

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

*На правах рукописи*

**Романчук Сергей Михайлович**

**РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА  
РЕЖИМАМИ РАБОТЫ МУНИЦИПАЛЬНОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ**

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Донецк – 2019

Работа выполнена в ГОУВПО «ДОННУ» Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики, г. Донецк.

Научный  
руководитель доктор физико-математических наук, профессор  
**Беспалова Светлана Владимировна**  
ГОУВПО «ДОННУ» (г. Донецк), ректор

Официальные  
оппоненты: **Антипов Игорь Владиславович**  
доктор технических наук, профессор  
Республиканский академический научно-  
исследовательский и проектно-конструкторский институт  
горной геологии, геомеханики, геофизики и  
маркшейдерского дела (РАНИМИ) (г. Донецк), старший  
научный сотрудник;

**Неежмаков Сергей Владимирович**  
кандидат технических наук, доцент  
ГОУВПО «ДОННТУ» (г. Донецк), доцент кафедры  
«Горная электротехника и автоматика им. Р.М. Лейбова»

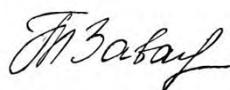
Ведущая  
организация: **ГОУВПО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ  
АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И  
АРХИТЕКТУРЫ»** (г. Макеевка)

Защита состоится «17» декабря 2019 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 01.024.04 при ГОУВПО «ДОННТУ» и ГОУВПО «ДОННУ» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, корп. 1, ауд. 203  
Тел./факс: 380(62) 304-30-55, e-mail: uchensovets@donntu.org.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «ДОННТУ» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, корп. 2. Адрес сайта университета: <http://donntu.org>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 01.024.04  
кандидат технических наук



Т.В. Завадская

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Одной из наиболее актуальных проблем, которые стоят перед коммунальным хозяйством республики, является проблема снижения энерго- и ресурсопотребления систем водоснабжения и водоотведения, решение которой невозможно без создания современной распределенной информационно-управляющей системы режимами работы муниципальной водопроводной сети.

*Связь с научными программами, планами, темами.* Работа выполнена в соответствии с планами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ ГОУВПО «Донецкий национальный университет», выполняемых в рамках НИР 15,17,19-1вв/1, конкурса проектов и программ развития местного самоуправления: «Формирование системы комплексного управленческого контроля и мониторинга показателей технологических режимов в коммунальных системах жизнеобеспечения на уровне органов местного самоуправления в Киевском районе г. Донецка», «Разработка и внедрение пилотных элементов электронного управления коммунальной инфраструктурой Пролетарского района г. Донецка», «Формирование эффективного управления процессами обеспечения территориальной громады услугами коммунального назначения посредством применения новейших информационных технологий (г. Моспино)», «Путем к цифровому Донецку».

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросами совершенствования условий эксплуатации систем водоотведения, оценки качества питьевой воды, а также проблемами автоматизации систем управления процессами водоснабжения посвящено достаточное количество отечественных и зарубежных трудов.

Отечественные разработки авторов Рябченко И.Н., Самойленко Н.И., Маслак В.Н., Холодная Т.А., представляют собой технические решения автоматизированных систем управления, в основе которых заложены интеллектуальные технологии. Евдокимов А.В., Петросов В.А. в своих научных работах особое внимание уделяют прогнозированию отказов и устойчивости водоснабжения. Тевяшев А.Д. предложил математические модели и метод оперативного планирования режимов работы насосных станций. Карамбиновым С. Н. предложено использование генетического алгоритма в задачах теории подачи и распределения воды. Из зарубежных трудов наиболее актуальными являются работы Драгана Савич (директор Научно-исследовательского институт водных циклов KWR), например, в вопросах моделирования и управления водораспределением.

Однако, несмотря на внушительный объем исследований, направленных на повышение эффективности водоснабжения жилых массивов, синтезу автоматизированных систем управления на основе информационно-аналитической модели уделяется недостаточно внимания. В этих исследованиях не учитываются технические возможности узлов системы, множественный доступ управления, режимы их работы, технические

характеристики элементной базы. Разработчики зачастую при проектировании элементов и узлов системы автоматического управления (САУ), не учитывают переходные процессы в нестационарных режимах работы автоматизированных систем управления водоснабжением (СУВ).

**Цель и задачи исследований.** Целью настоящей работы является повышение эффективности процесса водоснабжения городов, за счет создания автоматизированной системы управления, включающей информационно-аналитическую многоуровневую систему с множественным доступом.

Для достижения цели в диссертационной работе поставлены и решены следующие научно-технические задачи:

- проведен анализ существующих муниципальных систем водоснабжения, методов и средств автоматизированного мониторинга и управления, для выяснения особенностей режимов работы СУВ с множественным доступом;
- осуществлены сбор и систематизация информации об особенностях изменения технологических параметров и эксплуатационных режимов систем управления водоснабжением с множественными элементами регулирования;
- создана математической модели автоматизированной системы управления водоснабжением с множественными элементами регулирования и режимов ее работы как единого объекта;
- разработаны методы организации мониторинга режимов работы и управления процессами водоснабжения больших жилых массивов, использующих алгоритмы интеллектуализации решения прикладной задачи;
- создан комплекс технических и программных средств, направленных на повышение эффективности и экономичности работы СУВ.

**Объектом исследования** являются режимы работы водораспределительных систем при управлении водоснабжением городов.

**Предметом исследования** являются технологии мониторинга и управления водоснабжением городов.

**Научная новизна** полученных результатов состоит в следующем.

1. Впервые приведены к формальному виду эксплуатационные режимы автоматизированной системы управления водоснабжением (АСУВ), имеющей множественные элементы регулирования, обеспечивающие поддержание заданного давления в диктующих точках сети, *отличающиеся тем*, что рабочий цикл насосной станции, работающей на водопроводную сеть и определяющей поддержание заданного давления, может быть представлен в виде временного ряда с линейными коэффициентами, между напором станции и давлением в диктующих точках сети, при коэффициентах корреляции выше 0,9.

2. Впервые, получена динамическая математическая модель АСУВ с множественными элементами регулирования, основанная на ее декомпозиции на простые технологические подсистемы, *отличающаяся тем*, что для описания режимов работы подсистем контроля, модулей определения характеристик гидравлических режимов подсистем и идентификации параметров модели, используются результаты решения комплекса прогнозных задач АСУ ТП на текущий и предстоящий периоды.

3. Получила дальнейшее развитие методология управления процессами водоснабжения больших жилых массивов, основанная на распознавании внештатных режимов и аварийных ситуаций, обеспечивающая повышение эффективности и экономичности работы систем водоснабжения и направленная на реализацию адаптивного микропроцессорного управления режимами водоснабжения на объектных уровнях и оперативно-диспетчерского управления на центральном уровне, *отличающаяся* интегрированным совмещением алгоритмов управления на объектных уровнях в зависимости от сложности объектов управления, интенсивности потоков информации и значимости данных, генерируемых в системе контроля технологических режимов, а также, применением экспертной системы на центральном уровне.

**Теоретическая значимость работы.** Показаны особенности протекания процессов в автоматизированной системе управления, имеющей множественные элементы регулирования, рабочий цикл которой может быть представлен в виде временного ряда с линейными коэффициентами, при коэффициентах корреляции выше 0,9.

Доказано, что распознавание внештатных режимов и аварийных ситуаций, обеспечивающее повышение эффективности работы городских водораспределительных систем достигается реализацией интегрированного совмещения способов управления на объектных уровнях в зависимости от сложности объектов управления, интенсивности потоков информации и значимости данных, генерируемых в системе контроля технологических режимов.

**Практическая значимость полученных результатов.** Предложенные методы, алгоритмы, аппаратно-программные средства и методологии организации водоснабжения больших жилых массивов с элементами автоматического управления энергоемким оборудованием позволяет обеспечить экономию электроэнергии до 20% и воды до 10%. Полученные результаты диссертационной работы и перечень предприятий их внедрения приведены ниже:

- усовершенствована существующая система водоснабжения города Донецка за счет использования созданной АСУ водоснабжением нового технического уровня (КП «Донецкгорводоканал»);

- усовершенствована система водоснабжения города за счет использования подсистемы моделирования режимов работы водораспределения, позволяющей определить режимы функционирования системы в целом (КП «Харцызскгорводоканал»).

**Методология и методы исследования.** Для решения поставленных задач использовались: систематизация, обобщение и статистический анализ технологических данных; теория автоматического управления; схемотехнические методы построения информационно-аналитических систем; методы интеллектуального анализа данных, имитационные модели и методы анализа временных рядов; вычислительные и натурные эксперименты; управляемый промышленный эксперимент, а также практическая апробация результатов исследований в промышленных условиях.

**Научные положения, выносимые на защиту**

1. Закономерности изменения технологических параметров и формирование эксплуатационных режимов систем водоснабжения, имеющих множественные элементы регулирования, которые обеспечивают поддержание заданного давления в диктующих точках сети.

2. Математические модели систем водоснабжения с множественными элементами регулирования, основанные на применении процесса декомпозиции систем водоснабжения на простые технологические подсистемы.

3. Алгоритмы адаптивного микропроцессорного управления режимами водоснабжения на объектных уровнях и оперативно-диспетчерского управления на центральном уровне.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректностью формулировки математического описания задачи; использованием основополагающих положений теорий автоматического управления и регулирования, теории массового обслуживания, современных методов имитационного моделирования в компьютерной среде с применением специализированного программного обеспечения.

По формуле специальности и области исследований, содержанию научных положений и выводов, существу полученных результатов диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки) в частности: п. 4 «Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация», п. 5 «Теоретические основы, средства и методы промышленной технологии создания АСУТП, АСУП, АСТПП и др.», п.15 «Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения (АСУТП, АСУП, АСТПП и др.)» области исследований.

Результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на: заседаниях ученого Совета ДОННУ и его секций, заседаниях технических советов КП «Донецкгорводоканал», КП «Харцызкгорводоканал» и на различных конференциях.

**Личный вклад соискателя.** Автору принадлежит формулировка цели и задач исследования, обоснование закономерностей, полученных в работе, разработка моделей и алгоритмов управления. Основные положения и технические решения, предложенные при создании автоматизированной системы управления, разработаны автором самостоятельно. Экспериментальные и натурные исследования, промышленный эксперимент, обобщение результатов и формулировка выводов, а также внедрение результатов работы выполнены лично соискателем.

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 20 научных работах, в том числе: 4 работы в изданиях, входящих в перечень специализированных научных изданий, утвержденных МОН ДНР; 6 работ в

изданиях, входящих в перечень специализированных научных изданий, утвержденных МОН Украины и 10 публикаций в материалах конференций.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, выводов, списка литературных источников, который включает 131 наименование, 3-х приложений. Работа содержит 60 рисунков и 16 таблиц. Общий объем работы составляет 185 страниц, приложения изложены дополнительно на 3 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследований, показаны научная новизна, научное и практическое значение работы, а также приведены сведения о публикациях и апробации результатов работы автора.

В **первом разделе** работы «Состояние вопроса и задачи исследования» дан ответ на решение первого пункта задач исследования, а именно: проведен анализ существующих муниципальных систем водоснабжения, методов и средств автоматизированного мониторинга и управления, для выяснения особенностей режимов работы системы управления водоснабжением (СУВ) с множественным доступом.

Обзор источников информации показал, что развитие АСУ ТП предприятий водоснабжения идет по пути внедрения концепции объектно-территориального подхода с реализацией методов непрерывного технологического мониторинга, а также локально-автоматического или дистанционно-диспетчерского управления процессами. Архитектура систем чаще всего имеет три уровня и включает: центральный диспетчерский пункт; средний уровень, который может быть привязан к ряду крупных объектов; и нижний уровень, на котором обеспечивается мониторинг и управление на локальных объектах.

В АСУ ТП предприятий водоснабжения экспертные системы, которые предусматривают использование анализа данных, методов моделирования и идентификации моделей работы оборудования, применяются редко.

Задачи прогнозирования потребления воды по участкам сети решаются методами прогнозирования временных рядов: методами анализа распределенных лагов, способами сезонной декомпозиции, методом «предельных циклов», спектральным анализом Фурье, классическими методами операционных преобразований.

Задачи выбора режимов работы систем с несколькими повысительными насосными станциями (ПНС) решаются методами линейного программирования. В свою очередь, задача выбора режимов работы водопроводного узла (ВУ), который имеет резервуары, решается методами нелинейного программирования.

Задача распределения воды от ВУ по нескольким технологическим линиям при обеспечении минимальной технологической себестоимости подачи воды и заданных технологических ограничений для каждой линии решается методом проекции градиента. Задачи управления группами потребителей и водных источников решаются обычно методом логического анализа.

Проведенный анализ позволил сделать вывод, что повышение эффективности процесса водоснабжения городов возможно за счет создания АСУ, включающей информационно-аналитическую многоуровневую систему управления с множественным доступом. Тем не менее, стала очевидной необходимость решения сопутствующих задач, а именно:

- сбор и систематизация информации об особенностях изменения технологических параметров и эксплуатационных режимов систем управления водоснабжением с множественными элементами регулирования;

- создание математической модели автоматизированной системы управления водоснабжением с множественными элементами регулирования и режимами ее работы как единого объекта;

- разработка методов организации мониторинга режимов работы и управления процессами водоснабжения больших жилых массивов, использующих алгоритмы интеллектуализации решения прикладной задачи;

- создание комплекса технических и программных средств, направленных на повышение эффективности и экономичности работы СУВ.

Во **втором разделе** работы «Формализация объектов мониторинга системы водоснабжения города» представлены результаты решения задачи: сбор и систематизации информации об особенностях изменения технологических параметров и эксплуатационных режимов систем управления водоснабжением с множественными элементами регулирования, а также, задачи: создание комплекса технических и программных средств, для повышения эффективности и экономичности работы СУВ.

Для отработки основных технических и программных решений, направленных на полную автоматизацию технологических процессов, был создан опытно-промышленный участок системы водоснабжения.

Система мониторинга и управления объектами водоснабжения Киевского района является трехуровневой. Верхний уровень системы создан в виде центрального диспетчерского пункта (ЦДП). Информация о технологических параметрах со всех контрольных точек, ПНС и ВУ по GSM и радиоканалу передается на ЦДП. Диспетчер ведет анализ эффективности работы сети в текущий момент времени и принимает решения об изменении режимов работы оборудования в случае необходимости. Это реализуется с помощью подсистемы формирования и передачи управляющих сигналов. Средний уровень системы представлен локальными диспетчерскими на ВУ и ПНС. В состав любой локальной диспетчерской входит промышленный компьютер, который обеспечивает поддержку работы машинистов оборудования. Нижний уровень системы организован на базе промышленных контроллеров, где осуществляется обработка информации и управление оборудованием в режиме реального времени. Контроллер сбора данных принимает информацию с датчиков, переключателей и преобразователей. Контроллер поддержания давления управляет частотным преобразователем электродвигателя насоса. Контроллер управления задвижками управляет электроприводами задвижек. Промышленный компьютер и контроллеры объединены в локальную сеть с помощью

индустриальной шины и работают под управлением операционной системы реального времени.

Регулирование мощными насосами (400 – 700 кВт) осуществляется с помощью микропроцессорного управления частотными преобразователями (АПЧВН), позволяющими изменять скорость вращения электродвигателей. Управление насосами осуществляется таким образом, чтобы на гребенке перед задвижками, подающими воду по разным технологическим линиям, поддерживалось заданное давление или требуемые расходы воды. На 40 контрольных точках (КТ) водораспределительной сети ведется контроль давления воды с помощью тензодатчиков ИД-01 и расхода воды с помощью датчиков расхода «Акрон». На некоторых контрольных точках имеется также возможность управления задвижками, которые автоматически поддерживают заданное давление на выходящих линиях подачи воды. Техническое обеспечение АСУ задвижками – тензодатчики ИД-01 и задвижки с регулируемым приводом.

Для мониторинга и управления объектов водоснабжения разработано программное обеспечение (ПО). В состав ПО входят базы данных и 17 программных модулей, обеспечивающих выполнение различных функций системы.

Автоматический сбор информации и разработанное ПО позволили сформировать базы данных технологической информации, которые достаточно полно характеризуют работу объектов системы водоснабжения района. Объем данных накапливаемых системой мониторинга достигает  $7 \cdot 10^6$  измерений в год в режиме целенаправленного опроса в случае изменения работы оборудования и около  $20 \cdot 10^6$  измерений при непрерывном мониторинге. На основе собранной информации проводилась формализация объектов мониторинга и управления систем водоснабжения, для чего использовались методы статистической обработки данных и методы интеллектуального анализа данных. При установлении закономерностей в базе данных технологической информации использовались методы анализа временных рядов, алгоритмы перебора и сортировки данных, методы визуализации информации, а также статистические методы.

В результате работы выполнена декомпозиция территориально-распределенной системы водоснабжения на более простые объекты: ВУ, ПНС и отдельные участки водопроводных сетей, где расположены контрольные точки системы мониторинга.

Задача описания характеристик системы водоснабжения рассматривается как задача поиска связей между показателями в технологических базах данных простых объектов, для которых проведена декомпозиция. Всего изучались массивы технологических параметров по 80 простым объектам в объеме от 4 до 10 показателей, собранным с интервалом 10, 30 и 60 минут при непрерывном мониторинге объектов в течении нескольких лет.

В результате исследований показано, что модели объектов водоснабжения и водораспределения при автоматическом регулировании, определяющие напорные характеристики, могут быть представлены

зависимостями распределенных лагов для временных рядов или зависимостями вида «ряд на ряд», полученных для характерных периодов времени:

$$P_i(t) = a_0 \cdot P_k(t) + a_1 \cdot P_k(t-1) + \dots + a_n \cdot P_k(t-n) + \varepsilon, \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$P_i(t) = a_0 \cdot P_k(t) + a_1 + \varepsilon, \quad (2)$$

где  $P_i(t)$  – зависимый ряд наблюдений  $i$ -того параметра;  $P_k(t)$  – независимый ряд наблюдений  $k$ -того параметра;  $t$  – время;  $n$  – лаг запаздывания;  $a_i$  – константы;  $\varepsilon$  – случайный шум.

Показано, что напорные и энергетические характеристики объектов водоподачи при автоматическом управлении, обеспечивающем поддержание заданного давления на входе в распределительную сеть или на выходе из ПНС, представляют собой линейные зависимости относительно временных рядов давления на входе ПНС. В свою очередь, напорные характеристики водопроводных сетей при подобном автоматическом регулировании представляют собой линейные зависимости относительно временных рядов давления на входе в сеть водоснабжения.

Построены модели множественной регрессии: гребневая и лассо-регрессия. При этом модели, построенные с помощью метода лассо-регрессии, совпали с моделями, использующими гребневую регрессию.

Построена модель с помощью регрессии на главные компоненты. Для повышения результативности анализа многомерных данных была снижена их размерность с использованием метода анализа главных компонент.

Произведена оценка статистической значимости трех моделей и произведено сравнение эффективности построенных моделей при прогнозировании.

Преимуществом такого подхода при моделировании множества простых объектов является отказ от использования методов гидравлических расчетов, которые требуют большого количества исходных данных, имеющих достаточно высокую погрешность и низкую достоверность.

**В третьем разделе** работы «Разработка алгоритмов управления и моделей территориально-распределенных систем водоснабжения» предложено решение задачи создания математической модели автоматизированной системы управления водоснабжением с множественными элементами регулирования и режимов ее работы как единого объекта (третий пункт списка задач исследований).

Были разработаны информационные модели систем водоснабжения с множественными элементами автоматического регулирования, которые включают в себя:

- модели объектов водоподачи и водораспределения, адекватно отражающие закономерности водоснабжения;
- информационные базы данных ретроспективной и текущей технологической информации, собранной системой мониторинга;
- алгоритмы управления работой оборудования и средствами регулирования, которые реализуют эффективные технологические режимы;

Предложены также алгоритмы распознавания внештатных технологических режимов и алгоритмы защиты от возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации насосного оборудования и водопроводных сетей.

Построены предсказательные модели для показаний датчиков давления воды в неактивных точках водораспределительной сети на основе ансамблей классификаторов и нейросетевого подхода.

Произведена оценка значимости предикторов для каждой модели. Для модели на основе ансамблей классификаторов использовали алгоритм RandomForest, для нейросети-анализ значений целевой функции.

Проведен сравнительный анализ качества построенных моделей с использованием коэффициента детерминации. При этом метод градиентного бустинга и BLSTM-сети дают ошибку, близкую к нулю (менее 0,01).

**В четвертом разделе** работы «Создание территориально-распределенных АСУ ТП водоснабжения городов» разработаны технологии контроля режимов работы и управления процессами водоснабжения городов, использующие алгоритмы интеллектуализации решения прикладной задачи (четвертый пункт списка задач исследования).

Территориально-распределенная автоматизированная система управления технологическими процессами водоснабжения представляет собой 4-х ступенчатую иерархическую структуру, у которой на верхнем уровне находится центральный сервер базы данных. Программное обеспечение центрального сервера осуществляет поддержку работы центральной диспетчерской и обеспечивает доступ различных пользователей в соответствии с уровнями доступа к информации базы данных. Системы водоснабжения отдельных территорий или районов города охвачены 3-х уровневыми автономными АСУ ТП, которые включают в состав локальные диспетчерские водопроводных узлов и городской канализационной насосной станции (ГКНС), диспетчерские водопроводно-канализационных служб и АСУ локальных объектов мониторинга и управления водоснабжением. Автономные АСУ ТП представляют собой технологические аналоги АСУ ТП опытно-промышленной системы Киевского района, в которых структура конфигурируется, а программное, технологическое и техническое обеспечение адаптируется к конкретным условиям отдельной территории или к объекту водоснабжения.

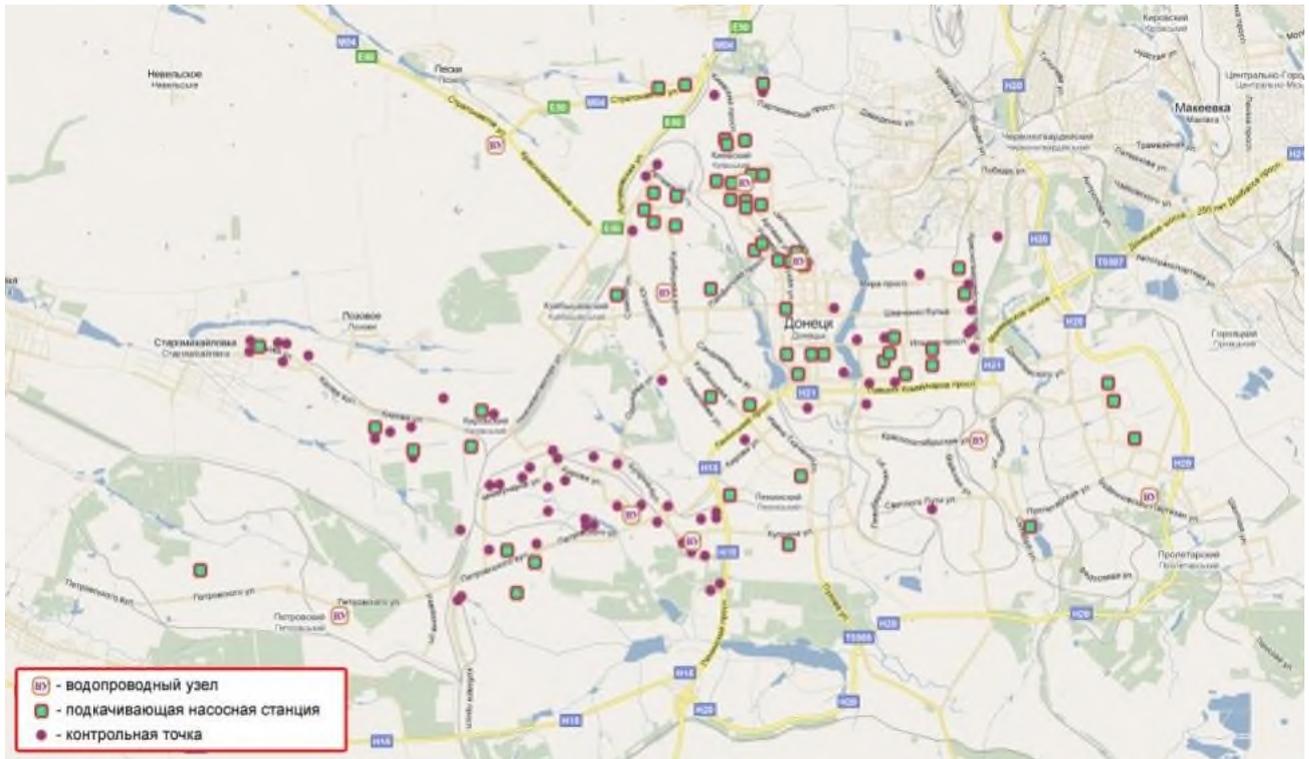


Рисунок 3 – Сеть наблюдений и управления системы технологического мониторинга КП «Донецкгорводоканал»

На рисунке 3 для примера приведена основная сеть наблюдений и объектов управления, созданная в процессе развития системы технологического мониторинга КП «Донецкгорводоканал». АСУ ТП водоснабжения г. Донецка охватывает площадь города в 530 кв. км. и включает восемь ВУ проектной мощностью около 1000 м<sup>3</sup>/сут, одну главную канализационную станцию, 61 ПНС и 107 других технологических объектов. Количество средств мониторинга составляет 796 единиц, количество объектов управления – 117 единиц. В результате внедрения этой системы показано, что на базе использования компонентов предложенной информационной технологии может быть развернута и адаптирована к конкретным условиям городская территориально-распределенная АСУ ТП водоснабжения любого уровня сложности.

Разработанные в диссертационной работе методы, алгоритмы и аппаратно-программные средства внедрены:

- КП «Донецкгорводоканал» при модернизации существующей системы водоснабжения города Донецка и создании системы технологического мониторинга и автоматического управления водоснабжением города нового технического уровня;

- КП «Харцызскгорводоканал» при реконструкции системы водоснабжения города Харцызск и создании подсистемы моделирования режимов работы городской водораспределительной системы, позволяющей определить оптимальные режимы функционирования системы в реальном масштабе времени.

Предложенная технология организации водоснабжения города с элементами автоматического управления энергоемким оборудованием позволяет обеспечить экономию электроэнергии до 20% и воды до 10%. Подтвержденный экономический эффект составляет 10,0 млн. руб. в год.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертационной работе дано теоретическое обоснование и приведено решение научно-практической задачи повышения эффективности процесса водоснабжения городов, на основе создания АСУ, включающей информационно-аналитическую многоуровневую систему управления с множественным доступом.

По результатам диссертационной работы сформулированы следующие выводы.

1. Обосновано, что объединение средств мониторинга с базами данных технологической информации и инструментами интеллектуального анализа данных является перспективным путем развития информационно-аналитических систем, обеспечивающих поддержку принятия решений на предприятиях водоснабжения.

2. Обосновано, что напорные и энергетические характеристики объектов водоподачи при автоматическом управлении, обеспечивающем поддержание заданного давления на входе в распределительную сеть, представляют собой линейные зависимости относительно временных рядов давления на входе в объект водоподачи.

3. Сформулированы задачи оперативного управления по поддержанию эффективных технологических режимов, а также задачи распознавания внештатных режимов и аварийных ситуаций.

4. Разработаны модели и синтезированы алгоритмы управления водопроводными узлами и подкачивающими насосными станциями, позволяющие поддерживать эффективные технологические режимы работы оборудования, которые обеспечивают экономию электроэнергии и воды.

5. Предложены алгоритмы распознавания внештатных технологических режимов и защиты от возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации насосного оборудования водопроводных сетей.

6. Предложена методология повышения эффективности работы городских систем водоснабжения, а также распознавание внештатных режимов и аварийных ситуаций, возникающих при работе оборудования.

Разработанная информационная технология реализована в многоуровневой АСУ ТП водоснабжения города, имеющей множественные элементы технологического мониторинга и автоматического регулирования. Методы, алгоритмы и аппаратно-программные средства внедрены на предприятиях водоснабжения КП «Донецкгорводоканал» и КП «Харцызкгорводоканал».

Данная АСУ ТП может быть взята за основу для развертывания автоматизированной системы управления жизнеобеспечением города.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых  
Министерством образования и науки Донецкой Народной Республики:

1. Беспалова, С.В. Построение регрессионных моделей режимов работы водораспределительных сетей с помощью методов регуляризации и анализа главных компонент / С.В. Беспалова, **С.М. Романчук**, Т.В. Ермоленко, В.И. Бондаренко // Информатика и кибернетика. – Донецк, ДонНТУ, 2019. – №2 (16) - С. 35-47.

2. Беспалова, С.В. Построение предсказательных моделей параметров давления воды в водораспределительных сетях с помощью методов машинного обучения / С.В. Беспалова, **С.М. Романчук**, Т.В. Ермоленко, В.И. Бондаренко // Проблемы искусственного интеллекта. - 2019. – №2 (13) - С. 24-38.

3. Беспалова, С.В. Моделирование оптических параметров источников возбуждения импульсно-модулированного флуориметра / С.В. Беспалова, **С.М. Романчук**, Б.А. Готин, В.В. Перебейнос, О.Н. Саакян // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. - 2018. - № 1. - С. 69-75.

4. Беспалова, С.В. Биомониторинг поверхностных вод в условиях антропогенной нагрузки на примере реки Кальмиус / С.В. Беспалова, **С. М. Романчук**, С.В. Чуфицкий, А.С. Кривякин // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. - 2018. - № 3-4. - С. 137-145.

5. Беспалова, С.В. Концепция распределенного автоматизированного биомониторинга для Донбасса/ С.В. Беспалова, **С. М. Романчук**, С.В. Чуфицкий, Е.С. Сергеева// Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности. Материалы I Международной научной конференции. – Том1. Физико-математические, технические науки и экология/под общей редакцией С.В. Беспаловой. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. - С. 244-247.

6. Романчук, С.М. Интеллектуальный анализ данных в АСУ ТП водоснабжения городов / **С.М. Романчук**, О.Н. Саакян, В.В. Перебейнос // Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности. Материалы I Международной научной конференции. – Том1. Физико-математические, технические науки и экология/ под общей редакцией С.В. Беспаловой. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. –С. 360-361.

7. Романчук, С.М. Разработка двухосевого электромагнитного измерителя скорости течения воды. /**С.М. Романчук**, Б.А. Готин, С.В. Подгайнов // Донецкие чтения 2018. Образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. Материалы III Международной научной конференции – Том1. Физико-математические, технические науки и экология/ под общей редакцией С.В. Беспаловой. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2018. - С. 40-41.

8. Беспалова, С.В. Анализ воздействия сточных вод горнодобывающей промышленности на состояние водных объектов / С.В. Беспалова, **С.М. Романчук**, С.В. Чуфицкий // Донецкие чтения 2018. Образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. Материалы III Международной научной конференции. – Том1. Физико-математические, технические науки и экология/ под общей редакцией С.В. Беспаловой – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2018. - С. 142-144.

**- в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых Министерством образования и науки Украины:**

9. Ступин, А.Б. Автоматизированная система мониторинга и управления водоснабжением города Донецка [Текст] / А.Б. Ступин, **С.М. Романчук** // Вісник Донецького університету. Сер. А: Природничі науки/ ред. Шевченко В.П. –2009. - №2. - С. 333-343.

10. Романчук, С.М. Мониторинг и анализ данных в процессе управления водоснабжением города Донецка / **С.М. Романчук** // Наук. праці ДонНТУ. Системний аналіз та інформаційні технології у науках про природу та суспільство /ред. Башков Е.А. – 2010. - № 1. - С. 133-143.

11. Романчук, С.М. Алгоритмы управления технологическими режимами водоснабжения городов/ **С.М. Романчук**// Наукові праці ДонНТУ. Серія «Проблеми екології» – Донецьк, 2014. – №1. – С. 98-108.

12. Романчук, С.М. Направления развития городских АСУ ТП водоснабжения и водоотведения (статья) / Романчук С.М. // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка» – Донецьк, 2014. – №1(19). – С. 131-138

13. Романчук, С.М. Информационное обеспечение интегрированной системы управления городским хозяйством [Текст] / **С.М. Романчук**, О.Н. Саакян, А.С. Ильенко, А.С. Кривякин // Матеріали наук. конф. проф.-виклад. складу Донецького університету. – Т.1: Природничі науки/ред. Шевченко В.П., Беспалова С.В. – Донецьк: Цифрова типографія, 2009. - С. 204 – 209.

14. Романчук, С.М. Разработка опытного образца аппаратно-программного комплекса экологического мониторинга г.Донецка / **С.М. Романчук** // Труды Международного Научно-практического семинара «Гидродинамика и экология» /ред. Ступин А.Б. – Донецк: ДонНУ, 2009. - С. 150 – 156.

15. Романчук, С.М. Применение информационно-аналитических систем в управлении водоснабжением г. Донецка (тезисы)/ **С.М. Романчук**, О.Н. Саакян, А.С. Кривякин // XII Международная научно-техническая конференция АС ПГП «Промышленная гидравлика и пневматика». - Донецк, 11-13 октября 2011г.

16. Романчук, С.М. Сравнительный анализ погрешностей измерения различными методами содержания растворенного кислорода в сточных водах (тезисы)/ **С.М. Романчук**, Д.В. Пилипенко, А.С. Ильенко, А.С. Кривякин // XII Международная научно-техническая конференция АС ПГП «Промышленная гидравлика и пневматика». - Донецк, 11-13 октября 2011г.

17. Романчук, С.М. Закономерности и статистические модели режимов работы городских водораспределительных сетей/ **Романчук С.М.** // Наукові праці ДонНТУ - Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка» – Донецьк, 2012. – №16(204). – С. 208-214

**- в других изданиях:**

18. Беспалова, С.В. Флуориметрия хлорофилла фитопланктона и другие методы в мониторинге водных объектов Донбасса. (тезисы) / С.В. Беспалова, С.В. Чуфицкий, **С.М. Романчук** // в книге: Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции. ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН». - 2017. - С. 355-356.

19. Болонов, Н.И. Автоматизированная установка для поверки счетчиков воды [Текст] / Н.И. Болонов, **С.М. Романчук**, О.Н. Саакян, А.С. Ильенко // Матеріали междунар. науч.-техн. конф. «Метрология и измерительная техника». – Харьков, 2010. - С. 110 – 113.

20. Bespalova, S.V. Automated monitoring of ecological state of surface waters using phytoplankton as bioindicator/ r/ S.V. Bespalova, **S.M. Romanchuk**, N.M. Lyalyuk, D.N. Afanasyev, A.V. Vasilyev // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. - 2011. - № 1. - С. 9-24.

**Личный вклад соискателя в публикациях:** [1,2] – построены модели регрессии, проведена оценка статистической значимости моделей; [3] – разработана методика предварительных расчетов оптической системы; [4,5] – разработка комплекса технических средств; [6] – предложена методика анализа данных; [7] – предложен алгоритм обработки данных измерителя; [8] – рассмотрен вопрос использования флуориметра ФС-2; [9] – разработана структура автоматизированной системы мониторинга и управления водоснабжением города; [10-13] – выбраны направления развития АСУ ТП водоснабжения, разработаны решения по мониторингу, информационному обеспечению и алгоритмам управления этих систем; [14] – разработан опытный образец измерительного комплекса; [15] – предложен комплекс технических средств; [16] – предложен один из методов измерения содержания растворенного кислорода в сточных водах; [17] – исследованы закономерности и статистические модели режимов работы водопроводных сетей; [18] – предложен комплекс технических средств для мониторинга водных объектов; [19] – разработан алгоритм обработки информации при поверке; [20] – разработан комплекс технических средств для системы автоматического мониторинга водных объектов.

## АННОТАЦИЯ

Романчук С. М. **Распределенная информационно-управляющая система режимами работы муниципальной водопроводной сети** - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки) – ГОУВПО «ДОННТУ», Донецк, 2019 г.

Диссертация посвящена разработке технологии мониторинга и управления водоснабжением городов, комплекса технических и программных средств распределенной информационно-управляющей системы режимами работы муниципальной водопроводной сети.

В работе исследованы эксплуатационные режимы автоматизированной систем управления водоснабжения (АСУВ). Получена динамическая математическая модель АСУВ с множественными элементами регулирования. Получила дальнейшее развитие технология управления процессами водоснабжения больших жилых массивов, основанная на распознавании внештатных режимов и аварийных ситуаций. Был создан специальный комплекс технических и программных средств, направленный на повышение эффективности и экономичности работы АСУВ. Разработана технология контроля режимов работы и управления процессами водоснабжения городов, использующая алгоритмы интеллектуальной обработки данных

Результаты исследований внедрены на предприятиях водоснабжения КП «Донецгорводоканал», КП «Харцызкгорводоканал», а также в учебный процесс ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

**Ключевые слова:** мониторинг, управление, водораспределительная система, информационно-аналитическая система, модем, контроллер, временной ряд, регрессия.

#### ABSTRACT

Romanchuk Sergey Mikhailovich. **Distributed information management system of the municipal water supply network** – As manuscript.

Dissertation in support of candidature for a technical degree in the specialty 05.13.06 - The automation and the process control and production (branch-wise) (engineering and industrial technology sciences) –DONNTU, Donetsk, 2019.

The research paper is devoted to the development of technology for monitoring and managing the cities` water supply, a set of hardware and software for a distributed information management system by the operating modes of the municipal water supply network.

The operational modes of automated water supply control systems (AWSCS) are investigated in the research. The dynamic mathematical model of an AWSCS with multiple control elements is obtained. The technology for controlling the water supply processes of large residential areas, based on the recognition of emergency conditions and emergency situations, has been further developed.

A special set of hardware and software was created aimed at efficiency and effectivity upgrading of the AWSCS. A technology has been developed for monitoring operating modes and managing water supply processes in cities, using intelligent data processing algorithms.

The research results are integrated at water agencies such as KP "Donetsk-utilities", KP "Khartsyzsk-utilities" and in educational process of «DONETSK NATIONAL UNIVERSITY».

**Keywords:** monitoring, management, water distribution system, analytics system, modem, controller, time series, recession.