

УДК 628.1

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

**Шевчук Настасья Евгеньевна,**

Студент

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет  
nastshev2816@gmail.com

### Аннотация

Повышение эффективности и надежности систем водоснабжения и водоотведения является актуальной и ключевой задачей коммунальной инфраструктуры. В статье обосновывается необходимость внедрения численного моделирования как инструмента, который позволяет перейти от эмпирических оценок к точному прогнозированию. Этот подход необходим для анализа и совершенствования сложных, взаимосвязанных процессов в сетях, работы насосного оборудования и очистных сооружений. В рамках обзора будут рассмотрены основные программные комплексы, применяемые сегодня в этой области. Особый фокус сделан на их практические возможности: от создания цифровых двойников реальных объектов и оценки последствий аварийных ситуаций до оптимизации режимов работы и проектирования модернизации. Применение моделирования открывает путь к целенаправленному поиску резервов, снижению энергопотребления и предотвращению критических нагрузок на систему.

**Ключевые слова:** численное моделирование, системы водоснабжения и водоотведения, оптимизация эксплуатации, гидравлический расчет, цифровой двойник, программные комплексы, очистные сооружения, насосные станции, проектирование сетей.

## NUMERICAL MODELING OF WATER SUPPLY AND WASTEWATER DISTRIBUTION SYSTEMS PROCESSES AND APPARATUSES TO OPTIMIZE THEIR OPERATIONAL AND DESIGN PARAMETERS

**Shevchuk Nastasia Evgenievna,**

Student

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

### ABSTRACT

Improving the efficiency and reliability of water supply and sanitation systems is an urgent and key task for the municipal infrastructure. This article highlights the need for numerical modeling as a tool that allows us to move from empirical assessments to accurate predictions. This

approach is essential for analyzing and improving complex, interconnected processes in networks, pumping equipment, and wastewater treatment facilities. The review will explore the main software packages currently used in this field. Special attention will be given to their practical applications, from creating digital twins of real-world objects and assessing the consequences of emergencies to optimizing operating modes and designing upgrades. The use of modeling paves the way for targeted search for reserves, reduction of energy consumption, and prevention of critical loads on the system.

---

**Keywords:** operation optimization, hydraulic calculation, digital twin, software systems, wastewater treatment facilities, pumping stations, network design.

---

### Введение

Жизнеобеспечение современных городов напрямую зависит от бесперебойной и эффективной работы сложных инженерных систем водоснабжения и водоотведения. Это динамичные системы, где постоянно меняются нагрузки, состояние оборудования и качество транспортируемых сред. Традиционные методы проектирования и анализа, основанные на статичных расчетах и эмпирических формулах, зачастую неспособны дать полную картину происходящих процессов. В итоге проекты закладывают избыточные запасы прочности, что ведет к удорожанию строительства, а эксплуатация строится на реактивном, а не прогнозном управлении – устранение проблем происходит после их возникновения.

Возможность заглянуть «внутрь» трубопровода, резервуара или отстойника, не прибегая к физическому вмешательству, предоставляет численное моделирование, в частности, методы вычислительной гидродинамики (CFD). Этот инструмент переводит инженерную практику на качественно новый уровень, позволяя создавать цифровые двойники объектов и в виртуальной среде испытывать их в любых, даже критических, условиях. Данная статья посвящена рассмотрению сути CFD-моделирования, применяемому программному обеспечению и конкретным примерам его использования для оптимизации как проектных решений, так и режимов эксплуатации в сфере водоснабжения и водоотведения.

### Смысл и суть метода численного моделирования (CFD)

В основе метода вычислительной гидродинамики лежит решение фундаментальных уравнений, описывающих законы сохранения массы, импульса и энергии для движущейся жидкости или газа. Однако аналитически решить эти уравнения для реальных объектов со сложной геометрией и граничными условиями невозможно. Здесь на помощь приходит численный подход, который и дал название всему методу.

Суть его заключается в разбиении исследуемой области (например, внутреннего объема насоса или отстойника) на миллионы мелких ячеек, образующих вычислительную сетку. Для каждой такой ячейки записываются упрощенные уравнения, которые затем решаются мощными компьютерами. В итоге для всего объема получается детальная картина распределения скоростей, давлений, концентраций примесей и других параметров. Пользователь видит это как наглядные поля скоростей (векторы), изоповерхности давления или анимацию движения частиц. Как отмечается в работе, посвященной моделированию течения через препятствие, численные методы, такие как метод решетчатых уравнений Больцмана, позволяют с высокой точностью улавливать сложные вихревые структуры и динамику потока, что критически важно для анализа локальных гидравлических сопротивлений [1].

Этот подход кардинально меняет процесс анализа. Вместо использования усредненных значений и предположений о характере течения, инженер получает доступ к полному трехмерному полю параметров. Можно буквально «увидеть» зоны застоя в резервуаре, где возможно образование осадка, области кавитации в насосе, приводящие к его разрушению, или неравномерность распределения потока в песколовке, снижающую ее эффективность. По сути, CFD-моделирование становится виртуальной гидравлической лабораторией, обладающей неограниченными возможностями для проведения экспериментов.

#### Современное ПО для CFD-моделирования

Рынок программного обеспечения для CFD предлагает решения разного уровня сложности и стоимости, адаптированные как для академических исследований, так и для инженерной практики. Условно их можно разделить на три категории.

Первая – это универсальные коммерческие пакеты, такие как ANSYS Fluent, CFX или Siemens STAR-CCM+. Они представляют собой мощные интегрированные платформы, включающие в себя инструменты для создания геометрии, построения сетки, настройки физических моделей, расчета и визуализации результатов. Их ключевое преимущество – высокая степень надежности, обширные библиотеки физических моделей (например, для многофазных течений, химических реакций или горения) и подробная техническая поддержка. Эти пакеты являются стандартом в промышленности и используются для решения самых сложных задач [4].

Вторая категория – это продукты, встроенные в экосистемы систем автоматизированного проектирования (CAD), например, Autodesk CFD или SOLIDWORKS Flow Simulation. Их основное достоинство – тесная интеграция с средой проектирования. Инженер может проводить гидродинамический анализ непосредственно на этапе разработки 3D-модели аппарата, быстро оценивая влияние изменений в конструкции на характеристики потока. Это позволяет реализовать принцип «анализ ведет дизайн», существенно ускоряя итерационный процесс проектирования.

Третье направление – это свободное (open-source) программное обеспечение, наиболее ярким представителем которого является OpenFOAM. Его популярность в научной среде и среди инженеров постоянно растет. Пакет предоставляет бесплатный доступ к инструментарию профессионального уровня, обладает открытым кодом, который можно модифицировать под специфические задачи, и включает огромное количество решателей для различных физических явлений. Именно OpenFOAM был использован для моделирования сложного двухфазного течения водонефтяной смеси, результаты которого затем стали основой для обучения нейронной сети [6]. Такая гибкость делает его незаменимым для исследовательских работ и разработки нестандартных методик.

#### Анализ результатов и целевые показатели эффективности

Ценность моделирования заключается в переводе визуализаций в конкретные данные для решений. Ключевым объектом анализа становятся гидравлические потери, четкое определение которых позволяет оптимизировать параметры сети и подбирать энергоэффективное оборудование, напрямую влияя на затраты [2]. Не менее важна оценка равномерности потока в аппаратах – выявление и устранение зон застоя повышает эффективность использования их объема и качество очистки. Детальный анализ локальных эффектов, таких как кавитация или зоны повышенного износа, помогает прогнозировать и предотвращать аварии. В этой области полезными могут быть результаты анализа численного моделирования показателей потока многофазной жидкости [5]. Важным инструментом для комплексного подхода к проектированию и оценке систем служит математическое моделирование, как это рассматривается в исследовании систем водоснабжения и водоотведения [3]. В итоге, применение численного моделирования ведёт

к сокращению эксплуатационных расходов, снижению рисков и повышению общей надёжности систем.

#### Заключение

В статье были рассмотрены принципы численного моделирования и показаны его практические возможности для анализа и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения. Это необходимо для перехода к обоснованным, экономичным и надёжным инженерным решениям, позволяющим снижать эксплуатационные затраты и повышать эффективность работы систем водоснабжения и водоотведения.

#### Список литературы:

1. Андреев С. А., Матвеев А. И., Зданчук А. И. Двухмерное моделирование течения жидкости через препятствие с применением метода решетчатых уравнений Больцмана // Международный научный журнал. 2017. № 6. С. 52–60.
2. Исайкина А. М. Аналитическое исследование гидродинамических потерь с применением программных средств // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 7. С. 206–208.
3. Теплых С. Ю., Бочков Д. С., Веселова М. В. Математическое моделирование систем водоснабжения и водоотведения // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 2 (39). С. 36–42
4. Янцен О. В., Февральских А. В. Возможности применения современных пакетов программ для моделирования и проектирования систем водоотведения // Наука и технологии. – 2023. – № 3 (43). – С. 73–78.
5. Нишкевич Ю. А. Анализ результатов численного моделирования показателей потока многофазной жидкости в скважинах // Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса Западной Сибири: материалы регион. науч.-практ. конф. / отв. ред. В. В. Филин, А. Ф. Каримов. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2013. – С. 68–74.
6. Пурицкис Я. В. Численное моделирование и нейронные сети для моделирования и классификации двухфазного потока в вертикальном трубопроводе // Деловой журнал NEFTEGAZ.RU. 2024. № 12 (156). С. 64–68. ISSN 2410-3837. УДК 004.

#### References:

1. Andreev S. A., Matveev A. I., Zdanchuk A. I. Two-dimensional modeling of fluid flow through an obstacle using the lattice Boltzmann method // International Scientific Journal. 2017. No. 6. pp. 52–60.
2. Isaykina A. M. Analytical study of hydrodynamic losses using software // Bulletin of Tula State University. Engineering sciences. 2022. No. 7. pp. 206–208.
3. Teplykh S. Yu., Bochkov D. S., Veselova M. V. Mathematical modeling of water supply and sanitation systems // Urban development and architecture. 2020. Vol. 10, No. 2 (39). P. 36–42
4. Yantsen, O. V., Fevralskikh, A. V. “Possibilities of Using Modern Software Packages for Modeling and Designing Water Drainage Systems” // Science and Technology. – 2023. – No. 3 (43). – P. 73–78.

5. Nishkevich, Yu. A. "Analysis of the Results of Numerical Modeling of Multiphase Fluid Flow Indicators in Wells" // "Actual Problems of Development of the Oil and Gas Complex of Western Siberia": Proc. of the Regional Scientific and Practical Conf. / Eds. V. V. Filin, A. F. Karimov. – Tyumen: Tyumen Industrial University, 2013. – P. 68-74.
6. Puritskis, Ya. V. "Numerical Modeling and Neural Networks for Modeling and Classifying Two-Phase Flow in a Vertical Pipeline" // Business Journal NEFTEGAZ.RU. 2024. No. 12 (156). P. 64-68. ISSN 2410-3837. UDC 004.