\
 & + \left\{ \sum_{Ar} C_{r2} \cdot H_{Sr} \right\} / n
 \end{aligned}
 \tag{2.55}$$

Кроме того все переменные характеризующие диаметры трубопроводов d должны быть зафиксированы и выведены из процесса оптимизации.

Сеть водоснабжения существует

$$d -> Const_Dl \tag{2.56}$$

(трубопроводы уже существуют и работают) и теперь задача оптимизации заключается только в нахождении оптимальной реконструкции сети.

Функция $f([d + \Delta d])$ характеризует стоимость одного погонного метра трубы с изменившимся диаметром труб $d + \Delta d$ и только вследствие реконструкции ($B(dL) = 1$).

2.9. Математическая оптимизационная модель реконструкции системы водоснабжения (с учетом консервативной примеси)

Часто система водопотребителей получает воду из различных источников с разными показателями качества воды. Такие системы получаются в результате разрастания и последующего соединения первоначально изолированных систем водоснабжения. Часто возникает ситуация когда в результате возрастания нагрузки на какой-либо источник воды в системе качество воды в нем начинает ухудшаться.

Вполне естественна попытка, улучшить качество воды поставляемой потребителям воды путем увеличения дебита из источника с более качественной водой при минимальной реконструкции сети. В качестве показателя качества рассмотрим минерализацию воды S . Выбран именно консервативный показатель качества воды. Для расчета движения и распределения не консервативных могут потребоваться специальные исследования, которые выходят за рамки этого исследования. Консервативной примесью называется примесь масса которой не изменяется во времени и не зависит от каких-либо физических или химических процессов.

Для того чтобы учитывать движение консервативной примеси в сети водоснабжения, в модель оптимального распределения воды необходимо добавить ряд уравнений.

Рассмотрим уравнение сохранения консервативной примеси. Данное уравнение должно использоваться только для тех узлов, в которых производится расчет водного баланса.

$$Q^{pump}(t) \cdot S^{pump}(t) + \sum_{in}^{Aj} Q(t)_{in} \cdot S(t)_{in} = Q^{intake}(t) \cdot S(t) - \sum_{out}^{Aj} Q(t)_{out} \cdot S(t) ; \quad (2.57)$$

$$Aj \subset Ai \quad \text{и} \quad Aj \notin Ar$$

где,

$S(t)_{in}$ – минерализация воды в трубопроводах подающих воду в расчетный узел “j” (гр/л),

$S^{pump}(t)$ – минерализация воды в источниках при расчетном узле (гр/л),

$S(t)$ – минерализация воды в расчетном узле (гр/л).

Понимается, что вода, поступившая по различным трубопроводам в расчетную точку полностью перемешивается и только после этого покидает расчетную точку.

Если $S(t)_{in}$ и $S^{pump}(t)$ зависят от того по какой трубе пришла вода в расчетную точку, то вытекающая вода и вода отобранная потребителем воды есть минерализация воды в самой расчетной точке $S(t)$.

Сложность в расчете данного уравнения заключается в том, что определить по какой трубе поступает вода и по какой уходит можно только рассматривая комбинацию величин:

- Наличие связи расчетного узла с соседним а это направленный граф (двумерное множество в котором обозначен начальный узел и конечный узел).
- Знак потока воды – отрицательный или положительный.

Например, если имеется связь “первый узел” – “второй узел” и расчетный поток отрицательный, то вода движется от второго узла к первому. Если расчетный поток положительный, то вода движется от первого узла ко второму. К сожалению смешанно-релаксированное оптимизирование

запрещает использование в алгоритме условий “если... тогда...” и нам придется воспользоваться некоторой хитростью. Дело в том, что при извлечении корня квадратного все вычислительные машины и языки программирования всегда берут только один положительный корень из двух равных по абсолютному значению корней (мы же знаем, что их всегда два – отрицательный и положительный). Именно этим обстоятельством мы и воспользуемся, чтобы в одном и том же уравнении вычислительный процесс шел по разным альтернативным путям в зависимости от условий “если... тогда...”.

Например

$$\begin{aligned}
 0.5 \cdot (X + \sqrt{X^2}) &= X_{x>0}; = 0_{x \leq 0} \\
 0.5 \cdot (X - \sqrt{X^2}) &= 0_{x \geq 0}; = -X_{x < 0}
 \end{aligned}
 \tag{2.58}$$

Уравнение (2.57) примет вид.

$$\begin{aligned}
 &Q^{pump}(t)_j \cdot S^{pump}(t)_j \\
 &+ \sum_{ji} DL_{ij} S(t)_i \cdot \{0.5 \cdot (Q(t)_{ij} + \sqrt{Q(t)_{ij}^2})\} \\
 &+ \sum_{ji} DL_{ij} S(t)_j \cdot \{0.5 \cdot (Q(t)_{ij} - \sqrt{Q(t)_{ij}^2})\} \\
 &= \\
 &Q^{intake}(t)_j \cdot S(t)_j \\
 &+ \sum_{jk} DL_{jk} S(t)_j \cdot \{0.5 \cdot (Q(t)_{jk} + \sqrt{Q(t)_{jk}^2})\} \\
 &+ \sum_{jk} DL_{jk} S(t)_k \cdot \{0.5 \cdot (Q(t)_{jk} - \sqrt{Q(t)_{jk}^2})\}
 \end{aligned}
 \tag{2.59}$$

Расчетный узел в (2.59) не принадлежит к множеству резервуаров $A_j \notin Ar$.

В уравнении (2.59) полностью учтено взаимодействие направления графа в описании сети водоснабжения и знака расчетного расхода воды.

К сожалению данное абсолютно верное уравнение, решаемое одновременно с абсолютно верным уравнением водного баланса сопровождается сложностями для оптимизирующей системы и ее solvers.

Для того чтобы, ускорить вычислительный процесс пришлось ввести некоторую дополнительную переменную – “искусственный источник или отбор минерализации” в расчетной точке и потребовать минимизацию его в процессе поиска оптимального решения для всей системы. Это искусственное воздействие многократно проверено на практике и обычно приводит к желаемым результатам.

Для того, чтобы наличие данной искусственной переменной не искажало результаты ее вес в объектной функции взят как одна тысячная часть от прочих реально существующих компонент.

Таким образом, расчетное уравнение примененное в модели имеет вид.

$$\begin{aligned}
 & Q^{pump}(t)_j \cdot S^{pump}(t)_j + \sum_{ji} DL_{ij} S(t)_i \cdot \{0.5 \cdot (Q(t)_{ij} + \sqrt{Q(t)_{ij}^2})\} \\
 & + \sum_{ji} DL_{ij} S(t)_j \cdot \{0.5 \cdot (Q(t)_{ij} - \sqrt{Q(t)_{ij}^2})\} = Q^{intake}(t)_j \cdot S(t)_j \\
 & + \sum_{jk} DL_{jk} S(t)_j \cdot \{0.5 \cdot (Q(t)_{jk} + \sqrt{Q(t)_{jk}^2})\} \\
 & + \sum_{jk} DL_{jk} S(t)_k \cdot \{0.5 \cdot (Q(t)_{jk} - \sqrt{Q(t)_{jk}^2})\} + Sart(t)_j; \tag{2.60}
 \end{aligned}$$

$$Sart(t)_j^2 \Rightarrow \min$$

И $A_j \cup A_r = \left(\begin{array}{c} \\ \end{array} \right)$

где,

$Sart(t)_j^2$ – искусственный сток или источник соли в расчетной точке.

Как отмечалось выше данный искусственный прием помогает в решении оптимизационных задач. Он обеспечивает плавность в вычислительных процессах при поиске оптимальных решений. Так или иначе, но без него задача оптимизации решается с помощью программного комплекса GAMS сложно и медленно.

Рассмотрим уравнение сохранения консервативной примеси в резервуарах системы водоснабжения.

$$\begin{aligned}
 S(t)_j \cdot V(t)_j &= S(t-1)_j \cdot V(t-1)_j \\
 &+ time_step \cdot \sum_{ij}^{DLij} Q(t)_{ij} \cdot S(t)_i \\
 &- time_step \cdot \sum_{jk}^{DLjk} Q(t)_{jk} \cdot S(t)_j
 \end{aligned} \tag{2.61}$$

$$A_j \cup A_r \neq ()$$

где,

$S(t)_j$ – минерализация воды в резервуаре в расчетный момент времени “t”,

$S(t-1)_j$ – минерализация воды в резервуаре в предыдущий расчетному моменту времени “t”,

$\sum_{ij}^{DLij} Q(t)_{ij} \cdot S(t)_i$ – минерализация воды в потоке поступающем в резервуар,

$\sum_{jk}^{DLjk} Q(t)_{jk} \cdot S_{out}(t)_j$ – минерализация воды в потоке покидающем резервуар.

Кроме того понадобится использовать уравнение баланса массы воды из модели оптимального распределения воды в сети водоснабжения (2.15).

$$\begin{aligned}
 V(t)_j - V(t-1)_j &= \frac{\partial Sr \cdot H_r}{\partial t} = W_{in} - W_{out} \\
 W_{in} &= time_step \cdot \sum_{ij}^{DLij} Q(t)_{ij} \\
 W_{out} &= time_step \cdot \sum_{jk}^{DLjk} Q(t)_{jk}
 \end{aligned} \tag{2.62}$$

где,

$V(t)_j$ – объем воды в резервуаре в расчетный момент времени,

$V(t-1)_j$ – объем воды в резервуаре в предыдущий к расчетному моменту времени,

W_{in} – объем воды в поступивший в резервуар в расчетный интервал времени,

W_{out} – объем воды в покинувший резервуар в расчетный интервал времени.

После алгебраических преобразований уравнение (2.60) примет вид (2.63)

$$\begin{aligned}
 S(t)_j &= S(t-1)_j - S(t-1)_j \\
 &+ S(t-1)_j \cdot V(t-1)_j / V(t)_j \\
 &+ time_step \cdot \sum_{ij}^{DLij} Q(t)_{ij} \cdot S(t)_i / V(t)_j \\
 &- time_step \cdot \sum_{jk}^{DLjk} Q(t)_{jk} \cdot Sout(t)_j / V(t)_j \\
 &- time_step \cdot \sum_{ij}^{DLij} Q(t)_{ij} \cdot S(t-1)_j / V(t)_j \\
 &+ time_step \cdot \sum_{ij}^{DLij} Q(t)_{ij} \cdot S(t-1)_j / V(t)_j
 \end{aligned} \tag{2.63}$$

или

$$\begin{aligned}
 S(t)_j &= S(t-1)_j - S(t-1)_j \\
 &+ S(t-1)_j \cdot V(t-1)_j / V(t)_j \\
 &+ \sum_{ij}^{DLij} Win(t)_{ij} \cdot S(t)_i / V(t)_j \\
 &- \sum_{jk}^{DLjk} Wout(t)_{jk} \cdot Sout(t)_j / V(t)_j \\
 &- \sum_{ij}^{DLij} Win(t)_{ij} \cdot S(t-1)_j / V(t)_j \\
 &+ \sum_{ij}^{DLij} Win(t)_{ij} \cdot S(t-1)_j / V(t)_j \\
 S(t)_j &= S(t-1)_j \\
 &+ \{ \sum_{ij}^{DLij} Win(t)_{ij} \cdot S(t)_i / V(t)_j \\
 &- \sum_{ij}^{DLij} Win(t)_{ij} \cdot S(t-1)_j / V(t)_j \} \\
 &- S(t-1)_j \\
 &+ S(t-1)_j \cdot V(t-1)_j / V(t)_j \\
 &- \sum_{jk}^{DLjk} Wout(t)_{jk} \cdot Sout(t)_j / V(t)_j \\
 &+ \sum_{ij}^{DLij} Win(t)_{ij} \cdot S(t-1)_j / V(t)_j
 \end{aligned} \tag{2.64}$$

Воспользовавшись независимостью переменной $S(t-1)$ от $Win(t)_{ij}$ запишем:

$$\begin{aligned}
 S(t)_j &= S(t-1)_j \\
 &+ \{ + \sum_{ij}^{DLij} Win(t)_{ij} \cdot [S(t)_i - S(t-1)_j] / V(t)_j \\
 &- S(t-1)_j \\
 &+ S(t-1)_j \cdot V(t-1)_j / V(t)_j \\
 &- \sum_{jk}^{DLjk} Wout(t)_{jk} \cdot Sou(t)_j / V(t)_j \\
 &+ \sum_{ij}^{DLij} Win(t)_{ij} \cdot S(t-1)_j / V(t)_j
 \end{aligned} \tag{2.65}$$

или

$$\begin{aligned}
 S(t)_j &= S(t-1)_j \\
 &+ \{ + \sum_{ij}^{DLij} Win(t)_{ij} \cdot [S(t)_i - S(t-1)_j] / V(t)_j \\
 &+ S(t-1)_j \cdot \{-1 \\
 &+ V(t-1)_j / V(t)_j \\
 &- \sum_{jk}^{DLjk} Wout(t)_{jk} / V(t)_j \\
 &+ \sum_{ij}^{DLij} Win(t)_{ij} / V(t)_j \}
 \end{aligned} \tag{2.66}$$

При преобразованиях принята гипотеза что $S_{out}(t)_j = S(t-1)_j$.

Это действительно так, поскольку при истечении воды из резервуара вполне допустимо принять, что минерализация воды истекающей из резервуара равна минерализации воды в резервуаре на момент начала истечения. То есть в течении расчетного интервала времени происходит полное перемешивание воды в резервуаре с обеспечением равной концентрации примеси по всей массе воды содержащейся в резервуаре. Только в случае, когда по одним трубам идет заполнение резервуара, а по другим его опорожнение, в один и тот же момент времени, данная гипотеза не окажется верной. Но в качестве ограничения при описании структуры модели направленными графами было принято ограничение: резервуар всегда подсоединен одной трубой

к системе, направленный граф имитирующий этот трубопровод имеет конечной точкой резервуар.

Из уравнения (2.66) следует

$$\begin{aligned} & \{-1 + V(t-1)_j / V(t)_j \\ & - \sum_{jk} DL_{jk}^{Ljk} W_{out}(t)_{jk} / V(t)_j \\ & + \sum_{ij} DL_{ij}^{Lij} W_{in}(t)_{ij} / V(t)_j\} = 0 \end{aligned}$$

И значит расчетное уравнение упрощается и принимает вид

$$\begin{aligned} S(t)_j &= S(t-1)_j + \sum_{ij} DL_{ij}^{Lij} W_{in}(t)_{ij} \cdot [S(t)_i - S(t-1)_j] / V(t)_j \\ S(t) &= S(t-1) + \sum [W_{in} \cdot (S_{in} - S_{(t-1)})] / V_{(t)} \end{aligned} \quad (2.67)$$

Выводы по главе II

1. Разработана оптимизационная модель расчета сетей водоснабжения с поиском минимальной цены входящих в нее элементов и затрат на функционирование.

2. Разработанная ранее и описанная выше математическая модель позволяет наряду с облегчением расчета вновь проектируемых водопроводных сетей, рассчитать оптимальные реконструкции водопроводных сетей при их развитии с подключением новых участков к уже существующим сетям или изменения требований со стороны уже имеющих потребителей воды.

ГЛАВА III. ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА И ИНТЕРФЕЙСА МОДЕЛИ

3.1. Структура системы оптимизации систем водоснабжения

На рисунке. 3.1. Представлена система оптимизации сетей водоснабжения, в виде взаимосвязанной системы взаимодействующих программ. Для работоспособности данной системы необходимо чтобы на компьютере был установлен EXCEL (электронные таблицы) и GAMS (General Algebraic Modeling System). GDX файл есть универсальное средство для совместной работы как единого целого разных моделей GAMS (существующие и будущие). Именно поэтому предусмотрена возможность создания данного типа файла в нашем графическом редакторе. Через данный файл иные оптимизационные модели GAMS получают легкий доступ к потоку входной информации нашей модели и смогут использовать его. Работа с GDX файлами серьезно усиливает потребительскую полезность нашего графического редактора.

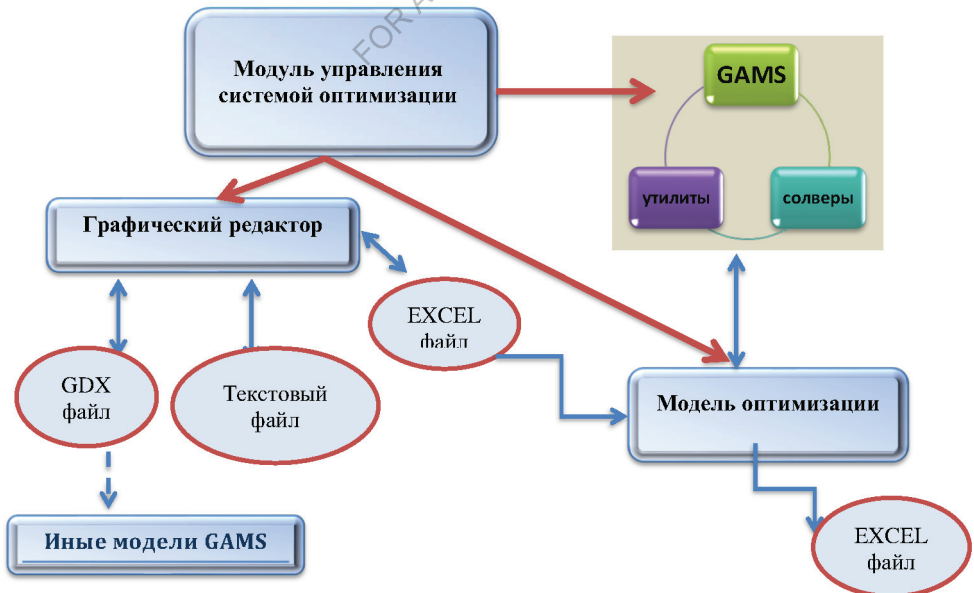


Рис. 3.1. Структура модели оптимизации системы водоснабжения

3.2. Модуль управления системой оптимизации

Модуль управления системой оптимизации сетей водоснабжения является простейшей программой вызова на исполнение модели на языке GAMS. Необходимость в использовании данной программы зависит от предпочтений пользователя, поскольку фактически в полной мере используется всего одна модель на языке GAMS (или ее клон с учетом качественных консервативных показателей воды). При необходимости модуль управления (фактически вызова на исполнение) может быть легко создан на любом языке программирования и поэтому пока его описанию внимание в отчете не уделяется.

3.3. Графический редактор

Существуют три версии модели и графического редактора, Версии графического редактора абсолютно тождественные с точки зрения их расчетной части на трех языках (английском, узбекском и русском). Версии графического редактора взаимозаменяемы и результаты расчетов в них тождественны. Использование любой из версий – вопрос предпочтений или удобства каждого конкретного пользователя. Графический редактор позволяет создавать и редактировать три типа файлов: GDX файл, текстовый файл, EXCEL файл. Его вид в начале работы представлен на рисунке 3.2.

Активируется графический редактор запуском исполняемой программы “Editor.exe ”

Из трех типов файлов только EXCEL файл является файлом ввода информации для модели оптимизации. Это связано с тем, что часть параметров определяющих работу оптимизационной модели и необходимых для расчета содержится только в EXCEL файле и недоступно к редактированию в графическом редакторе. Например:

ограничения по давлению, распределение потребления по часам в течении суток.

При активизации программы графического редактора появляется рабочая панель, в которой недоступны или даже невидимы все кнопки управления кроме: “OPEN GDX file”, “OPEN TEMP file”, “OPEN EXCEL file”, “NEW”. Рекомендуется воспользоваться первыми из трех вышеупомянутых кнопок только при уверенности, что данные файлы существуют, и они были созданы с помощью данного графического редактора. В противном случае возможно появление произвольной и непредсказуемой ошибки (хотя специальным алгоритмом в графическом редакторе предусмотрена некоторая защита от подобных ситуаций). Клавиша “NEW” работает всегда и позволяет создать графическое отображение системы водоснабжения с начала и до конца.

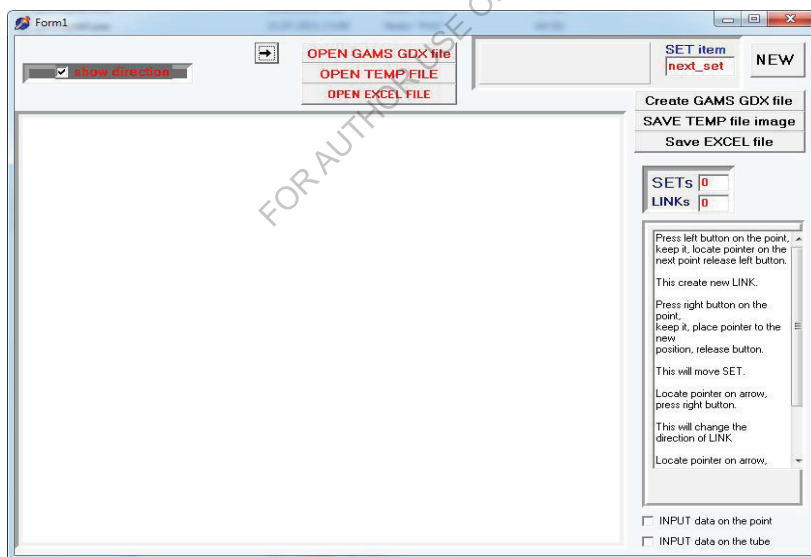


Рис.3.2. Вид графического редактора в начале работы (английская версия)

Клавиша “NEW”

После нажатия клавиши “NEW” пользователю становится доступным работа с целым рядом новых клавиш и новых режимов. См. рисунок 3.3. Слева сверху появляются клавиши позволяющие: уменьшать, увеличивать, сдвигать, вращать созданную в графическом редакторе схему, отображать или прятать стрелки направлений связей между узлами. Справа сверху появляется доступ к активизации двух альтернативных (работает только один) режимов:

- “Add or delete simple set”
- “Add or delete links”

Справа внизу появится доступ к активизации двух не альтернативных (могут работать оба вместе) режимов:

- “Input data for point”
- “Input data for link”

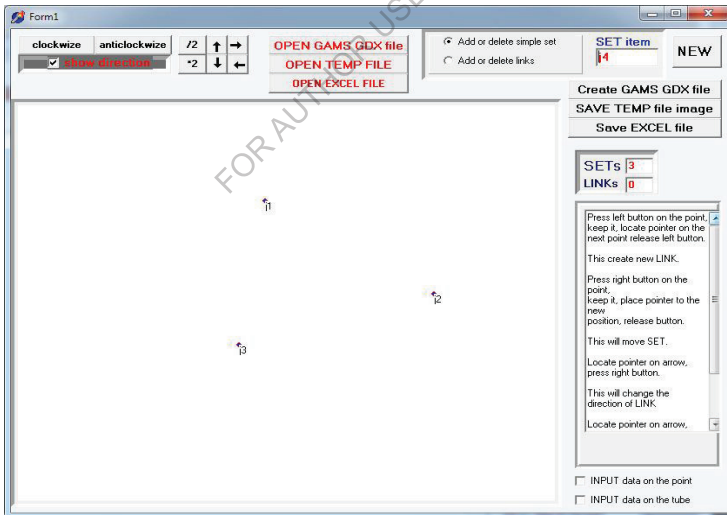


Рис.3.3. Вид графического редактора в готового к работе и введенными тремя точками

Следующая точка будет иметь имя “j4”, если пользователь не изменит это имя появившееся автоматически в окошке ”Set item” (См.рис.3.3).

“Add or delete simple set” включен “Input data for point” не включен

Справа по краю возникает памятка возможностей при использовании данного режима. В правом верхнем углу в окошке “Set Item” предлагается имя точки при условии, если точка будет поставлена на схеме под указателем мыши при нажатии ее деовой клавиши. Пользователь может поставить в окошке иное имя. Нажатием левой клавиши мыши пользователь вводит в систему новую точку с именем, которое было до нажатия кнопки в этом окошке “Set Item”. Пользователю не удастся поставить одну точку рядом с другой. Расстояние между точками не может быть меньше чем пять пикселей. Рис. 3.3 показывает окно редактора после ввода трех точек. При нажатии правой клавиши мыши и позиционировании ее на какой-то точке происходит безвозвратное удаление этой точки со всеми ее связями с другими точками. Редактор не допускает использование одного и того же имени для двух разных точек. При возникновении такой ситуации пользователю будет предложено сменить предполагаемое имя для будущей точки в окошке “Set Item”.

“Add or delete simple set” включен “Input data for point” включен.

Теперь, при нажатии правой клавиши мыши и позиционировании указателя мыши на некоторой точке произойдет не удаление точки, а появление микро редактора с информацией ассоциированной с данной точкой и доступной к редактированию. Рисунок 3.4 показывает окно микро редактора после ввода трех точек и позиционировании указателя мыши на точке “j1”.

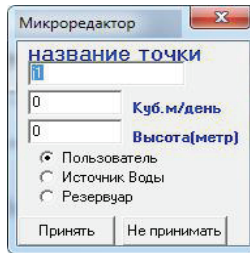


Рис. 3.4. Окно микро редактора для изменения информации принадлежащей точке “j1” (версия на русском языке)
Пользователь может изменить и сущность точки: “Пользователь” “Источник воды” или “Резервуар”. При выборе “Резервуар” измениться и требуемая размерность к вводимой или уже введенной ранее информации с “м³ в день” на “квадратный метр” (имеется в виду максимальная площадь горизонтальной поверхности резервуара). Для “Пользователя”, “м³ в день” будет обозначать его требование на поставку воды в течении дня. Для “Источника”, “м³ в день”, будет обозначать максимально возможное количество поставляемой воды в течении дня. В случае принятия изменений они будут размещены в память системы или же в случае не принятия, они будут отброшены и забыты. Точки, отображающие “Пользователей воды”, “Источники воды” и “Резервуары на схеме отображаются разными символами упрощающими восприятие.

“Add or delete links” включен “Input data on the tube” не включен.
При данных режимах, соответствующим образом меняется памятка возможностей режима расположенная справа от рабочего поля панели графического редактора.

Пользователь, позиционируя указатель мыши на одной из точек и удерживая в нажатом положении левую клавишу мыши, может переместить указатель мыши на любую из иных точек. Отпустив левую клавишу, пользователь создаст связь между двумя точками. Освобождение левой клавиши при отсутствии позиционирования указателя на конечной для связи точки (не меньше пяти пикселей до конечной точки) связи не создает. На рисунке 3.5 отображено окно с

четырьмя созданными связями. Связь начинается от начальной точки и направляется в конечную. Стрелочка показывает направление данной связи. Но пользователь может, позиционируя указатель мыши на данную стрелочку и нажав правую клавишу сменить направление связи. Если же пользователь при этом будет удерживать клавишу “ALT” в нажатом положении, то связь безвозвратно будет удалена. Пользователь, при позиционировании указателя мыши на точке, нажатии и удержании в нажатом положении правую клавишу мыши, может сдвинуть точку вместе со всеми имеющимися связями. Это позволяет придать схеме удобный и понятный вид при ее проектировании.

При данных режимах, при нажатии правой клавиши мыши и позиционировании указателя мыши на стрелочке связи появляется окно микро редактора. Микро редактор используется для редактирования свойств ассоциированных с данной связью. На рисунке 3.6 отображено окно микро редактора (в данном случае связь точек “j1” и “j2”). В окошках макроредактора, любая из цифр может быть изменена, принята, или редактор закрыт без учета каких-либо изменений.

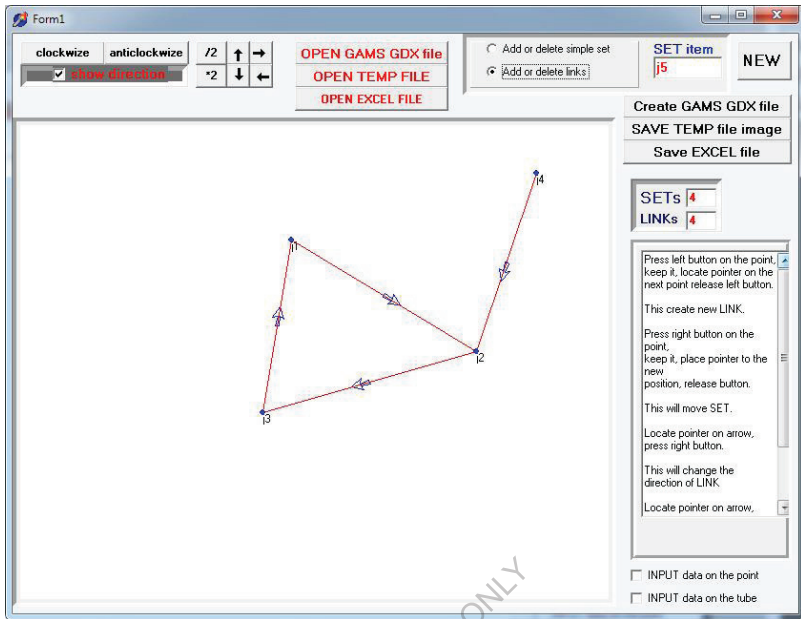


Рис. 3.5. Окно микро редактора для изменения информации принадлежащей точке “j1”.

“Add or delete links” включен “Input data on the tube” включен

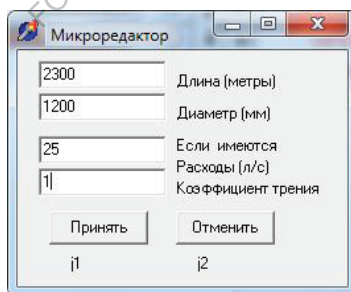


Рис.3.6. Окно микро редактора редактирования свойств связи между точками “j1” и “j2”.

Файлы ввода и вывода графического редактора GDX файл

GDX файлы являются специфическими файлами коммуникации моделей для системы GAMS. Их структура является коммерческой

тайной GAMS Development Corporation и здесь не исследуется. При создании нового GDX файла старый GDX файл уничтожается.

При создании GDX файла предлагается имя “gdx_outfile.gdx”. Впрочем оно может быть изменено. Не следует графическим редактором читать любой GDX файл. Возможно появление непредсказуемых ошибок (хотя предусмотрена некоторая защита от таких действий). Не следует пытаться открывать не GDX файл способом открытия GDX файла. Результат возможно будет также непредсказуем. Открывать редактором следует только тот GDX файл, который был создан самим редактором. Просмотр созданного GDX файла возможен через GAMSIDE панель (подразумевается наличие GAMSIDE системы на компьютере пользователя).

Текстовый файл

Текстовый файл создается из памяти графического редактора и читается данным редактором. Он содержит структурированную информацию с необходимыми комментариями и пользователь через некоторое время может научиться легко, исправлять ее в любом ином текстовом редакторе, если на то будет необходимость. При создании текстового файла предлагается имя “temp.tmp”. Данный тип файла используется только для быстроты запоминания и чтения графическим редактором. Его рекомендуется создавать для дублирования расчетной системы водоснабжения и для безопасности при хранении основных данных. Пример такого файла приведен ниже. Текстовый файл настолько прост в структуре, что не требует каких-либо пояснений, тем более что все необходимые комментарии присутствуют в данном файле, и они создаются всегда и автоматически.

```
6 15    <=HOW_MANY SIMPLE set and HOW_MANY links
0 10.00000 170 170 <= angle multy ,move_to_x, move_to_y
name_of_simple_set      Demand      High Type
j1                      1000.000    70.000    1
j2                      0.000      70.000    0
j3                      0.000      70.000    0
```

j4	0.000	70.000	0
j5	0.000	70.000	0
j6	0.000	70.000	0
j7	10.000	70.000	2
j8	0.000	70.000	0
j9	100.000	70.000	0
j10	110.000	70.000	0
j11	10.000	70.000	2
j12	120.000	70.000	0
j13	130.000	70.000	0
j14	140.000	70.000	0
j15	150.000	70.000	0
j16	160.000	70.000	0

number_set	x,	y_coordinates
1	17	-134
2	16	-25
3	16	59
4	17	134
5	136	143
6	137	72
7	248	-66
8	138	-7
9	136	-119
10	-72	62
11	-65	-48
12	-69	142
13	135	226
14	253	74
15	251	-3
16	136	-64

FOR AUTHOR USE ONLY

	Number first_SET	second_SET_(connected)	Diam	Length	Runoff	Coef
1	1	2	1000.0	100.0	0.0	1.0
	2	3	1000.0	100.0	0.0	1.0
	3	4	1000.0	100.0	0.0	1.0
	4	5	1000.0	100.0	0.0	1.0
	5	6	1000.0	100.0	0.0	1.0
	6	8	1000.0	100.0	0.0	1.0
	7	11	1000.0	100.0	0.0	1.0
	8	10	1000.0	100.0	0.0	1.0
	9	12	1000.0	100.0	0.0	1.0
	10	13	1000.0	100.0	0.0	1.0
	11	14	1000.0	100.0	0.0	1.0
	12	15	1000.0	100.0	0.0	1.0
	13	7	1000.0	100.0	0.0	1.0
	14	9	1000.0	100.0	0.0	1.0
	15	16	1000.0	100.0	0.0	1.0

EXCEL файл

Данный файл есть главный файл, с помощью которого информация поставляется в расчетную модель. Возможны две ситуации.

EXCEL файл с именем указанным при сохранении в графическом редакторе не существует, и EXCEL файл с именем указанным при сохранении в графическом редакторе существует.

EXCEL файл не существует

Файл автоматически создается с двумя страницами (страницы имеют фиксированные имена: “NODES” и “DATA”) которые нужны для чтения из модели оптимизации сети водоснабжения но и с необходимым форматированием и заполнением значениями по умолчанию которые не редактированы в графическом редакторе и тем не менее понадобятся в расчетах. Пример автоматически создаваемого EXCEL файл с автоматическим форматированием таблиц и их заполнения приводится на рисунке 3.7.

Вид и цвета заполнения таблиц могут быть изменены пользователем по его желанию и останутся неизменными даже при новой перезаписи через графический редактор.

OPTION	0 or 1	CONSTRAINTS	Units	MAX	MIN	COSTS	Uni
Simulation	0	Water_pressu	Meter	60	10	Tube	Met
Optimization	1	Tube_diamet	Meter	6000	100	Reservoir	Squ
reconstruction	0	Area of TAN	Square_M	1000	1	Energy	KW
turnoff_tanks	0	Deficit	Percentage	0		Stabilization	Met

GAMS used	GAMS used	GAMS not use	GAMS not use	GAMS not use	GAMS used	GAMS used	GAM
				Cub.M / day			
POINT Name	HIGH point	X position	Y position	Demand/Supply	Node Type	Start point	End
j1	0	17	-134	1000	1	j1	j2
j2	0	16	-25	0	0	j2	j3
j3	0	16	59	0	0	j3	j4
j4	0	17	134	0	0	j4	j5

Рис.3.7. Вид левого верхнего угла страницы “Nodes” сформированного автоматически графическим редактором

Все таблицы снабжены шапками с комментариями и пояснениями. Поэтому нет необходимости еще раз пояснять в каком столбце и какая величина находится. Для описания таблиц воспользуемся правилом упоминать левую верхнюю ячейку таблицы.

Таблицы “С2”, “F2”, “K2” создаются один раз графическим редактором при создании нового файла EXCEL и по заполняются данными умолчанию. Эти таблицы недоступны в дальнейшем для редактирования через графический редактор. Они могут редактироваться обычным способом через приложение EXCEL Microsoft.

Таблица “B9”, “K9” создается по умолчанию и доступна через графический редактор. Она может редактироваться обычным способом через приложение EXCEL Microsoft только при полном понимании ее структуры. Особую осторожность следует соблюдать при редактировании имен находящихся в колонке “B” и колонках “K” и “L” ниже 10 строки. Цифры в таблицах можно редактировать с большей свободой и с меньшим опасением.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with columns J through U and rows 1 through 18. The data is organized into several tables with blue headers and green data cells.

	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1												
2		COSTS	Units	1000 UzSum		Type_of_dem	Cub.M.daily	Priority				
3		Tube	Meter	1		Industry	1	1		DEMAND less	then CAPACITY	
4		Reservoir	Square_M	100		People	1	1			Cub.m.per day	
5		Energy	KWH	0.1		Irrigation	1	1		Total_demand	914	
6		Stabilization	Meter/hour	100		Farmers	1	1		Total_Capacity	1000	
7												
8												
9		GAMS used	GAMS used	GAMS used	GAMS can use	GAMS used	GAMS used			GAMS use	GAMS use	GAMS not use
10				Meter	Cub.m/sec	mm	From 1				Cub.m daily	
11		Start_point	End_point	Length	Runoff real	Diameter	to 3			User name	Water Demand	Type
12		j1	j2	100	0	100	1			j2	0	0
13		j2	j3	100	0	100	1			j3	0	0
14		j3	j4	100	0	100	1			j4	0	0
15		j4	j5	100	0	100	1			j5	0	0
16		j5	j6	100	0	100	1			j6	0	0
17		j6	j8	100	0	100	1			j8	0	0
18		j2	j11	100	0	100	1			j9	100	0

Рис.3.8. Вид центральной части страницы “Nodes” сформированного автоматически графическим редактором

На рисунке 3.8 изображены автоматически созданные таблицы “O2”, “S5” и “S9”. Таблица “O2” может редактироваться впоследствии только через

EXCEL. Таблица “S5” не используется моделью и служит только для оценки поставленной задачи водоснабжения. Таблица “S9” непосредственно используется моделью и доступна для редактирования. Она важнее таблицы “B9”. Графический редактор формирует таблицу “B9” на основе таблицы “S9”. При чтении данного EXCEL файла в графический редактор поступит информация только из таблицы “S9”. Пользователь может менять данные одновременно в таблицах “S9” и “B9” сверяя имена точек. Таблица “S9” более понятна по своей структуре, нежели таблица “B9” где одновременно присутствуют сведения не только о водозаборах, но и о производительности насосов и максимально допустимой величины горизонтального сечения резервуаров.

Столбец “AA” в таблице “Y9” не воспринимается нашим графическим редактором и может быть отредактирован только через EXCEL Microsoft. Данный столбец содержит информацию о наличие консервативной примеси в водоисточниках и будет использоваться только моделью учитывающий расчет движения консервативной примеси в системе водоснабжения. Обычная модель данный столбец не использует.

На рисунке 3.9 изображен правого верхнего угла листа “NODES”

	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI
1																
2																
3	then CAPACITY															
4	Cub.m.per day															
5	914															
6	1000															
7																
8																
9	GAMS use	GAMS not use				GAMS use	GAMS_S use			GAMS used	GAMS used					
10	Cub.m_daily					Cub.m_daily				Sq.Meter						
11	Water Demand	Type				Supply name	Water pump	Salinity		Tank name	Max area		Exist on	Diameter	1000 sum	
12	0	0				j1	1000	0		j7	10		D_real_1	300	0.05	
13	0	0								j11	10		D_real_2	600	0.2	
14	0	0											D_real_3	900	0.45	
15	0	0											D_real_4	1200	0.8	
16	0	0											D_real_5	1500	1.25	
17	0	0											D_real_6	1800	1.8	
18	100	0											D_real_7	2100	2.45	
19	110	0											D_real_8	2400	3.2	
20	120	0											D_real_9	2700	4.05	

Рис.3.9. Вид правого верхнего угла страницы “Nodes” сформированного автоматически графическим редактором

Industry	0	1
People	0	1
Irrigation	0	1
Farmers	0	1

Рис. 3.11. Типы водопотребления учитываемые в модели

Дополнительный тип водопотребления по узлам содержится в таблице “S9” и представлен на рисунке 3.12.

название	требования	высота
точки	куб.метр в день	метр
j1	Насос	10
j2	0	12
j3	0	11
j4	0	13
j5	0	14
j6	0	12
j8	0	13
j9	300	14
j10	310	11
j12	320	12
j13	330	11
j14	340	10
j15	350	11
j16	360	12
j7	Резервуар	12
j11	Резервуар	12

Рис.3.12. Вид сводной таблицы о требуемых точечных водоотборах и высоте расположения точек сети водоснабжения с страницы “Nodes” (здесь для экономии места совмещены две отдельные таблицы – высоты расположения и требования на воду)

На рисунке 3.13 представлены важные характеристики сети водоснабжения.

Заметим, что расход взят по нашему же расчету, но подразумевается, что здесь должен стоять расход воды на участке сети, полученный альтернативным путем (замеры или иные модели).

Диаметр труб также взят из нашего же расчета, но в данном столбце должны стоять или реально примененные диаметры труб или трубы, рекомендованные из альтернативных расчетов или предпочтений. Коэффициент сопротивления есть соответствие расчетной формуле построенной для новых труб. Со временем эксплуатации вследствие старения коэффициент может увеличиться до трех.

Начальная Точка	Конечная Точка	длина метры	расход литр в секунду	диаметр труб мм	коэффициент сопротивления
j1	j2	200	26.709	243.9	1
j2	j3	250	26.709	243.9	1
j3	j4	300	23.125	235.3	1
j4	j5	200	19.425	225.3	1
j5	j6	250	15.609	213.5	1
j6	j8	300	11.678	198.9	1
j8	j16	150	7.631	173.8	1
j2	j11	300	0.000	100.0	1
j3	j10	250	3.584	100.0	1
j4	j12	250	3.700	100.0	1
j5	j13	150	3.816	100.0	1
j6	j14	100	3.931	100.0	1
j8	j15	300	4.047	131.3	1
j16	j7	250	0.000	100.0	1
j16	j9	100	3.469	145.3	1

Рис.3.13. Вид таблицы о показателях сети водоснабжения с страницы “Nodes”

Показатели системы водоснабжения (длины труб диаметры труб)

Таблицы распределения водопотребления по времени для индустрии ирригации, малой ирригации и фермеров должны содержать суммарный процент равный 100. Отдельное точечное потребление должно содержать суммарный процент 100 в каждой строке. При невыполнении этого условия модель остановит расчет и выдаст соответствующее требование к корректировке процентов в какой-либо из этих пяти таблиц.

Почему такая разница в требовании к сумме процентов? Дело в том Питьевое водоснабжение (“drinking”) и полив частных дворов (“small irrigation”) распределяются по всем узлам сети специальным алгоритмом пропорционально длине участков сети водоснабжения. Таким образом, данные два типа водоотбора и особый отдельный водоотбор (“additional”) разнятся по всем узлам сети. Именно поэтому по каждому из узлов вводится информация о процентном водоотборе в течении разных часов внутри суток. Поэтому вторая третья и пятая таблица содержат строки с данными о процентном распределении и в сумме по строкам эти проценты должны давать стопроцентный водоотбор.

Первая и четвертая таблица характеризуют индустриальное водопотребление и фермерское водопотребление совершенно ясно что ни в каждом из узлов сети находятся индустриальные предприятия или специализированные фермерские хозяйства.

Поэтому общее водопотребление индустриальных и фермерских хозяйств из таблицы “o2” и листа “nodes” процентное распределяются только между несколькими узлами сети. Именно поэтому сумма всех процентных потреблений по часам в этих таблицах должна соответствовать цифре 100 процентов.

EXCEL файл существует

Все таблицы доступные к редактированию через графический редактор будут отредактированы. Но специфические изменения произойдут, в случае если часть узлов были удалены и добавлены новые.

Все имевшиеся сведения будут сохранены в правильных соответствиях и местах на нужных позициях, а новые узлы и связи, а также данные при них, созданные по умолчанию или определенные пользователем через микро редакторы, будут выделены красным цветом. Это позволит пользователю впоследствии легко найти и отредактировать необходимые данные через EXCEL Microsoft. Вид добавленных по умолчанию данных как это и показано на рисунке 3.14.

j15	1	1	1	1	1	5	7	7	17	17	17	7
j16	1	1	1	1	1	5	7	7	17	17	17	7
j17	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167
j117	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167	4.167

Рис.3.14. Вид таблицы процентного распределения точечного водосбора по новым добавленным узлам сети выделяются красным цветом

На этом краткое описание свойств и особенностей графического редактора разработанного специально для модели оптимизации сети водоснабжения и ее оптимальной реконструкции заканчивается.

Файл вывода результатов расчета на примере расчета системы водоснабжения

Напомним, что существует три версии одной и той же модели (английский узбекский русский). Версии взаимозаменяемы и результаты расчетов в них тождественны. Использование любой из версий – вопрос предпочтений или удобства каждого конкретного пользователя. Однако некоторые комментарии сохраняются на английском языке в любом случае. Это связано с тем, что кириллица вообще не воспринимается в некоторых действиях внутри языка GAMS (русский язык и узбекский язык в данном случае будут одинаково ограничены языком GAMS). Но и при переходе на латиницу некоторые специфические буквы узбекской транскрипции будут вызывать ошибки. Исходя из этого, русский язык и узбекский язык применялся в соответствующих версиях в максимально возможных пределах, но не удалось полностью сформировать входные и выходные файлы на этих языках. Часть информации и в русской и в узбекской версии по-прежнему была оставлена на английском языке и это не наша вина, а ограничение используемого программного обеспечения.

Файл вывода результатов (при его отсутствии) создается автоматически со всеми необходимыми страницами.

При создании файла вывода автоматически, в него не включаются какие-либо визуальные эффекты. Все достаточно уныло и не отформатировано для удобства восприятия. Пользователь должен провести форматирование самостоятельно для себя и для своего удобства. Все формы украшений таблиц и форматирования данных сохраняются при последующем использовании данного файла для вывода новых обновленных значений. Возможен путь, когда пользователь будет использовать шаблон файла, созданный им для решения предыдущей задачи. Все данные в нем будут обновлены, но все виды форматирования сохранены. В данном случае файл не создается для вывода, а уже используется как существующий.

При существовании файла вывода информация в нем полностью обновляется.

Все цифры и комментарии, расположенные снизу и справа от обновляемых таблиц удаляются. Для того чтобы сохранить свои расчеты не связанные с выводом модели пользователь должен будет создать дополнительные листы с именами не входящими в список имен создаваемых или используемых моделью для вывода информации. Дополнительные листы, если они были созданы пользователем, сохраняются. Сохраняются все визуальные эффекты (цвет и фон цифр, окраска и окантовка таблиц, вид таблиц, скрипты). К сожалению GAMS позволяет использовать комментарии на кириллице или с использованием специфических букв узбекского алфавита не всегда. Поэтому кириллица может использоваться в соответствующих версиях только там, где это возможно.

Для демонстрации в модели оптимизации возможностей файлов ввода и вывода информации рассмотрим простейший пример сети водоснабжения. Пример создан в графическом редакторе и отображается на рисунке 3.15. Насос на схеме всегда отображается кругом большего диаметра, нежели потребитель. Резервуары отображаются прямоугольниками. Данные элементы хорошо различимы на рисунке 3.15.

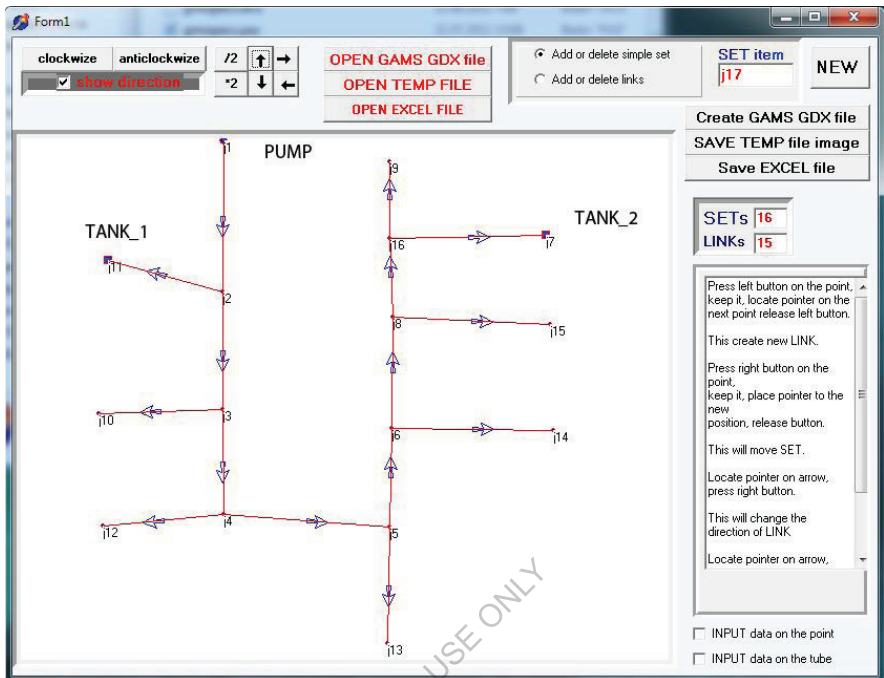


Рис.3.15. Вид окна графического редактора с построенным простейшим примером сети водоснабжения

Создаваемый редактором файл имеет по умолчанию имя "Input_to_GAMS_model.xls" но имя может быть произвольным.

После выделения таблиц некоторым цветом и форматирования данных вывода для удобства чтения, файл вывода информации представляет и себя полнейший отчет о всех процессах происходящих внутри математического аналога системы водоснабжения. Все расчетные переменные и частично исходные данные представлены в данном файле в виде таблиц. Доступ к таблицам происходит со специального листа книги EXCEL "Output_from_GAMS_model.xls" с названием "TOC" (Table of Content) с помощью автоматически формируемых связей. С каждой из таблиц можно легко вернуться снова на лист оглавления "TOC" через hyperlink EXCEL также формируемый автоматически. Все автоматически

создаваемые hyperlink EXCEL выделяются, голубым цветом и подчеркиваются. На рисунке 3.15 представлен список имеющейся информации доступ, к которой легко получить, только нажав левую клавишу мыши при позиционировании ее указателя на требуемую информацию.

	A	B	C
1		Table of Content	
2			
3			
4	pump in	Закачка воды в систему насосом (реальные трубы) (куб.метр в сек.)	
5	Par Diameter	Реальные диаметры труб ближайщие к оптимальным -метр	
6	Par Area	Площадь резервуаров (реальные трубы) - квадр.метр	
7	par H	Давление в трубе на узле (Реальные трубы) -метр	
8	par intake	Водоотбор (Реальные трубы) - куб.метр в сек.	
9	par flow	Расход воды от узла к узлу (Реальные трубы) - куб.метр в сек	
10	Par demand	Потребление на узлах сети в литр в сек	
11	on off	Трубопроводы для реконструкций будут работать	
12	Par Rec Diameter	План реконструкций	
13	Deficit in percent	Дефицит воды у пользователей в процентах	
14	CHART		
15			
16			
17	pump in opt	Закачка воды в систему (оптимальные диаметры)-куб.метр в сек.	
18	Par Diameter opt	Оптимальные диаметры труб -метр	
19	Par Area opt	Площадь резервуаров (оптимальные диаметры) -квдр.метр	
20	par H opt	Давление в трубе на узле (оптимальные диаметры) -метр	
21	par intake opt	Водоотбор (оптимальные диаметры) - куб.метр в сек.	
22	par flow opt	Расход воды от узла к узлу (оптимальные диаметры) - метр	
23	Comparison	Сравнение результатов модели и результатов иных расчетов (л. в сек)	
24			
25	VELOCITY	Скорость метр в секунду	
26	Headloss	Потери напора в метрах	
27			
28			
29			
30			
31			
32			

Рис. 3.16. Таблица оглавления результатов расчета с комментариями и доступом к результатам через hyperlinks EXCEL

Суть каждого пункта (левая колонка) приводится в комментариях (правая колонка).

не уничтожается при повторных расчетах, но данные для него обновляются. Пользователь видит графически отображаемую картину процессов внутри сети водоснабжения.

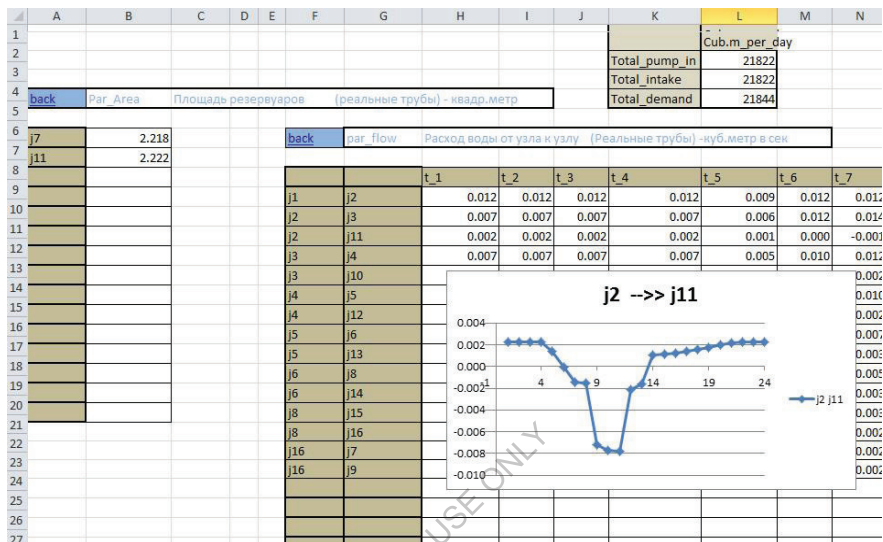


Рис. 3.18. Таблицы о расходах воды между узлами сети и оптимальных размеров

Для визуализации результатов расчетов был разработан специальный скрипт на BASIC для использования внутри EXCEL. Его задача графически отобразить расчетную схему в EXCEL файле вывода информации. При автоматическом создании файла вывода пользователь должен разместить скрипт на рабочей странице с именем “CHART”, чтобы кнопка запускающая скрипт располагалась как можно ближе к левому верхнему углу рабочего листа. В противном случае она может быть автоматически удалена работой скрипта при обновлении результатов.

На рисунке 3.19 изображен результат работы скрипта.

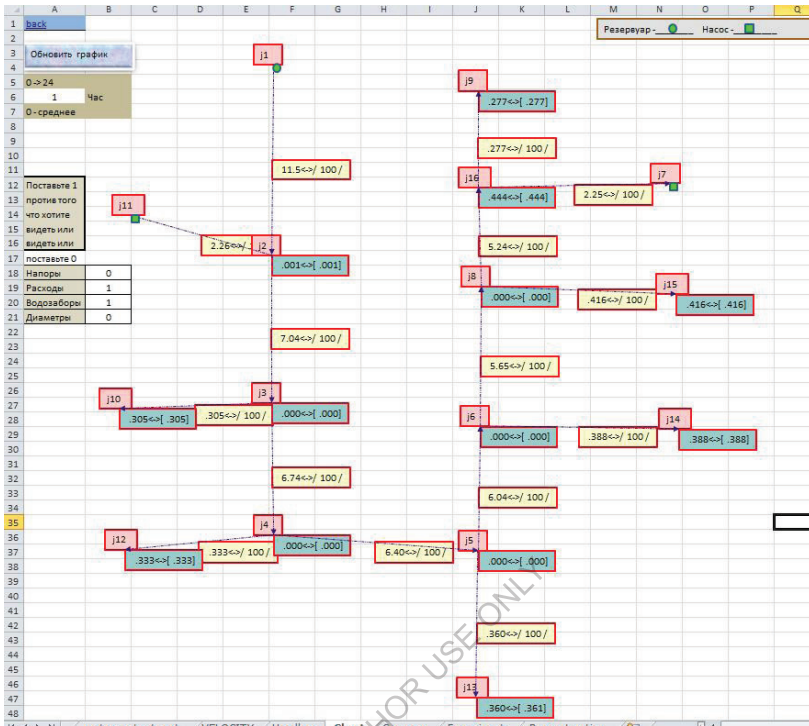


Рис. 3.19. Работа скрипта графического отображения результатов расчета

Скрипт представленный на рисунке проработал в режиме вывода расходов и водозаборов.

Видно, что кнопка вызова скрипта расположенная в позиции “A3” сохранилась. Если кнопку вызова скрипта пользователь по неосторожности разместил бы ее в районе ячейки “D12”, тогда кнопка вызова скрипта была бы уничтожена, и пришлось бы снова создавать кнопку активизации скрипта на данном листе.

Пользователь может вывести на графическую схему сведения о напорах, расходах (рассчитанных моделью и полученных из иных источников), водозаборах и требованиях, а также диаметрах труб. В случае если рассчитывается оптимальная реконструкция существующей

сети, то скрипт способен показать участок системы с рекомендуемой реконструкцией. На схеме будет указан существующий диаметр трубы и рекомендуемый при реконструкции.

Пример такого отображения представлен на рисунке 3.19.

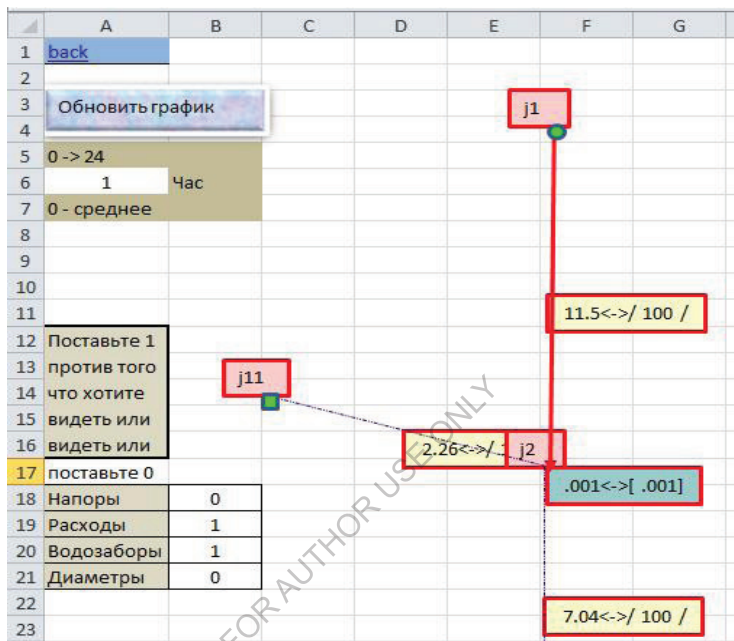


Рис. 3.20. Работа скрипта графического отображения результатов расчета. В расчете получена необходимость реконструкции на участке “j1”-> “j2”

Модель состоит из трех взаимосвязанных частей-файлов:

Первая часть представляет собой математический код модели записанный по правилам языка поиска оптимальных решений – GAMS (General Algebraic Modeling System – <http://www.gams.com>).

Вторая часть представляет собой обычный EXCEL файл и служит для хранения исходных данных.

Третья часть представляет собой также EXCEL файл и служит для вывода и хранения результатов расчета. Данная часть модели является

вспомогательной и при ее отсутствии формируется автоматически во время первого расчета по модели.

Первая и вторая части модели должны располагаться в одной директории – папке на компьютере пользователя. Данная директория не должна располагаться внутри большого количества внешних папок и папки не должны содержать в своих именах букв кириллицы (данное ограничение снято для последних версий GAMS). После установки на компьютер программного обеспечения GAMS, необходимо удостовериться, что лицензия позволяет использовать целочисленную оптимизацию (для работы в режиме реконструкция). Кроме того необходима инсталляция приложения WINDOWSEXCEL.

После размещения в папку модели на языке GAMS и EXCEL файла с исходной информацией (не слишком глубоко от корня диска) необходимо создать проект в программном обеспечении GAMS (File->Project->NewProject) под любым именем. Новый проект рекомендуется также располагать не заглубляя его в большое количество вложенных директорий. Доступ к файлу с исходной информацией и имя файла с результатами расчета отображается в головной части модели на языке GAMS.

```
$on dollar
```

```
$set in file % gams.i %
```

```
$set names "%infile%" mydir inname inextension
```

```
$set mydir_in %mydir%INPUT_FILE.xls
```

```
$set global mydir_in %mydir%
```

```
$set mydir_out %mydir% OUTPUT_FILE.xls
```

```
$set global mydir_out %mydir%
```

Вместо слова “ INPUT_FILE.xls” следует поставить имя того файла откуда пользователь будет читать информацию, а вместо “ OUTPUT_FILE.xls” следует поставить имя файла куда пользователь будет направлять результаты расчетов.

Выводы по главе III

1. Создан комплекс программ для расчета оптимальной сети водоснабжения или поиска оптимальной реконструкции уже существующей сети водоснабжения.

2. Комплекс программ разработан для возможностей широкого использования на практике.

FOR AUTHOR USE ONLY

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Водные ресурсы Узбекистана складываются из возобновляемых поверхностных и подземных вод естественного происхождения, а также возвратных вод, формирующихся на территории в результате хозяйственной деятельности. Следует особо подчеркнуть то, что только чуть более 10% речного стока формируется на территории страны и преобладающая часть притекает извне. Единые водные ресурсы в бессточном бассейне Аральского моря испытывают значительную антропогенную нагрузку в результате развития промышленности, сельского хозяйства и роста населения. Ожидаемые в будущем изменения климата могут ужесточить дефицит воды. В Республике Узбекистан, расположенной в низовьях рек бассейна Аральского моря и испытывающего последствия водно-экологического кризиса на аридных территориях, проблемы водоснабжения являются одним из основных, а источники водоснабжения служат региональным потенциалом устойчивого развития экономики и сохранения стабильной социально-экологических условий;

2. Возобновляемые поверхностные водные ресурсы полностью используются, причем в маловодные годы коэффициент изъятия стока превышает 1, водозабор из реки в многоводные годы превышает сток 10% обеспеченности. Искусственный перевод крупных гидротехнических сооружений, расположенных на верховьях рек, на энергетический режим работы, усугубляет проблему в первую очередь обеспечения населения питьевой водой. Процесс сопровождается загрязнением подземных вод, которые гидравлически связаны с поверхностным стоком по приходным статьям баланса;

3. Правильные структуры сельскохозяйственного водоснабжения и организация технической эксплуатации одна из важных

водохозяйственных задач. Решению этой проблемы в значительной степени будет способствовать переход к рациональным их системам;

4. Общий объем потребляемой воды в республике для целей водоснабжения в сутки составляет 6,25 млн.м³, в том числе 38% из поверхностных и 62% из подземных источников водоснабжения. Общая протяженность водоводов и водопроводных сетей 62,9 тыс. км. Услугами систем централизованного водоснабжения охвачено 89,4% городского и 73,1% сельского населения.

5. Нагрузка на действующие системы водоснабжения постоянно растёт, Региональные системы водоснабжения уже сейчас не способны обеспечить всех потребителей. Требуется модернизация и развития систем водоснабжения населения. Техническое состояние сооружений и сети систем водоснабжения неудовлетворительно и требуются больших вложения для изменения ситуации;

6. Как показал анализ состояния проблемы и результатов, ранее проведенных исследований несовершенство существующих методов и сложность теории расчета особенно систем подачи и распределения воды являются еще одними из сдерживающих факторов в развитии сельскохозяйственного водоснабжения факторов. Существующие методы расчета не позволяют решать оптимизационные задачи, что также часто приводит к необоснованному удорожанию строительства и эксплуатации систем.

7. На основе проведенных исследований авторами развита теория и разработана новый усовершенствованный метод расчета системы подачи и распределения воды в кольцевых системах водоснабжения. Проверена и доказана адекватность разработанной модели реальности путем сравнения с независимыми методами расчета в имитационном режиме.

8. Разработана оптимизационная модель расчета сетей водоснабжения с поиском минимальной цены входящих в нее элементов и затрат на её функционирование. Разработан пользовательский

интерфейс к оптимизационной модели расчета сетей водоснабжения. Главной и достигнутой целью данного исследования являлась работоспособная модель пригодная для широкого практического использования инженеров проектировщиков и организаций проектирующих, реконструирующих и расширяющих сети водоснабжения.

FOR AUTHOR USE ONLY

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. - М.: Стройиздат, 1982. - 440 с.
2. Абрамов Н. Н. Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды.-М.: Стройиздат, 1972.-282с.
3. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1979. –231с.
4. Абрамов Н. Н., Поспелова М. М.и др. Расчет водопроводных сетей.-М.: Стройиздат, 1976.-172с.
5. Абрамов Н.Н. Передача воды на дальние расстояния. - М.: Госстройиздат, 1963. - 209 с.
6. Алышев В.М. Неустановившееся напорное движение реальной жидкости трубопроводных системах. Дисс. докт. тех. наук, М.: 1987. – 527л.
7. Андрияшев М.М. Гидравлические расчеты водоводов и водопроводных сетей. - М.: Стройиздат, 1964. - 107 с.
8. Антонов В.И. Водные ресурсы Узбекистана как часть общих водных ресурсов бассейна Аральского моря и их использование в современных условиях и в перспективе //Водные ресурсы, проблемы Арала и окружающая среда.- Т., 2000.-С.3-19.
9. Аширова О.А. Сув таъминоти тармоқлари ҳисобида GAMS дастурини қўллашнинг ўзига хослиги. Ташкент, 2008. ТИИМ. С 56-58.
10. Аширова О.А. Расчет требуемых расходов воды подаваемой разменными агрегатами. //Ўзбекистон қишлоқ хўжалиги. Т., 2012. №2. С.32-33.
11. Аширяев К.Ш. Исследование водопотребления в системах сельскохозяйственного водоснабжения Северного Казахстана для целей рационального проектирования: Автореф. дис. канд. техн. наук.-Алма-Ата, 1970.-31 с.
12. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации. Корнеев В.В, Гареев А.Ф., Васютин С.В., Райх В.В. –М.: Издательство «Нолидж», 2001. – 496с.
13. Бахрамов У., Вербицкий А,С. Совершенствование методов проектирования гидравлических инженерных сетей на ЭВМ с учетом стохастического характера нагрузок./Тез. докл. Республиканской науч, техн. конф. по САПР в строительстве, Т., 1982.
14. Бахрамов Умархаджа. Стохастические модели для управления потокораспределением в инженерных сетях (на примере систем водоснабжения). Дисс. канд, тех. наук. Т., 1984. – 176с.
15. Бегляров Д.С. Повышение надежности и эффективности работы закрытых оросительных систем. М.: МГУП, 1996. – 140с.
16. Белан А.В., Хоружий П.Д. Технико-экономические расчеты водопроводных систем на ЭВМ.-Киев: Вища школа, 1979. -192 с.

17. Белозоров Н.П. Методы определения оптимальных схем и параметров систем сельскохозяйственного водоснабжения: Автореф. дис. ...канд. техн.наук.-М., 1969. - 30 с.
18. Браунли К.А. Статистическая теория и методология в науке и технике. Пер. с англ. – М.: «Наука», 1977, - 407с.
19. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: «Наука», 1978. – 399с.
20. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: «Наука», 1991. – 383с.
21. Вербицкий А.С. Исследование режимов водопотребления и разработка методов их прогнозирования при проектировании и эксплуатации коммунальных водопроводов. Дисс. канд. тех. наук. М., 1975. – 290с.
22. Вербицкий А.С. Расчетный режим водопотребления и его использование при проектировании. Научные труды АКХ им. К.Д. Памфилова, №155, М.: ОНТИ АКХ, 1978. с.40–55.
23. Вербицкий А.С., Майзельс М.Д., Влияние условий водопользования на часовую неравномерность расходования воды населением. Научные труды АКХ им. К.Д. Памфилова, №155, М.: ОНТИ АКХ, 1978. с.56–69.
24. Вербицкий А.С., Умнова Т.А. Принципы оперативного прогнозирования режимов водопотребления. Научные труды АКХ им. К.Д. Памфилова, №165, М: ОНТИАКХ, 1979.-С19-22.
25. Вишневецкий К.П. Переходные процессы в напорных системах водоподачи. – М.: Агропромиздат, 1986. – 135с.
26. Вода питьевая. Стандарт Республики Узбекистан №951/2011.-Т., 2011.
27. Волощинин А.П., Сотиров Г.Р. Оптимизация в условиях неопределенности. – М.: Изд-во МЭИ, 1989, – 224с.
28. Гмурман В.С. Теория вероятности и математическая статистика.-М.: «Высшая школа», 1972.- 440 с.
29. ГОСТ 2874-82. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством.- М., 1982.
30. Евдокимов А.Г. Оптимальные задачи на инженерных сетях. – Харьков, Вища школа. 1976. – 153с.
31. Зайко В.А. Разработка методов диагностики и оперативного управления системами подачи и распределения воды (СПРВ) в аварийных ситуациях. – Дисс. канд. тех. наук, Пенза, 2002. – 172с.
32. Захидов А.З. Водохозяйственные системы Средней Азии.- Т.: «Фан», 1971.-79 с.
33. Ильин Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования. – М: Стройиздат, 1985. – 240с.
34. Ильин Ю.А. Расчет надежности подачи воды. – М.: Стройиздат, 1987. – 300с.

35. Карамбиров И.А. Сельскохозяйственное водоснабжение. -М.: Агропромиздат, 1986.- 351 с.
36. Карамбиров Н.А. Вопросы расчета систем и сооружений сельскохозяйственного водоснабжения. – Автореферат дисс. докт. тех. наук.–М., 1971. – 29с.
37. Карамбиров Н.А., Березин В.А. Об определении наивыгоднейших диаметров водоводов на групповых системах СХВ.-М.: ВНИИГиМ, 1968.- Вып. 4.- С.245-259.
38. Карамбиров С.Н. Совершенствование методов расчета систем подачи и распределения воды в условиях многорежимности и неполной исходной информации. – Дисс. докт. тех. наук. – М., 2005. – 346с.
39. Каримов И.А. Развитие сельского хозяйства – источник благосостояния народа. - Т: «Узбекистан», 1988.-72 с.
40. Касенов Д. Р. Разработка методики построения расчетных схем систем подачи и распределения воды. Дисс. канд, тех, наук. М., 1986— 137с.
41. Кемелев А.А. Водопотребление и рационализация систем сельскохозяйственного водоснабжения.- Алма-Ата.: «Кайнар», 1979.- 122 с.
42. Кемелев А.А. Групповые системы сельскохозяйственного водоснабжения. -М.: «Колос», 1971.-191 с.
43. Кемелев А.А., Карешов Х.С. Резервы норм водопотребления при проектировании сельскохозяйственного водоснабжения //Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана.-1965.Алма-Ата.: - № 7.- С.101-107.
44. Кикачейшвили Г.Е. Техничко-экономический расчет разветвленных водопроводных сетей методом линейного программирования. – Водоснабжение и санитарная техника, 1969. №6, с.7 – 8.
45. Кикачейшвили Г.Е. Методология оптимизации систем подачи и распределения воды. ← Тбилиси.: 2002. – 180с.
46. Колодин М.В. Экономика опреснения воды.-М.: «Наука», 1985.- 128с.
47. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. Под ред. Юшманова О.Л..- М.: Агропромиздат, 1985.- 304 с.
48. Костяков А.Н. Основы мелиорации.-М.: Сельхозгиз, 1962.- 622 с.
49. Кунин В.Н. О качественных нормах водопотребления в условиях пустыни //Пустыни и их освоение.-1954.- С.465-487.
50. Кучин Б.Л., Алтунин А.Е. Автоматизированные информационные системы объектов газоснабжения. – М.: «Недра», 1989. – 199с.
51. Логинов В.Г., Шуссер Л.М. Справочник по сельскохозяйственному водоснабжению.-М.: «Колос», 1980.- 280 с.
52. Львович М.И. Вода и жизнь.- М.: «Мысль», 1986.- 237 с.
53. Лямаев Б.Ф., Небольсин Г.П., Нелюбов В.А. Стационарные и переходные процессы в сложных гидросистемах. –Л.: Машиностроение, 1978 - 184с.
54. Магай А.Б., Махамбетов А.М., Ли В.П. Опыт обводнения пастбищ водопроводами. Экспресс-информация.-М.,1980.-Сер.3.- Вып. 2.- С.3-11.

55. Махамбетов А.М. Обводнение пастбищ водопроводными системами: Автореф. дис. ...канд.техн.наук.- М., 1982.- 24 с.
56. Махманов М.М. Обводнение пустынных пастбищ Узбекистана. Экспресс-информация.-М.,1985.-Сер.3.-Вып.4.- С.1-5.
57. Мирзаев С. Ш. и др. Экологическое обоснование ведения сельского и водного хозяйства.- Т.: ТИИИМСХ.- 2000.- 189 с.
58. Мирзаев С.Ш. Запасы подземных вод Узбекистана.-Т.: «Фан», 1974.- 270 с.
59. Мирзаев С.Ш., Салохиддинов А.Т. К вопросу рационального использования местных водных ресурсов пастбищ Центральных Кызылкумов //Тез.докл.Всесоюз.науч.конф. Природные ресурсы пустынь и их освоение. – Ашхабад, 1986.- С.69-71.
60. Мирзаев С.Ш., Салохиддинов А.Т. Экономичность локальных схем пастбищных водопроводов в Центральных Кызылкумах //Состояние и задачи комплексного использования водных ресурсов страны: Тез.докл. Всесоюз.науч.-техн.совещ.- Минск: ЦНИИКИВР, 1986.- С.9.
61. Насиров Б.Х., Рахимов М.Р. Состояние и перспективы развития сельского питьевого водоснабжения населения Приаралья //Проблемы питьевого водоснабжения и экологии.-Т., 2002.- С.102-109.
62. Национальный доклад. «О состоянии окружающей среды и использовании природных ресурсов в Республике Узбекистан 1988-2007гг». – Т., 2008. Госкомприроды РУз.-83с.
63. Небольсина К.А. Расчетные графики водопотребления в сельскохозяйственных поселках Нечерноземной зоны СССР. – М.: Труды МГМИ, 1978 – Т.55.
64. Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение: Учеб. для вузов. –М.: Стройиздат, 1995. – 688с.
65. Норри Д., Ж.Де Фриз. Введение в метод конечных элементов. М.: «Мир», 1981. – 304с.
66. Оводов В.С. Проектирование рациональных систем водоснабжения сельскохозяйственных предприятий. – Ростов-на-Дону: ЮжНИИГиМ, 1985.- Т.1, - 241 с.
67. Оводов В.С. Сельскохозяйственное водоснабжение.-М.: «Колос»,1984.-480 с.
68. OZDst 950:2011 Ичимлик суви. Гигиеник талаблар ва сифатини назорат қилиш. Т., 2011.
69. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: «Наука», 1981. – 208с.
70. Правила технической эксплуатации систем сельхозводоснабжения. ВСН 3-5-77.- М., 1977. - 270 с.
71. Разработка стратегии, Дорожной карты и инвестиционной программы для сектора водоснабжения и санитарии Республики Узбекистан до 2020 года. Т.: 2011, Агенство «Узкоммунхизмат».

72. Рекомендации по развитию обводнения пастбищ для условий южной части Центральных Кызылкумов /Сост. А.Т.Салохиддинов Т.: ТИИИМСХ, 1988. – 14 с.

73. Салохиддинов А.Т., Мирзаев С.Ш., Валиев Х.И. О состоянии источников водоснабжения и пути решения проблемы водообеспечения населения. //Проблемы обеспеч. качества питьевой воды.-Т.: МЖКХ,1990. С.17-19.

74. Салохиддинов А.Т., Мирзаев С.Ш. Опреснение высокоминерализованных вод для сельхозводоснабжения низовьев р.Амударья: Научн. отчет ТИИИМСХ. №02900027664.-Т., 1993.-180 с.

75. Салохиддинов А.Т., Мирзаев С.Ш., Рубинова Ф. Разработка систем мер для сохранения и улучшения качества воды в источниках питьевого водоснабжения Каракалпакстана.- Научн.отчет ТИИИМСХ, № 343-94.- 1995.-180 с.

76. Салохиддинов А.Т., Мирзаев С.Ш. Проблемы экологии и питьевой воды Узбекистана //Орол денгизи хавзасидаги сувлардан фойдаланиш ва сув манбаларидан бошқариш масалалари.- Т.: ТИИИМСХ, 1999.- С.67-76.

77. Салохиддинов А.Т. и др. Эколого-гидрогеологические исследования мониторинга подземных вод Центрального Кызылкума //Аграрная наука, 2002.- №1.- С.16-47.

78. Салохиддинов А.Т., Рузимбетов А.Т., Тахиров Н. Пресные подземные грунтовые воды как составляющие экосистемы Приаралья //Аграрная наука. М.: 2001.-№11.- С.21-23.

79. Салохиддинов А.Т., Махмудова И.М. Қишлоқ ва яйловлар сув таъминоти.- Т.: «Чинор ЭНК», 2013.-212 б.

80. Салохиддинов А.Т., Хакимов З.М. Модель водного баланса Аральского моря //Узбекский физический журнал.-2002.- №3.- Т. 4.- С.203-215.

81. Салохиддинов А.Т., Валиев Х.И. Запасы подземных вод Приаралья и перспективы их использования. Ташкент: ГИДРОИНГЕО, 2003.-С.54-57.

82. Салохиддинов А.Т. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение пастбищ в пустынной зоне. –Т.: «Фан», 2004. – 227с.

83. Салохиддинов А.Т. Водно-экологическая обстановка в пустынной зоне Республики Узбекистан и пути рационального использования природных ресурсов. //Геология и минеральные ресурсы. 2004. №1. С43-46.

84. Салохиддинов А.Т., Аширова О. “Сув таъминоти тармоғи ҳисобида граф ва тўплам назарияларини қўллаш”. Т., 2008, ТИИМ. С.25-28с.

85. Салохиддинов А.Т., Аширова О. Моделирование расчета систем подачи и распределения воды сельскохозяйственных водопроводов. // Архитектура. Строительство. Дизайн. 2010. №4. С.48-50с.

86. Салохиддинов А.Т., Аширова О.А. Қишлоқ хўжалиги сув таъминотида сув бериш ва тарқатиш тизимлари ҳисоб услубининг ташки боғлашга таъсир кўрсатиши. // Вестник ТашГТУ. 2011. №3-4. С.150-154.

87. Салохиддинов А.Т., Аширова О.А., Хамидов А.О. Устройство для очистки сточных вод на земельном участке. Патент № FAP 2011 0079. Ташкент. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. 2012.
88. СНиП 2.04.02-97. –Т.: Госстрой, 1998.-97 с.
89. Светлов В.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. М.: «Высшая школа», 1985. – 271с.
90. Сироткин В.П. Схема и расчет водопроводов и водопроводных сетей.-М.: Высшая школа, 1968. - 271 с.
91. Сомов М.А. Выбор диаметров труб и арматуры. – В кн.: Интенсификация и оптимизация городских и промышленных водопроводов. М.: МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского, 1973. – с.85 – 95.
92. Строительные нормы и правила СНиП 2.04.02-97. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.-Т.,1997.- 87с.
93. Строительные нормы и правила СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения.-М.,1985. 87с.
94. Сумароков С.В. Математическое моделирование систем водоснабжения. – Новосибирск: «Наука», 1983. – 167с.
95. Сумароков С.В. Применение динамического программирования для оптимального проектирования расширяемых и реконструируемых разветвленных водопроводов. Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1975, N11, с.125–129.
96. Тажибаев Л.Е. Основы водоснабжения и обводнения сельскохозяйственных районов Казахстана,- Алма-Ата: «Кайнар», 1969.- 269 с.
97. Узбекистон Республикаси Сув ва сувдан фойдаланиш тугрисида қонуни. №836-ХП //Ведом. Олий Мажлис РУз. -1993-№5-6.-С.58-92.
98. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения в животноводстве и сельских населенных пунктах с централизованными системами водоснабжения.-Минск: ЦНИИ комплексного использования водных ресурсов, 1980.-98 с.
99. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности.- М.: Стройиздат, 1972.-198 с.
100. Укрупненные показатели удельных капитальных вложений в сельскохозяйственное водоснабжение, водоотведение и обводнение пастбищ до 2000 г.- М.,1986.- 106 с.
101. Усаковский В.М. Водоснабжение в сельском хозяйстве. - М.: «Колос», 1981. - 319 с.
102. Циклаури Д.С. Полевое и пастбищное водоснабжение.-М.: Стройиздат, 1965.- 172 с.
103. Чуб В.Е., Ососкова Т.А. Изменение климата и поверхностные водные ресурсы бассейна Аральского моря: Информация об исполнении Узбекистаном своих обязанностей по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Бюллетень №3.-Т.: САНИГМИ, 1999.-С.5-14.
104. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. –М.: «Недра», 1975. – 296с.

105. Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах: Пер. с англ. –М.: Энергоиздат, 1981.– 248с.
106. Хоружий П.Д. Расчет гидравлического взаимодействия водопроводных сооружений. Львов.: «Высшая школа», 1984. – 152с
107. Эгильский И.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами подачи и распределения воды. –Л.: Стройиздат, 1988. – 216с.
108. Assessment of Water Resources and Water Availability in the World //Scientific leader and editor Prof. I.A. Shiclomanov.-Stockholm: WMO, 1997.- P.88.
109. Gisser, M., and R.N. Johnson, Institutional Restrictions on the Transfer of Water Rights and the Survival of an Agency, in Water Rights: Scarce Resource Allocation, Bureaucracy, and the Environment, T.L. Anderson (ed.), Pacific Institute for Public Policy Research, San Francisco, pp. 137-165, 1983.
110. Howe, C.W., Protecting Public Values under Tradable Water Permit Systems: Efficiency and Equity Considerations, Environment and Behavior Program, Institute of Behavioral Science, University of Colorado, Boulder, Dec. 1996.
111. Norton J.P. Parameter-bounding identification algorithms for bounded-noise-records//ZIEEProc. 1988Pt, Dvol 135, №2
112. Salokhiddinov A.T., Kontar E.A., Ozorovich Y.A., Ashigaliev E.B., Study of groundwater/seawater interactions in the Aral Sea basin.- IHP.- Germany-Koblenz, 2002.- P.225-230.
113. Version 92, GAMS Development Corporation, Washington D.C., 1997
114. Интернет сайты:
<http://www.neos-server.org/neos/solvers/index.html>
<http://vtit.kuzstu.ru/books/shelf/book1/sod/sod.html>
www.gams.com
www.dashoptimization.com
www.ampl.com
www.tomlab.com
www.gamsworld.org
<http://glossary.computing.society.informs.org>
<http://titan.princeton.edu>
www.gamsworld.org/global/biblio.htm
www.math.duke.edu/~witelski/scamr.html
www.economicsnetwork.ac.uk/teaching/text/economictheory.htm
www.econometrie.startpagina.nl
<http://lib4all.ru/base/B1881/B1881Part11-47.php#>

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
ГЛАВА I. ОБЗОР РАНЕЕ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ В КОМПЛЕКСЕ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	6
1.1. Изученность проблемы.....	6
1.2. Анализ существующих теорий и методик.....	24
Выводы по I главе.....	28
ГЛАВА II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ И РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПОРОВ ВОДЫ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	29
2.1. Краткое изложение необходимых сведений из теории графов.....	29
2.2. Математическая оптимизационная модель системы водоснабжения (без учета консервативной примеси).....	30
2.3. Решение уравнения о потерях напора в трубе подводящей воду к резервуару (проблемы и их разрешение)	35
2.4. Целевая функция оптимизации строительства сети водо- снабжения.....	46
2.5. Ограничения при оптимизации строительства сети водоснабжения.....	48
2.6. Приведение распределенного водопотребления к узлам сети водораспределительной сети.....	50
2.7. Переход от оптимальных диаметров труб в водораспределительной системе к реально существующим диаметрам труб.....	51
2.8. Описание математической модель оптимизирующей реконструкцию системы водоснабжения (без учета консервативной примеси)	54
2.9. Математическая оптимизационная модель реконструкции системы водоснабжения (с учетом консервативной примеси)	56

Выводы по II главе.....	63
ГЛАВА III. ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА И ИНТЕРФЕЙСА МОДЕЛИ.....	64
3.1. Структура системы оптимизации систем водоснабжения.....	64
3.2. Модуль управления системой оптимизации.....	65
3.3. Графический редактор.....	65
Выводы по III главе.....	90
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	991
Использованная литература.....	94

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

**More
Books!**



yes
I want morebooks!

Buy your books fast and straightforward online - at one of world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at
www.morebooks.shop

Покупайте Ваши книги быстро и без посредников он-лайн – в одном из самых быстрорастущих книжных он-лайн магазинов! окружающей среде благодаря технологии Печати-на-Заказ.

Покупайте Ваши книги на
www.morebooks.shop

KS OmniScriptum Publishing
Brivibas gatve 197
LV-1039 Riga, Latvia
Telefax: +371 686 20455

info@omniscryptum.com
www.omniscryptum.com

OMNIscriptum



FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY