

## Информационно-аналитическая технология оптимального управления устойчивым развитием и функционированием систем водоснабжения

*Андрей Тевяшев*

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
просп. Ленина 14, Харьков, Украина, 61166  
[andrew.teviashev@nure.ua](mailto:andrew.teviashev@nure.ua), [orcid.org/0000-0002-2846-7089](https://orcid.org/0000-0002-2846-7089)

Отримано 18.05.2018, прийнято до публікації 18.09.2018  
DOI: 10.26884/uwt1808.1201

Технологии отбора, подготовки, транспорта и распределения питьевой воды, которые используются в настоящее время в Украине, не отвечают современному уровню развития мировой науки и технологий. Ресурс технологического оборудования систем водоснабжения на данное время использован на 70...100 %, а для некоторых типов оборудование (например, насосных агрегатов) превышает 100 %. Это привело к резкому росту аварийности в системах водоснабжения, повышению рисков возникновения техногенных и экологических катастроф, потерь питьевой воды за счёт обнаруженных и неустранённых дефектов трубопровода, связанных с появлением в них свищей, трещин, нарушения стыковых соединений в процессе износа и старения водопроводных сетей, а также несвоевременно проведенных ремонтно-профилактических работ. Такие потери воды (утечки) для некоторых городов Украины составляют до 50 % объема подаваемой воды и ведут к перерасходу электроэнергии, реагентов, затраченных на подготовку питьевой воды [1 – 3, 18]. Всё это привело к возникновению стойкой тенденции роста тарифов на воду и, как следствие, резкого снижения уровня энергетической безопасности Украины.

Проблема проектирования, реновации и эксплуатации систем водоснабжения являе-

тся актуальной не только для Украины, но и практически для всех мегаполисов мира. Огромная размерность и пространственная распределённость водопроводных сетей привели к необходимости создания и внедрения автоматизированных компьютерных комплексов по проектированию, реновации и эксплуатации водопроводных сетей города, среди которых можно выделить: Autocad Civil 3D, американской компании Autodesk [11]; WaterCAD, WaterGEMS, HAMMER, SewerGEMS американской компании Bentley Systems [14, 15]; MIKE URBAN датской компанией DHI Water & Environment [12], комплекс Zulu-Hydro российской компании «Поли-терм» [13]; информационно-вычислительная среда «АНГАРА» ИСЭМ СО РАН [18]; комплекс ИГС «CityCom-ГидроГраф», HydroCalc [11] и др.

Однако, все эти комплексы обладают двумя существенными недостатками: ограниченная функциональность и, что более существенно, оптимизация систем водоснабжения осуществляется на базе детерминированных математических моделей, не учитывающих стохастический характер объекта управления и внешней среды и адекватно описывающей объект управления для конкретных граничных условий и фиксированного момента времени  $t$ . При этом получаемые оптимальные решения оказываю-

тся крайне неустойчивыми и, при изменении граничных условий, не только перестают быть оптимальными, но и могут выйти из области допустимых режимов. Такие решения оказались неприемлемыми на практике [4 – 6]. Поэтому возникла необходимость разработки новых математических моделей, которые адекватно описывают фактические режимы работы системы водоснабжения не только в конкретный момент времени, но и на всём интервале управления [8 – 10].

**Цель работы** – системное решение этих проблем путем разработки и внедрения стохастических моделей квазистационарных режимов работы систем водоснабжения, на основе которых разрабатывается функционально полный комплекс программ математического моделирования [9], оптимизации [4], проектирования [17], зонирования [3], реновации и эксплуатации систем водоснабжения [15], использование которого позволяет реализовать информационно-аналитическую технологию (ИАТ) оптимального управления устойчивым развитием и функционированием систем водоснабжения городов Украины.

ИАТ на заданном интервале времени  $[0, T]$  – это упорядоченная последовательность решений и реализаций следующих задач:

- сбор и обработка технологической информации, поступающей из SCADA систем, анализ распределения направления и скоростей потоков воды по участкам трубопроводов, распределения избыточных напоров в узлах водопроводной сети, оценивание фактического состояния и режима работы технологического оборудования систем водоснабжения для каждого момента времени  $t \in [0, T]$ ;
- анализ «узких мест» и фактического положения «диктующих» точек водопроводной сети;
- решение задачи зонирования водопроводной сети и анализ полученных результатов: количество зон и их границы, потенциал энерго и ресурсосбережения;
- оперативное прогнозирование (в нулевой момент времени  $t = 0$  с упреждением  $T$ )

объёмов подготовки и запасов воды в резервуарах на интервале времени  $[0, T]$ ;

- оперативное прогнозирование (в нулевой момент времени  $t = 0$  с упреждением  $T$ ) объёмов водопотребления всеми категориями потребителей мегаполиса в зависимости от контрактных условий, хронологических, метеорологических и организационных факторов;
- вычисление оценки динамического баланса питьевой воды в системе водоснабжения на интервале времени  $[0, T]$ , оценка прогнозируемого режима работы каждой насосной станции и каждого приёмного резервуара на интервале управления  $[0, T]$ ;
- оперативное планирование режимов работы комплексов водоподготовки на заданном интервале времени  $[0, T]$ ;
- оперативное планирование режимов работы насосных станций, при их совместной работе на водопроводную сеть на заданном интервале времени  $[0, T]$ ;
- принятие и реализация решений о необходимости коррекции плана работы насосных станций и комплексов водоподготовки, связанных с аварийными ситуациями для  $t \in [0, T]$ ;
- принятие и реализация решений о переводе режима работы системы водоснабжения или её фрагмента с фактического, в момент времени  $t \in [0, T]$ , в новое планируемое квазистационарное состояние;
- стабилизация напоров в диктующих точках водопроводной сети для каждого момента времени  $t \in [0, T]$ .

Результатом реализации этой технологии является:

- существенное сокращение производственных потерь воды, реагентов, электроэнергии;
- повышение эффективности управления технологическими процессами отбора, подготовки, транспорта и распределения питьевой воды в системах водоснабжения;
- повышение надежности, живучести и устойчивости развития и функционирования систем водоснабжения.

**Ключевые слова:** системы водоснабжения, надежность, живучесть, устойчивость, эффективность, стохастические модели, квазистационарные режимы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Сомов М.А., Журба М.Г., 2008.** Водоснабжение. Т.1. Системы забора, подачи и распределения воды. Москва, Изд-во АСВ, 262.
2. **Гальперин Е.М. 1999.** Определение надежности функционирования кольцевой водопроводной сети. Водоснабжение и санитарная техника, Вып.06, 13-16.
3. **Тевяшев А.Д., Матвиенко О.И., 2014.** Стохастическая модель и метод зонирования водопроводных сетей. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Вып.01(67), 17-24.
4. **Тевяшев А.Д., Матвиенко О.И., 2014.** Об одной стратегии оперативного планирования режимов работы насосной станции. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, Вып.03, 4-9.
5. **Тевяшев А.Д., Матвиенко О.И., Никитенко Г.В., 2014.** Оценка потенциала энерго- и ресурсосбережения в системах централизованного водоснабжения. Науковий вісник будівництва, Вып.03(77), 144-150.
6. **Tevyashev A., Matviienko O., 2014.** About one Approach to Solve the Problem of Management of the Development and Operation of Centralized Water-Supply Systems. Econtechmod, Vol.03, Iss.3, 61-76.
7. **Tevyashev A., Matviienko O., 2015.** About One Problem of Optimal Stochastic Control of the Modes of Operation of Water Mains. Econtechmod. Vol.04, Iss.3, 3-12.
8. **Tevyashev A., Nikitenko G., Matviyenko O., 2015.** Optimal Stochastic Control of the Modes of Operation of the Sewage Pumping Station. Econtechmod. Vol.04, Iss.3, 47-55.
9. **Тевяшев А.Д., Матвиенко О.И., 2015.** Математическая модель и метод оптимального стохастического управления режимами работы магистрального водовода. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, Вып.6/4(78), 45-53.
10. **Тевяшев А.Д., Матвиенко О.И., 2016.** Оценка потенциала ресурсо- и энергосбережения при управлении развитием и функционированием магистрального водовода. Підводні технології, Вып.04, 27-38.
11. **Продукты** для анализа и проектирования инфраструктуры водоснабжения и канализации. [www.bentley.com](http://www.bentley.com).
12. **MIKE URBAN** – Программа гидравлического расчета систем водоснабжения. КФ Волга. [www.volgaltd.ru](http://www.volgaltd.ru).
13. **ZuluHydro** – гидравлические расчеты водопроводных сетей. Компания Политерм. [www.politerm.com](http://www.politerm.com).
14. **Говиндан Ш., Вальски Т., Кук Д., 2009.** Решения Bentley Systems: гидравлические модели. Помогаю принимать лучшие решения. САПР и графика, 2009, Вып.04, 36-38.
15. **Борисов Д.А., 2009.** Bentley Systems – моделирование и эксплуатация наружных сетей водоснабжения и канализации. САПР и графика. Вып.05, 64-68.
16. **Продукты** серии MIKE компании DHI Water & Environment, 2012. Режим доступа: [www.mikebydhi.com](http://www.mikebydhi.com). Дата обращения: 05.12.2012.
17. **Храменков С.В., 2005.** Стратегия модернизации водопроводной сети. Москва, Стройиздат, 398.
18. **Трубопроводные** системы энергетики: Математические и компьютерные технологии интеллектуализации, 2017. А.А.Аверин, Н.Н. Новицкий, М.Г. Сухарев и др. Новосибирск, Наука, 384.