

Мониторинг и анализ данных в процессе управления водоснабжением города Донецка

Романчук С.М.

Донецкий национальный университет,

СКТБ «Турбулентность»

romanchuksm@rambler.ru

Abstract

Romanchuk S. "Monitoring and data analysis in the process of Donetsk water supply management" This paper gives the characteristic of data monitoring system in industrial control city water supply, operational measurement instruments, data transfer systems and control modes. Methods for monitored data processing and mining in city water supply databases are proposed.

Keywords: monitoring, data mining, city water supply systems.

Введение

Вода имеет важнейшее значение для здоровья и благополучия населения, она также необходима для ведения сельского хозяйства и осуществления других видов хозяйственной деятельности человека. Безопасный и устойчивый доступ к воде – в широком смысле слова обеспечение водной безопасности – составляет одно из главных условий человеческого развития [1].

Ежегодно в атмосферу Земли выбрасываются миллионы тонн углекислого газа, что приводит к глобальному изменению климата. В свою очередь климатические изменения несут потенциальную опасность снижения уровня грунтовых вод и нарушения водоснабжения во многих регионах планеты.

Согласно прогнозам повышение среднегодовых температур на юго-востоке Европы к 2050 году может составить $1,4 \div 2,2^{\circ}\text{C}$. К 2080 году региональное потепление в этом районе может привести к снижению количества среднегодовых осадков примерно на $3 \div 5\%$, при этом ожидается увеличение осадков зимой и сокращение их летом.

Климатические изменения оказывают значительные воздействия на водные ресурсы. За последние десятилетия сток рек в Европе существенно сократился летом и увеличился зимой. По прогнозам годовой сток рек в юго-восточной части Европы уменьшится к 2070 году на $10\text{--}25\%$, что приведет, по всей видимости, к дефициту водных ресурсов.

В свою очередь, по прогнозам ученых в течение следующих 40 лет численность городского населения Земли должна увеличиться вдвое, при этом потребление энергии муниципальными компаниями, обеспечивающими водоснабжение и водоотведение в городах, также возрастет как минимум в два раза. В настоящее время сети централизованного водоснабжения охватывают только половину городского населения Земли. В связи ростом численности населения в 2010

году среднегодовое количество возобновляемой воды в мире, приходящееся на одного человека, снизилось на 45 процентов по сравнению с 1970 годом. По мере того, как численность населения будет неуклонно расти, водные ресурсы Земли также будут неумолимо истощаться [1].

Все это в будущем может привести к росту во всем мире стоимости воды и повышению энергоемкости и капиталоемкости процесса водоснабжения. По прогнозам специалистов общее мировое потребление электроэнергии в секторе водоснабжения и очистки сточных вод возрастет на 33% в течение следующих 20 лет.

Известно, что до 7-ми процентов всей энергии, потребляемой мировым сообществом, используется для подачи и очистки воды с целью обеспечения нужд жителей городов и промышленности. Энергетическое потребление большинства водохозяйственных систем во всем мире можно сократить, по крайней мере, на 25 процентов за счет осуществления экономически выгодных мероприятий по повышению эффективности систем водоподдачи и водораспределения [2].

Как отмечает Альянсом за сбережение энергии¹, подавляющее большинство городских водораспределительных и канализационных компаний во всем мире не принимают никаких мер по снижению потребления энергии. Очень часто руководство этих компаний не обладает необходимым запасом технических знаний и средств для того, чтобы реализовать многочисленные потенциальные возможности экономии энергии и воды.

Во многих случаях не хватает необходимого контрольно-измерительного оборудования для мониторинга показателей и характеристик.

¹ Alliance to Save Energy – коалиция лидеров деловых и правительственных кругов, природоохранных и потребительских организаций, выступающих за эффективное и экологически чистое использование энергии во всем мире в интересах потребителей, окружающей среды, экономики и безопасности / Web: www.ase.org

Практика показывает, что создание программно-технических управляющих систем для реализации современных технологий энергосбережения требует значительных затрат средств, в связи с чем многие компании откладывают реализацию подобных проектов.

В других случаях отсутствуют службы и группы энергоменеджмента в компаниях. Тенденция, когда низкая эффективность работы систем перекладывается в виде дополнительной финансовой нагрузки на потребителя, как ни странно, сегодня преобладает во многих компаниях. Тем не менее, в ряде крупных муниципальных компаний мира существуют примеры эффективного менеджмента в области управления энергией и ресурсами.

Специалистами отмечается, что решающими условиями эффективной работы является обеспечение водораспределительных и водоподающих систем средствами для измерения и контроля параметров энерго- и водопотребления, обучение персонала методам эффективного использования энергии, а также наличие необходимых инвестиций в запланированные проекты. Установка контрольно-измерительного оборудования и систем мониторинга режимов работы позволяет снизить расходы на энергоснабжение на 10 процентов только благодаря изменению привычных подходов и повышению уровня технического обслуживания.

Мониторинг параметров режимов работы систем в течение их эксплуатации является превосходным способом оценки выполнения мероприятий, направленных на повышение эффективности использования энергии [2]. Основной первоначальной задачей системы мониторинга крупной компании является внедрение технологий контроля и анализа данных в масштабе всего предприятия, включая средства измерения и передачи данных, компьютеры, программные средства, базы данных и генераторы отчетов. После создания инфраструктуры системы мониторинга можно переходить к анализу данных и выполнению работ по целенаправленной оптимизации систем водоснабжения.

Современные системы мониторинга являются важной составной частью общей системы энергоменеджмента многих крупных предприятий, обеспечивающих водоснабжение городов и населенных пунктов, так как позволяют вывести работу предприятий на качественно новый технологический уровень.

Важным фактором энергосбережения является своевременная реконструкция объектов водоснабжения на фоне изменившихся условий водопотребления, а также предвидение изменений, которые могут возникнуть в ближайшем будущем.

Прогнозы формирования водных ресурсов Донецкого региона

Донецкая область является одним из самых малообеспеченных пресной водой регионов Украины.

В регионе существует острая проблема дефицита качественных пресных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности.

Общий сток воды рек региона колеблется в пределах $1,5 \div 2,0$ км³/год. В современных условиях режим практически всех рек в области изменен за счет создания искусственных водоемов – ставков и водохранилищ. Всего в области создано 157 водохранилищ, из них одно с полным объемом 162,0 млн. м³ воды, 15 – с объемом 427,8 млн. м³, остальные – 285,7 млн. м³ воды [3, 4, 5].

В целом водообеспеченность на одного жителя области составляет 180 м³, что в 5 раз меньше, чем в среднем по Украине. Бытовое потребление воды в расчете на одного человека за последние 18 лет уменьшилось с 135 м³ в 1990 году до 58 м³ в 2008 году.

По городу Донецку забор воды из близлежащих природных водных объектов осуществляется в количестве 61 млн. м³. Всего с учетом воды поставляемой по каналу «Северский Донец – Донбасс», потребление воды достигает 113,2 млн. м³. За последние девять лет эта цифра снизилась на 22 %. В свою очередь водоотведение по городу достигает 147,5 млн. м³. Донецк использует на хозяйственно-бытовые цели свежую воду в количестве 78,8 м³/чел. После городов Мариуполь и Селидово город Донецк по этому показателю находится на третьем месте в области [5].

Прогнозы показывают, что к 2020 году потребление воды по городу Донецку может снизиться еще на $20 \div 25$ % и составить $110 \div 120$ млн. м³. После 2020 года уровень потребления воды должен стабилизироваться на указанном значении.

На фоне снижения потребления свежей воды большую роль в водоснабжении будут иметь объемы доступных для использования водных ресурсов, которые имеются в регионе.

Сегодня в юго-восточном регионе Украины не наблюдается явно выраженного потепления. Хотя среднегодовые температуры превышают в отдельные годы норму, тенденция эта не является устойчивой. Однако учеными достоверно установлено, что последние десятилетия климат Земли меняется. В мировых масштабах средняя температура воздуха увеличилась на 0,8°C по сравнению с доиндустриальным периодом (1850 – 1919 гг.).

В Европе изменения температуры воздуха более выражены, так как за этот период наблюдается рост примерно на $1,4^{\circ}\text{C}$. В нынешнем веке ожидается повышение средних глобальных температур на $1,8 \div 4,0^{\circ}\text{C}$. На востоке и юге Европы, вероятнее всего, станет существенно теплее. Это на фоне того, что последнее десятилетие в Европе было самым теплым за 150 лет, а 1998 и 2005 годы зарегистрированы как самые теплые периоды за это время.

Согласно долгосрочным прогнозам повышение среднегодовых температур в Украине к 2050 году может составить $1,4 \div 2,2^{\circ}\text{C}$, а к 2080 – 2100 годам соответственно $2,7 \div 4,0^{\circ}\text{C}$. К концу века на территории страны возможно снижение количества среднегодовых осадков примерно на $3 \div 5\%$.

За последние десятилетия сток рек в Европе существенно сократился летом и увеличился зимой. По прогнозам годовой сток рек в Украине уменьшится к 2070 году на $10 \div 25\%$ [7].

Данные наблюдений метеорологической сети свидетельствуют о том, что региональное изменение климата влияет на ряд метеорологических характеристик: изменились сроки образования и продолжительность залегания устойчивого снежного покрова, увеличилась интенсивность неблагоприятных метеорологических явлений, наблюдаются нехарактерные для Донецкого региона экстремально низкие зимние температуры и устойчиво высокие летние в сочетании с повышающимся до 2006 года уровнем осадков.

Динамика среднегодового количества осадков в 1936–2006 гг. в Донецкой области согласно данным [4] показана на рисунке 1. Как видно из полученного тренда, за этот период количество осадков увеличилось с 500 до 615 мм. Однако по цикличности водоносности лет в настоящее время формируется маловодный период, который начался в 2006 г. и продлится до 2030–2040 гг. (см. рис. 2). Это указывает на то, что ближайшие десятилетия на территории региона будут засушливы.

Данные многолетних наблюдений свидетельствуют о наличии тенденции к небольшому изменению климата в Донецкой области. При этом потепление в регионе выражено слабо, в то время как уменьшение количества осадков в ближайшие 10 – 20 лет ожидается существенное. Эти и другие изменения, в том числе снижение стока рек, увеличение числа опасных погодных явлений будут характерны для Донецкой области.

Сценарии возможного изменения климата на территории Донецкой области даны во втором национальном сообщении по вопросам изменения климата в Украине [6] и

следующих документах [7 – 9].

Большинство современных моделей, к сожалению, пока не обладает достаточной региональной детализацией для построения комплексных прогнозов изменения климата для конкретной, небольшой по площади, территории. Поэтому приведенные ниже оценки отражают либо общий тренд для регионов Украины, в целом, либо прогнозы для Донецкой области даются с учетом наблюдаемых и ожидаемых тенденций регионального распределения тех или иных параметров климатической изменчивости в юго-восточной Европе или Западной России.

Как показывают выполненные оценки за последние сто лет северные регионы Украины потеплели в зимние месяцы приблизительно вдвое больше глобального уровня, который совпадает со средним в Украине (примерно $0,58^{\circ}\text{C}$ за 100 лет). В южных и юго-восточных регионах средняя месячная температура летних месяцев почти не изменилась или даже немного снизилась. Это совпадает с данными для Донецкой области. Таким образом, по мере повышения температуры воздуха в северных регионах Украины и России, в Донецкой области будет наблюдаться по крайней мере средний тренд роста температуры воздуха характерный для Украины – $0,4 \div 0,6^{\circ}\text{C}$ за сто лет. Поэтому на территории области к середине нынешнего столетия рост среднегодовой температуры воздуха будет совпадать со средним глобальным трендом ($0,5^{\circ}\text{C}$) или будет чуть ниже его.

Одним из важнейших экологических последствий глобального потепления, имеющих социально-экономическую значимость, является трансформация поля интенсивности атмосферных осадков в регионе. Южные регионы Украины (особенно юго-восточные области и Крым) относятся к зоне недостаточного увлажнения. Исследования [6] показывают, что потепление в регионе до $1 \div 2^{\circ}\text{C}$ является чрезвычайно благоприятным для экономики Украины, так как оно выравнивает поле годового количества атмосферных осадков на территории страны. В юго-восточных регионах годовое количество осадков повышается на $10 \div 15\%$, а в северо-западных – снижается на $5 \div 10\%$.

В настоящее время в Украине особенности циркуляции атмосферы и влияние разных местных факторов приводят к резкому общему снижению средней годовой интенсивности осадков на территории.

Среднее годовое количество атмосферных осадков в Украине равняется примерно $580 \div 600$ мм/год, что на $1/3$ меньше среднего значения уровня осадков для этого широтного пояса Земли.

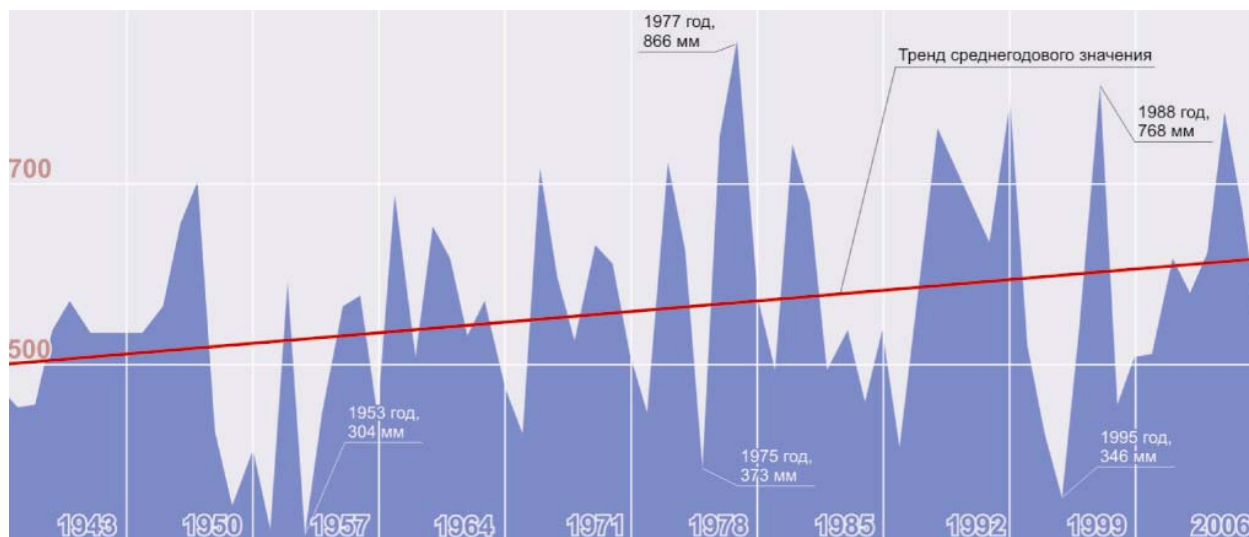


Рисунок 1. – Динамика среднегодового количества осадков в Донецкой области в 1936 – 2006 годах

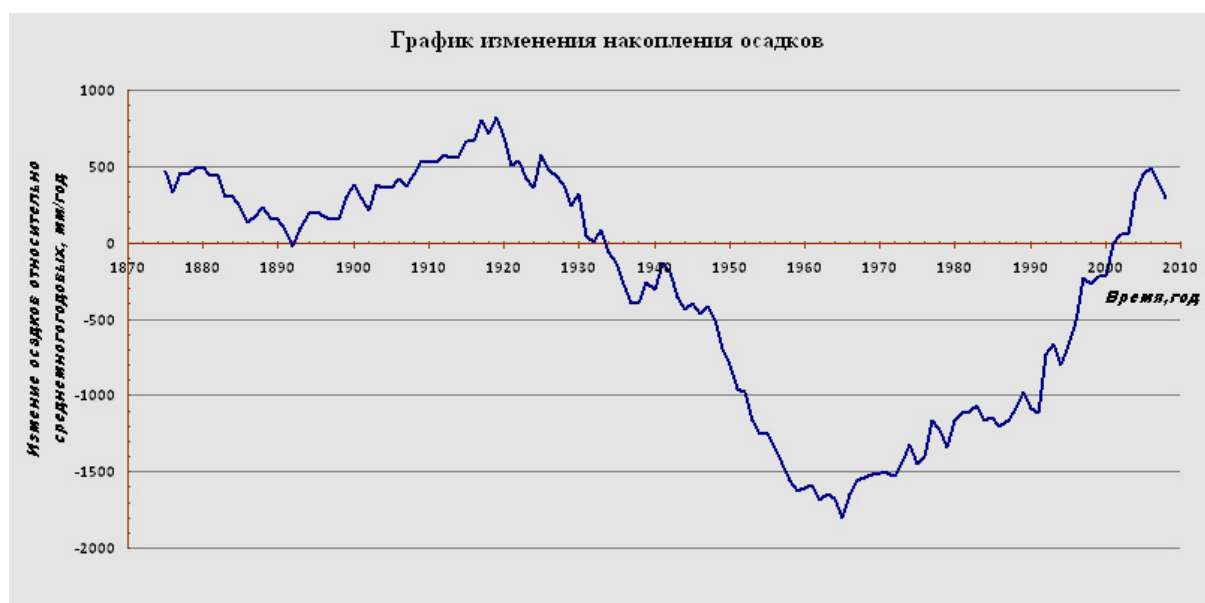


Рисунок 2. – График изменения накопления осадков по данным метеостанций региона

За последние 100 лет в тех регионах, где годовое количество осадков было малым (юго-восточные области, т.е. зона недостаточного увлажнения), оно существенным образом увеличилось, а там, где оно было относительно высоким (северо-западные области, т.е. зона чрезмерного увлажнения) – снизилось.

Установленный эффект трансформации поля годового количества осадков в Украине под влиянием глобального потепления является социально значимым. Однако увеличение роста количества осадков будет сдерживаться цикличностью водоносности, которая с 2006 года начинает уменьшаться. После 2035 – 2040 годов на территории области возможен рост осадков и это может благоприятно сказаться на экономике области. Поэтому лишь к середине XXI века проявится более-менее определенная

тенденция в изменении режима осадков. Наибольшее их увеличение ожидается зимой. Менее четкая картина дается на летний период. Для Донецкой области увеличение количества осадков в холодное время года может составить $15 \div 20\%$ по сравнению с 1970 – 2000 гг., а в летнее время – $5 \div 10\%$.

По прогнозам Укргидрометеоцентра и Росгидромета, уже к 2015 – 2020 году в юго-восточной части Европы ожидается увеличение запасов водных ресурсов на $5 \div 10\%$, а рост водообеспеченности на $10 \div 15\%$. Это приведет к увеличению зимнего и летнего стока рек на $5 \div 20\%$.

Таким образом, в Донецком регионе в перспективе до 2050 года не должно наблюдаться резкого изменения запасов водных ресурсов, возможно даже небольшое

увеличение этих запасов. На фоне снижения потребления свежей воды это может положительно сказаться на деятельности водоснабжающих предприятий. Однако после 2050 года ситуация может резко измениться.

Краткая характеристика объекта автоматизации и системы мониторинга

В городе Донецке работы по созданию эффективной системы мониторинга городской сети водоподачи и водораспределения ведутся с 2004 года. Сейчас водоснабжение города обеспечивается предприятием КП «Донецкгорводоканал». Объем подачи воды для города составляет около 510 тыс. м³/сут. На балансе КП «Донецкгорводоканал» находятся:

- 9 водопроводных узлов (ВУ), общей проектной мощностью 1136 м³/сут.;
- 125 подкачивающих насосных станций (ПНС);
- 3114 км водопроводных сетей;
- 1400 км канализационных сетей;
- Донецкие очистительные сооружения, производительностью 500 тыс. м³/сут.;
- 17 канализационных насосных станций (КНС).

Водопроводные узлы и ПНС относятся к числу наиболее энергоемких технологических объектов в коммунальном хозяйстве. Годовое потребление электроэнергии предприятием «Донецкгорводоканал» достигает 80 млн. кВт·час при общей мощности оборудования 11175 кВт.

В 2004–2009 годах для снижения потребления энергии на предприятии проведен целый ряд мероприятий по реконструкции и модернизации производственных объектов за счет значительных капиталовложений. В качестве первоочередных мероприятий произведена замена насосных агрегатов на водопроводных узлах, подкачивающих насосных станциях и в канализационном хозяйстве. На водопроводных узлах и КНС был установлен 21 преобразователь частоты большой мощности и модернизировано 29 насосов. На подкачивающих насосных станциях установлено 69 преобразователей частоты и проведена замена 76 насосных агрегатов. Это позволило более чем на четверть уменьшить энергоемкость основного оборудования.

Одновременно с модернизацией основного оборудования велось создание автоматизированной системы мониторинга. В этот период основные технологические объекты были оснащены датчиками, исполнительными механизмами и другой аппаратурой, которые позволяют реализовать следующий комплекс

функций контроля и управления режимами работы технологических систем:

- сбор и первичная обработка технологической информации, которая поступает от датчиков и первичных преобразователей;
- контроль основных параметров технологических процессов;
- дистанционное управление процессами из центрального диспетчерского пункта, а также автоматическое управление исполнительными механизмами на локальном уровне на основе оперативного анализа собранной технологической информации;
- визуализация и регистрация информации о технологических процессах;
- выявление, регистрация и сигнализация в процессе возникновения нерасчетных эксплуатационных режимов;
- распознавание и регистрация аварийных ситуаций.

Система мониторинга и управления водоснабжением города Донецка состоит из следующих подсистем:

- геоинформационная система (ГИС);
- система сбора и передачи информации с удаленных объектов;
- система дистанционного управления технологическим оборудованием.

На основе геоинформационной системы был создан единый программный комплекс инвентаризации сетей и расчета гидравлических режимов. Важным этапом развития системы мониторинга КП «Донецкгорводоканал» явилось внедрение системы сбора и передачи информации с удаленных объектов с использованием радиоканала и GSM-модемов. На текущий момент данная система охватывает 138 объектов: все водопроводные узлы, 86% ПНС и целый ряд контрольных точек (КТ) на водопроводных сетях. В процессе мониторинга контролируются расход воды и давление по напорным трубопроводам, уровни воды в приемных резервуарах, потребляемый насосными агрегатами ток, потребленная объектами электроэнергия и др.

В качестве источников информации используются следующие контрольно-измерительные приборы:

- ультразвуковые измерители расхода питьевой воды и сточных вод;
- водомеры с импульсным выходом;
- датчики абсолютного и избыточного давления;
- датчики уровня ультразвуковые и гидростатические;
- счетчики электроэнергии.

Вся информация о технологических параметрах по радиоканалу или с помощью GSM-модемов передается на центральный

диспетчерский пункт (ЦДП) – в базу данных эксплуатируемой ГИС. Пользуясь запросами к серверной части и к базе данных, диспетчер ЦДП и диспетчера районных служб водоканализационных систем (ВКС) могут контролировать в реальном времени обстановку на водопроводных и канализационных сетях, водопроводных узлах и канализационных насосных станциях города. Программа предоставляет пользователю удобный интерфейс для работы и отображает информацию в понятной и удобной форме.

Система мониторинга и управления технологическими режимами является трехуровневой. Верхний уровень системы создан в виде центрального диспетчерского пункта (ЦДП). В состав ЦДП входит:

- подсистема формирования и передачи управляющих сигналов (управляющий компьютер с мнемосхемами узлов, ПНС и районов);
- подсистема анализа и принятия решений (компьютер аналитического отдела с программами ГИС и системой гидравлического моделирования);
- подсистема контроля (46-ти дюймовые настенные мониторы для отображения мнемосхем).

Средний уровень системы представлен локальными диспетчерскими на водопроводных узлах и ПНС. В состав любой локальной диспетчерской входит промышленный компьютер, который обеспечивает поддержку работы диспетчера.

Нижний уровень системы организован на базе промышленных контроллеров, где осуществляется обработка информации и управление в режиме реального времени. Контроллер сбора данных принимает информацию с датчиков, переключателей, преобразователей. Контроллер поддерживает давления управляет частотным преобразователем. Контроллер управления задвижками управляет электроприводами задвижек. Промышленный компьютер и контроллеры объединены в сеть с помощью индустриальной шины и работают под управлением операционной системы реального времени. Алгоритм управления водоснабжением выглядит следующим образом.

Информация о технологических параметрах со всех контрольных точек, ПНС и водопроводных узлов передается на ЦДП. Аналитическая группа ведет анализ эффективности работы сети в текущий момент времени. С помощью программ ГИС и гидравлического моделирования принимаются решения об изменении режимов работы оборудования в случае необходимости. Это реализуется с помощью подсистемы

формирования и передачи управляющих сигналов.

В частности, в текущий момент времени диспетчер из ЦДП может дистанционно управлять задвижкой на приходе и частотным преобразователем на СБУ, частотными преобразователями на 8-ми ПНС. Ведется расширение набора функций управления по целому ряду технологических объектов КП «Донецгорводоканал».

Опытная эксплуатация системы мониторинга и дистанционного управления распределенными объектами системы водоснабжения Киевского района города дала экономию электроэнергии – 18% и экономию воды – 8%.

Существующая на перспективу программа технологической модернизации предприятия предусматривает поэтапное развитие системы мониторинга и управления на все девять районов города. Предполагается, что комплекс внедряемых мероприятий позволит снизить энергетическое потребление системы водоснабжения города на 20%.

Однако, несмотря на успехи в развитии системы мониторинга и управления водоснабжением города, сегодня видны общие методические проблемы, свойственные практически всем системам мониторинга в различных областях человеческой деятельности.

Мониторинг данных в АСУ ТП водоснабжения городов

Кратко основные методические проблемы в области мониторинга систем можно перечислить в виде:

- контрольно-измерительные средства и сети мониторинга;
- базовые критерии и системы показателей для оценки работы объектов;
- методики аудита режимов работы объектов применительно к автоматизированным системам контроля и управления;
- системы анализа данных и оперативного принятия решений.

Качество данных в значительной степени зависит от количества, качества и расположения контрольно-измерительного оборудования. Развитие контрольной сети системы мониторинга представляет собой важную задачу, однако после первого этапа создания такой сети всегда закономерно возникает проблема оптимизации измерительной сети. Создание избыточной измерительной сети мониторинга достаточно дорогостоящее мероприятие как по капитальным, так и по эксплуатационным затратам. Даже минимальная сеть требует создания эксплуатационной группы, обеспечивающей работу оборудования.

Главной задачей при развитии контрольно-измерительной системы является создание сети первичных и вторичных измерительных приборов для контроля давления, расхода воды и электроэнергии. Такая сеть должна обеспечивать измерение количества воды и энергии, поступающей в систему, и расчет количества воды, доставляемой потребителям. В наилучшем варианте контрольно-измерительная система должна охватывать всю водохозяйственную систему города вплоть до мест потребления воды и энергии, однако при этом она должна быть оптимальной по стоимостным параметрам и эксплуатационным затратам.

Как правило, существует несколько типов контрольно-измерительных приборов и средств технологического мониторинга, позволяющих производить однотипные измерения. Поэтому в практической деятельности перед компаниями остро стоит задача выбора оборудования, наиболее подходящего для выполнения определенных видов мониторинга технологических режимов.

В таблице 1 приведен краткий перечень, используемых в КП «Донецкгорводоканал», КИП и средств измерений. Принятые к эксплуатации марки КИП являются следствием практического опыта длительной эксплуатации различных типов оборудования.

Ряд данных о режимах работы оборудования и водораспределительных сетей необходимо получать на основе расчетов с использованием измеряемых параметров. Например, для определения перепадов высот между источником водоснабжения и потребителем, с которыми связаны напорные характеристики сетей, следует иметь данные об измерениях перепадов давления, информацию о геометрических характеристиках участков водопроводных сетей и результаты оценки профиля земной поверхности. Аналогичным образом, необходимо выполнение расчетов для определения скоростных характеристик потоков воды и оценки гидравлического сопротивления трубопроводов.

Важной задачей является правильное определение участков, на которых будут проводиться измерения. Измерение расходов, давлений воды и энергопотребления электродвигателей, как правило, производится вблизи главных насосов ВУ и ПНС с целью оценки их эффективности. На локальном уровне может потребоваться дальнейший анализ характеристик главных насосов для определения оптимальных рабочих режимов. Это возможно путем применения микропроцессорной техники, использования данных измерений и выполнения расчетов. Контроль давления и расхода на участках

трубопроводной сети необходим в узловых точках для анализа эффективности работы водопроводной сети, оценки утечек воды, определения количества воды, подаваемой потребителям, оценки оптимальности совместных режимов работы сетей и насосов и т.д. Средства мониторинга и КИП являются основой АСУ ТП любого предприятия.

Таблица 1. – Измерение параметров технологических процессов в системах водоснабжения

Параметры	Типовые КИП	Принятые марки КИП
Расход воды	Дифференциальные КИП Счетчики расхода Расходомеры объемного типа	Дифманометры ДМ-3583 Ультразвуковые накладные «Акрон-01» Ультразвуковые врезные «Sonokit»
Давление воды	Манометры Сильфоны Диаграммы Пьезорезистивные датчики	Тензодатчики ИД-01
Мощность электродвигателей	Амперметры Вольтметры Измерители коэффициента мощности	Анализатор сети DIRIS A40
Частоты вращения насосов для оценки КПД	Стробоскопические источники света	Тахометр ИП-114
Объемы накопленной воды	Датчики уровня	Ультразвуковые ЭХО-Р-01
Напорные характеристики	Алгоритмические расчеты согласно данным КИП	Автономные измерители давления
Номинальные показатели оборудования для оценки оптимального КПД	Комплекс КИП	«Акрон-01» Тензодатчики ИД-01 Анализатор сети DIRIS A40

Важным фактором при оценке эффективности систем водоснабжения является разработка комплекса показателей и индикаторов, характеризующих водо- и энергопотребление на технологический объектах и предприятии в целом. Выбор и оценка значений таких показателей позволяет определить базовые уровни для последующего сравнения данных показателей с показателями, которые имеют аналогичные объекты, а также контроля количественного изменения их

значений с течением времени. Подобные показатели являются важным инструментом при разработке программ развития предприятия и поэтапной модернизации производства. Контроль показателей использования воды и энергии позволяет получить важную информацию относительно эффективности работы всей системы водоснабжения и реализации конкретных мероприятий по энергосбережению. Показатели эффективности и качества технологических процессов производства должны включаться в технологические регламенты работы оборудования, паспорта оборудования и участков инженерных сетей.

В таблице 2 приведен краткий перечень, используемых показателей и индикаторов для оценки эффективности работы систем водоснабжения и канализации, а также контроля эффективности водо- и энергосбережения.

Частью процесса определения комплекса мероприятий по снижению эксплуатационных расходов является проведение на технологических объектах энергоаудита. Имеется целый ряд руководств по аудиту в системах водоснабжения и канализации [10–15], однако в них недостаточно информации о методах аудита применительно к системам водоснабжения, которые оборудованы автоматизированным системам контроля и управления. Каждое предприятие, использующее АСУ ТП при водоснабжении объектов, в качестве стандарта предприятия должно разработать ведомственную методику аудита режимов работы объектов применительно к автоматизированным системам контроля и управления. Такая методика должна охватывать все оборудование и приборы, которые используются в процессе технологической обработки, подачи и очистки воды и которые входят в АСУ ТП.

После внедрения системы мониторинга практически сразу возникает проблема внедрения максимально эффективной методики использования получаемых данных. Для определения оптимального энергопотребления обычно проводят текущие расчеты, выполняют сравнение полученных данных с паспортными данными производителей оборудования, показателями и индикаторами, принятыми в качестве стандартов предприятия, а также сравнивают данные с наиболее эффективными показателями, достигнутыми на данный момент в отрасли.

Технические средства анализа данных, такие как номограммы и характеристики насосов, программные средства оптимизации и гидродинамических расчетов, относятся к первичным средствам анализа информации.

Эти средства позволяют провести

техническую оценку ВУ, ПНС и КНС, а также отдельных частей системы водоснабжения. Примерами подобных средств являются программные продукты вида [16 – 21].

Таблица 2. – Показатели и индикаторы контроля эффективности работы систем водоснабжения и канализации

Показатели и индикаторы	Единица измерения	Базовые значения
Для всего предприятия в целом		
1. Производственная мощность системы водоснабжения	млн. м ³ /сут	1,136
2. Подано воды в сеть водоснабжения	млн. м ³	137,0
3. Отпущено воды всем потребителям	млн. м ³	74,4
4. Бытовое водопотребление в расчете на душу населения	м ³ /год·чел	48,5
5. Уровень потерь воды в водопроводных сетях	%	45,7
6. Уровень потерь воды в канализационных сетях	%	Данных нет
7. Доля проб, не отвечающих нормам качества питьевой воды, в общем количестве проб	%	0
8. Установленная пропускная способность канализации (очистных сооружений)	тыс. м ³ /сут	475,0
9. Количество отведенных сточных вод	тыс. м ³	67,5
10. Пропущено сточных вод через канализацию (очистные сооружения)	тыс. м ³	96,5
11. Доля загрязненных сточных вод в общем объеме стоков	%	0,89
12. Ежегодный объем потребления электроэнергии	млн. кВт	80,7
13. Энергоемкость: (отношение между годовым потреблением электроэнергии и годовым объемом подачи воды)	кВт·час/м ³	0,59
Для ВУ, ПНС и КНС		
1. Ежегодный объем потребления электроэнергии насосами	млн. кВт·час/мес.	1,644
– ВУ		0,245
– ПНС		4,472
– КНС		
2. Фактический к.п.д насосных систем	%	
– Двигатели		0,9–0,95
– Насосы		0,7–0,8
Для участков водопроводных и канализационных сетей		
1. Уровень потерь воды в водопроводных сетях	%	28,9

Система компьютерного моделирования водопроводных сетей Mike Net [16] представляет собой программный комплекс разработанный компанией DHI Water & Environment. Система Mike Urban – интегрированная моделирующая среда для городских систем водоснабжения и водоотведения с использованием ГИС [16].

В свою очередь система Mike Urban Model Manager содержит три инструмента в одном пакете: ПО для моделирования работы сетей водоснабжения и водоотведения на основе GYS; интегрированный пакет моделирования стоков с помощью SWMM5; интегрированный пакет моделирования сетей водоснабжения с помощью Epanet.

Известными автоматизированными системами с развитыми функциями мониторинга и управления являются созданная ОАО "Уралмонтажавтоматика" АСУ ТП диспетчерского контроля и управления водоснабжения на базе программного комплекса Trace Mode 5.10 [17] и Единая АС диспетчерского контроля и управления городским хозяйством города Москвы.

Следует отметить также разработки компании Ensys Technologies, ряда западных университетов и т.д. [18 – 21].

Программные средства существенным образом автоматизируют технические расчеты и позволяют в процессе накопления информации разработать стандарты предприятий и обновлять информацию в паспортах оборудования и технологических регламентах.

Интеллектуальный анализ данных в АСУ ТП водоснабжения городов

Методы системного и интеллектуального анализа данных используются в АСУ ТП водоснабжения городов пока слабо. Однако создание крупных баз данных, содержащих информацию о режимах работы городских систем водоснабжения, закономерно ставит вопрос о выборе методов интеллектуального анализа данных для изучения постоянно растущих объемов информации.

Известно, что интеллектуальный анализ данных – позволяет выявить скрытые закономерности в больших объемах информации. Буквально за несколько месяцев опытной эксплуатации АСУ ТП водоснабжения города Донецка был накоплен объем информации позволяющий говорить об использовании методов интеллектуального анализа данных.

Данные методы дают возможность в автоматическом режиме получать закономерности, определяющие формирование технологических режимов городских систем водоснабжения. Преимуществом таких

подходов является отказ от использования методов гидравлических и энергетических расчетов, которые требуют большого количества исходных данных, имеющих достаточно высокую погрешность. При этом на смену традиционным методам приходят адаптивные методы, когда простые зависимости с небольшим количеством входных и выходных переменных получают путем обработки больших объемов данных мониторинга режимов работы систем водоснабжения.

На рис. 3 представлен промышленный участок системы водоснабжения города Донецка, на котором осуществлялся сбор данных о технологических режимах работы системы в соответствии с информацией, приведенной в таблице 3.

Расчетные модели ВУ, ПНС и КНС, определяющие напорные характеристики, могут быть заменены простыми регрессионными моделями одного временного ряда относительно другого. Наиболее распространенный метод построения регрессии одного ряда на другой – это метод распределенных лагов [22, 23].

Общая модель распределенных лагов имеет вид:

$$P_2(t) = a_0 \cdot P_1(t) + a_1 \cdot P_1(t-1) + \dots + a_n \cdot P_1(t-n), \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

где $P_2(t)$ – зависимый ряд наблюдений, $P_1(t)$ – независимый ряд, t – время, n – лаг запаздывания.

Данный метод – это один из распространенных методов системного анализа, имеющий перспективы при установлении закономерностей в базах данных, которые отличаются пространственно-временным распределением.

Основной целью построения модели опытного участка системы водоподачи Киевского района города Донецка является существенное снижение количества исходных данных, которые обладают значительной неопределенностью. Традиционные расчетные методики требуют задания многих параметров: диаметров трубопроводов, коэффициентов гидравлических сопротивлений участков, данных о перепадах высот, скоростных характеристик сетей, данных о местных сопротивлениях и т.д. Вся эта информация применительно к длительно эксплуатирующимся системам водоснабжения обладает невысокой достоверностью и значительной неопределенностью.

Снижение количества исходных данных возможно путем удаления из расчетов наиболее неопределенных участков сетей и представления их моделями, описывающими напорные и расходные характеристики. Это позволяет с высокой достоверностью построить

модель центральной части системы водоподачи, охватывающую сеть, где размещены основные насосные системы водораспределительных узлов и подкачивающих насосных станций, которые потребляют основные объемы энергии.

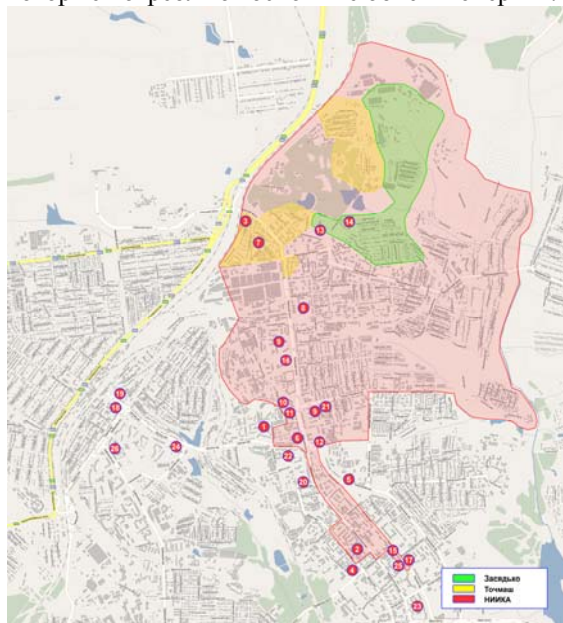


Рисунок 3 – Опытный участок водоснабжения Киевского района города Донецка.

8 – объект системы мониторинга и контроля технологических параметров (таблица 3).

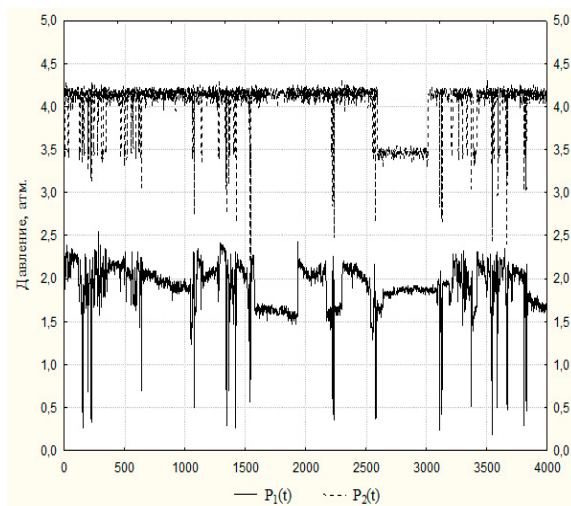


Рисунок 4 – Временные ряды входного и выходного давления для ПНС Квартал 196. Один лаг временного ряда – 10 минут

В таблице 4 для примера приведены модели распределительных лагов для некоторых ПНС, показанных на рис. 4. Модели являются практически функциональными зависимостями, т.к. коэффициенты корреляции достаточно высоки.

Данные зависимости могут быть использованы при разработке программного обеспечения, которое в реальном времени по

Таблица 3. – Измерение параметров технологических процессов в системах водоснабжения

№	Наименование объекта	Адрес	КИП
Водопроводный узел Северный			
14	ПНС м-р Домостроитель	ул. Листопрокатчиков, 13	Два ДД
1	ПНС Квартал 234	ул. Артема, 181б	Два ДД, Акрон, АПЧВН
2	ПНС Квартал 735	ул. Университетская, 94а	Два ДД, Акрон, АПЧВН
3	ПНС ул. Стратонавтов	ул. Стратонавтов, 121	Два ДД, Акрон, АПЧВН
4	ПНС Квартал 203	ул. Р. Люксембург, 103а	Два ДД, Акрон, АПЧВН
5	ПНС м-р Ветковский	ул. Челоскинцев, 275	Два ДД, Акрон, АПЧВН
6	ПНС Квартал Синтетика	пр. Киевский, 2а	Два ДД, Акрон, АПЧВН
7	КТ Башня Точмаш	Точмаш	Один ДД
8	ПНС Квартал 268	пр. Киевский, 55г	Два ДД, Акрон, АПЧВН
9	ПНС Квартал 238	пр. Киевский, 5	Два ДД, Акрон, АПЧВН
10	ПНС Киевский-4	пр. Киевский, 4	Два ДД, Акрон, АПЧВН
11	ПНС Киевский-2	пр. Киевский, 36г	Два ДД, Акрон, АПЧВН
12	ПНС Квартал Дончанка	ул. Университетская, 105	Два ДД, Акрон, АПЧВН
13	КТ Квартал 287	ул. Чапаева, 8а	Один ДД
14	ПНС Взлетный	ул. Взлетная, 11	Два ДД
15	ПНС Квартал 198а	ул. Челоскинцев, 212	Два ДД, Акрон, АПЧВН
16	ПНС м-р Киевский-1	пр. Киевский, 36г	Два ДД, Акрон, АПЧВН
17	ПНС ТП 198	ул. Артема, 151а	Два ДД
18	КТ УЖД, Квартал 438	ул. Артема, 282а	Два ДД
19	КТ Артема 279	ул. Артема, 279	Один ДД
20	ПНС м-р Шахтерский-1	ул. Тренева, 1	Два ДД, Акрон, АПЧВН
21	ПНС Квартал 628	ул. Поповича, 37а	Один ДД
Водопроводный узел Центральный			
22	ПНС м-р Шахтерский-2	ул. Артема, 154а	Два ДД, Акрон, АПЧВН
23	ПНС м-р Артема 102б	ул. Артема, 102б	Два ДД, Акрон, АПЧВН
24	ПНС м-р Привокзальный-2	ул. Артема, 198а	Два ДД, Акрон, АПЧВН
25	ПНС Квартал 196	ул. Артема, 108а	Два ДД, Акрон, АПЧВН
26	ПНС м-р Привокзальный-1	ул. Куйбышева, 246б	Два ДД, Акрон, АПЧВН

Здесь ДД – датчик давления; Акрон-1 – счетчик расхода; АПЧВН – автоматический преобразователь частоты.

данным мониторинга позволяет прогнозировать текущее потребление энергии системой.

Таблица 4. – Параметры модели распределенных лагов для некоторых ПНС города Донецка

Наименование объекта	Вид модели	Коэф-т корреляции
ПНС Квартал 234	$P_2(t) = 0,919P_1(t) + 0,904P_1(t-1)$	0,956
ПНС Квартал 735	$P_2(t) = 0,976P_1(t) + 0,890P_1(t-1)$	0,991
ПНС ул. Стратонавтов	$P_2(t) = 0,919P_1(t) + 0,904P_1(t-1)$	0,989
ПНС м-р Ветковский	$P_2(t) = 0,854 \cdot P_1(t)$	0,990
ПНС Квартал Синтетика	$P_2(t) = 1,056P_1(t) + 0,924P_1(t-1)$	0,995
ПНС Квартал 238	$P_2(t) = 1,755P_1(t-1)$	0,991
ПНС Киевский-4	$P_2(t) = 1,874P_1(t-1)$	0,975
ПНС Киевский-2	$P_2(t) = 1,696P_1(t-1)$	0,986
ПНС Квартал 628	$P_2(t) = 0,919 \cdot P_1(t)$	0,998
ПНС Квартал 196	$P_2(t) = 1,367P_1(t) + 0,713P_1(t-1)$	0,993

Выводы

Таким образом, создание баз данных мониторинга режимов работы городских систем водоснабжения дает возможность использовать методы интеллектуального анализа данных, которые позволяют повысить достоверность прогнозных показателей. Данный путь дает возможность разработать адаптивные алгоритмы для оценки работы систем водоснабжения, которые позволят на объектном и центральном уровне систем вести непрерывную оценку эффективности водораспределения и экономичности работы насосного оборудования.

Литература

1. Доклад о развитии человека 2006. Что кроется за нехваткой воды: Власть, бедность, глобальный кризис водных ресурсов / Пер. с англ. – М.: Весь мир, 2006. – 440 с.
2. Watergy. Возможности эффективного использования энергии и воды в муниципальных водохозяйственных системах / Alliance to Save Energy, Washington, 2002. – 143 с.
3. Доклад о состоянии окружающей природной среды города Донецка в 2006 – 2007 годах / Под ред. А. Лукьянченко. Донецк, 2008. – 112 с.
4. Земля тревоги нашей. По материалам Докладов о состоянии окружающей природной среды в Донецкой области в 2007 - 2008 годах / Под ред. С. Третьякова, Г. Аверина, Донецк, 2009. – 124 с.
5. Статистичний збірник «Довкілля Донеччини 2008» – Донецьк: Гол. Упр. Статистики. 2009. – 177с.
6. Второе национальное сообщение по вопросам изменения климата в Украине. Рамочная конвенция по изменению климата ООН, 2005г.
7. Защита окружающей среды Европы. Четвертая оценка. Европейское агентство по окружающей среде. Копенгаген, 2007.
8. Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010-2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России. М.: Росгидромет, 2005.
9. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории России, М.: Росгидромет, 2009.
10. Water Audits and Leak Detection. – <http://www.waterwiser.org>.
11. Руководство по энергетическому аудиту для систем водоснабжения и канализации. – <http://www.epri.com>.
12. Мониторинг и средства контроля работы насосных систем. – <http://www.oit.doe.gov/bestpractices>.
13. Комплексная система управления качеством энерго и водоснабжения / Awwa Research Foundation.– <http://www.awwarf.com>.
14. Руководящие принципы планирования экономного водопотребления. Документ 832/D-98-001. – <http://www.epa.gov/owm>.
15. Thumann A. Учебник по энергоаудиту / USA, Lilburn: Fairmont Press, 1995 – 444 P.
16. Система компьютерного моделирования водопроводных сетей. – <http://www.volgaltd.ru/software/>.
17. <http://www.oaourma.ru/>.
18. <http://www.ensyst.ru/services/9.php>.
19. Комплекс ПО «Irrisoft» Кассельского университета. – http://www.wizuni-kassel.de/kww/irrisoft/pipe/pipe_i.html.
20. Центр водных систем университета г. Эксетер. – <http://www.ex.ac.uk/WaterSystems/>.
21. Программное обеспечение для гидрологических и гидравлических расчетов Инженерного корпуса США. – <http://www.waterengr.com/>.
22. Боровиков В.П. Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows. М: Финансы и статистика, 1999. – 382 с.
23. Драймз Ф. Распределенные лаги. Проблема выбора и оценивания модели. – М.: Финансы и статистика, 1982.