

УДК 004.94:519.637+536.24

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ БУЛЕВА ПРОГРАММИРОВАНИЯ

* Эшкулов М.У., Хамдамов Р.Х.

*m.eshkulov@alumni.nsu.ru

Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и искусственного интеллекта,

100125, Узбекистан, г. Ташкент, Мирзо-Улугбекский р-он, м-в Буз-2, д. 17А.

В работе представлено проектирование и анализ инновационной системы солнечного водоснабжения для многоэтажных жилых домов в условиях высокой инсоляции и дефицита энергоресурсов. Вместо традиционного подхода с индивидуальными маломощными насосами в каждой квартире предлагается централизованная схема на базе поверхностных многоступенчатых насосов, питаемых напрямую от фотоэлектрических модулей постоянного тока. Это позволяет отказаться от сетевого электроснабжения и заметно снизить эксплуатационные расходы. Надёжность обеспечивается стратегией duty-rotation и резервированием по схеме $N + 1$: два насоса работают, один находится в горячем резерве. Вода аккумулируется в кровельных баках суммарным объёмом 15–20 м³, что поддерживает стабильную подачу при кратковременных колебаниях солнечного излучения. Математическая модель сформулирована как задача булева программирования, описывающая логику включения/выключения насосов и дискретные ограничения по уровню заполнения резервуаров; целевая функция объединяет энергопотребление, годовые затраты и показатель надёжности, что позволяет проводить многоцелевую оптимизацию. Численный эксперимент для четырёхэтажного дома в г. Джизак (суточная потребность 34 м³) показал сокращение энергопотребления более чем на 95%, снижение годовых затрат с 11,6 млн до менее 0,3 млн сум и рост надёжности за счёт оптимального чередования насосов. Подход обладает высокой практической ценностью и может адаптироваться к различным условиям эксплуатации, что делает его перспективным для внедрения в ЖКХ регионов с развивающейся энергетикой.

Ключевые слова: булево программирование, фотоэлектрические модули, централизованная насосная система, кровельные накопительные баки, многоэтажные жилые здания, многокритериальная оптимизация.

Цитирование: Эшкулов М.У., Хамдамов Р.Х. Проектирование и анализ системы солнечного водоснабжения для многоэтажных жилых зданий на основе булева программирования // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2025. – № 6(70). – С. 18-25.

DOI: https://doi.org/10.71310/psam.6_70.2025.02

1 Введение

В условиях стремительной урбанизации и роста населения вопросы надёжного водоснабжения приобретают особую актуальность. Традиционная практика использования десятков маломощных насосов ведёт к высоким потерям и низкой надёжности [9, 11]. Дополнительным направлением является интеграция фотоэлектрических

модулей [5, 6]. В Узбекистане также проведены исследования по оценке солнечного потенциала и развитию транспортной инфраструктуры [11, 13]. Традиционная практика в Узбекистане и ряде стран Центральной Азии заключается в использовании множества индивидуальных бытовых насосов, устанавливаемых в каждой квартире. Такой подход на первый взгляд кажется простым и доступным, однако на практике он ведёт к значительным энергетическим потерям, росту эксплуатационных расходов и снижению надёжности системы в целом.

Дополнительным фактором является рост тарифов на электроэнергию и необходимость сокращения нагрузки на электрические сети. Использование десятков маломощных насосов с низким коэффициентом полезного действия увеличивает совокупное энергопотребление и приводит к частым отказам оборудования. Всё это обуславливает потребность в разработке централизованных и более эффективных решений.

Одним из перспективных направлений является интеграция фотоэлектрических модулей в системы водоснабжения. Прямое питание многоступенчатых поверхностных насосов от солнечных панелей постоянного тока позволяет отказаться от инверторов и аккумуляторных батарей, что снижает сложность и стоимость оборудования. Дополнительную надёжность обеспечивает стратегия дежурного чередования (duty-rotation) с резервированием по схеме $N + 1$, а также хранение воды в крыше здания в резервуарах.

Однако проектирование подобных систем требует строгой математической постановки задачи [1–3, 12, 14, 15]. Необходимо учесть гидравлические параметры, энергетические ограничения и требования надёжности. В данной работе предложена модель на основе булева программирования, позволяющая формализовать режимы работы насосов и провести оптимизацию по множеству критериев.

Таким образом, цель исследования заключается в разработке и анализе централизованной солнечной насосной системы для многоэтажных зданий [4], обеспечивающей снижение энергопотребления и эксплуатационных затрат при одновременном повышении надёжности.

2 Постановка задачи

Современные многоэтажные жилые здания предъявляют высокие требования к системам водоснабжения. В условиях Джизака, где суточная потребность в воде для одного типового четырёхэтажного дома составляет около 34 м^3 , необходимо обеспечить подъём воды на высоту порядка 30–35 м при минимальных энергозатратах.

Традиционная схема с десятками маломощных насосов приводит к завышенному энергопотреблению и частым сбоям. Поэтому рассматривается централизованная система с несколькими многоступенчатыми насосами, работающими напрямую от солнечных модулей постоянного тока [5, 6, 8, 13].

Для корректного описания работы такой системы требуется математическая постановка задачи. Булево программирование позволяет формализовать режимы работы насосов и дискретные ограничения [1]. Такие модели удобны для оптимизации задач с множеством условий и бинарными переменными. Пусть система включает N насосов, из которых одновременно активны k , а остальные находятся в резерве. Для каждого насоса i в дискретный момент времени t вводится булева переменная $x_{i,t}$:

$$x_{i,t} = \begin{cases} 1, & \text{если насос } i \text{ работает в момент времени } t, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Гидравлический баланс:

$$\sum_{i=1}^N Q_i \cdot x_{i,t} \cdot \Delta t = D_t + \Delta V_t,$$

где Q_i — производительность насоса i , D_t — потребление воды в момент времени t , ΔV_t — изменение уровня воды в резервуаре.

Энергетическое ограничение:

$$\sum_{i=1}^N P_i \cdot x_{i,t} \leq P_{PV,t},$$

где P_i — потребляемая мощность насоса i , $P_{PV,t}$ — доступная мощность фотоэлектрического массива в момент времени t .

Условие надёжности (N+1):

$$\sum_{i=1}^N x_{i,t} \leq N - 1,$$

что гарантирует наличие хотя бы одного резервного насоса.

Условие ротации:

Активные насосы должны чередоваться во времени, что обеспечивает равномерный износ оборудования и повышение срока службы.

Целевая функция:

Целевая функция формулируется как многокритериальная:

$$F = \alpha \cdot E + \beta \cdot C + \gamma \cdot R,$$

где E — суммарное энергопотребление, C — эксплуатационные затраты, R — метрика надёжности, а α, β, γ — весовые коэффициенты.

3 Методика исследования

Предложенная система солнечного водоснабжения многоэтажного здания описывается через набор булевых переменных, отражающих режимы работы насосов. Для решения задачи применялось булево программирование [1], а также методы многокритериальной оптимизации, включая улучшенный NSGA-II [10]. Подобные подходы успешно применяются и в задачах энергоснабжения и управления водными ресурсами [7].

Использование булевого программирования позволяет формализовать и оптимизировать расписание включения насосов при наличии нескольких критериев.

Для каждого насоса i и дискретного момента времени t вводится булева переменная $x_{i,t} \in \{0, 1\}$. Состояние системы описывается вектором $X_t = (x_{1,t}, x_{2,t}, \dots, x_{N,t})$. Гидравлические, энергетические и надёжностные условия записываются в виде системы ограничений:

$$\sum_{i=1}^N Q_i x_{i,t} \Delta t = D_t + \Delta V_t,$$

$$\sum_{i=1}^N P_i x_{i,t} \leq P_{PV,t},$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i,t} \leq N - 1.$$

Условие ротации выражается как:

$$x_{i,t} + x_{i,t+1} \leq 1 \quad \text{для заданного графика смены насосов,}$$

что обеспечивает равномерное распределение нагрузки между агрегатами.

Задача формулируется как многокритериальная булева оптимизация:

$$\min_{x_{i,t} \in \{0,1\}} [F = \alpha E + \beta C + \gamma(1 - R)],$$

где E – суммарное энергопотребление за расчётный период, C – приведённые эксплуатационные затраты, R – индекс надёжности (чем больше, тем лучше), а α, β, γ – весовые коэффициенты.

Для поиска оптимального расписания используется подход булевого программирования. Задача записывается в виде системы логических условий и ограничений на переменные $x_{i,t}$ и решается методами целочисленного и булева программирования.

Для верификации и проверки устойчивости решений может применяться имитационное моделирование, отражающее динамику уровня воды в резервуаре и доступной мощности солнечного массива.

4 Численные эксперименты и результаты

Эффективность предложенной системы подтверждается результатами, согласующимися с работами по солнечным насосным системам и агровольтаике [7, 9]. В частности, в Узбекистане уже ведутся исследования в направлении интеграции ВИЭ в промышленные и сельскохозяйственные объекты [11]. Методы оптимизации, аналогичные применённым при проектировании скважин, также показывают высокую практическую ценность.

Для проверки эффективности предложенной модели был проведён численный эксперимент на примере типового четырёхэтажного жилого дома в г. Джизак. Здание содержит 48 квартир, из которых 43 заняты, что соответствует среднесуточному потреблению около 34 м^3 воды. Требуемая высота подъёма составила $H \approx 34 \text{ м}$.

Основные исходные данные для расчёта:

- суточное водопотребление: $V_d = 34 \text{ м}^3$;
- расчётная высота подъёма: $H = 34 \text{ м}$;
- эффективность насосов: $\eta_p = 0.60$;
- мощность солнечного массива $P_{PV,t}$ определялась по данным радиации региона;
- режим работы — 8 часов в светлое время суток.

Рассматривалась конфигурация из трёх насосов: два рабочих и один резервный (схема N+1). Булевы переменные $x_{i,t}$ описывали работу насосов в каждый час расчётного периода.

На рисунке 1 показано сравнение энергопотребления традиционной децентрализованной схемы и централизованной PV-системы. Применение булевой оптимизации позволило снизить энергопотребление более чем на 95% [9].

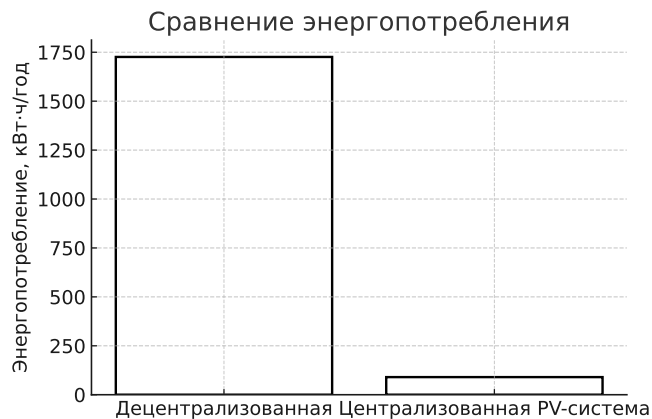


Рис. 1 Сравнение энергопотребления для децентрализованной и централизованной PV-систем

На рисунке 2 представлены годовые расходы. Для традиционной схемы они составляют 11.6 млн сум, в то время как для централизованной солнечной системы — менее 0.3 млн сум.

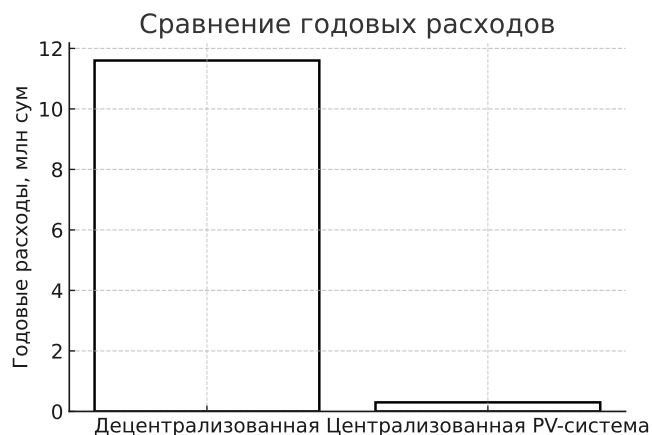


Рис. 2 Сравнение годовых эксплуатационных расходов

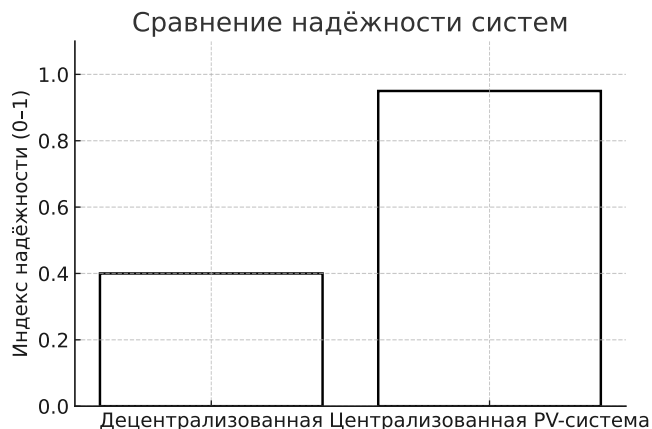


Рис. 3 Сравнение надёжности: децентрализованная система (низкая) и централизованная PV-система (высокая, N+1)

Надёжность систем оценивалась с использованием показателя отказоустойчивости. Децентрализованная система продемонстрировала низкие значения, тогда как централизованная PV-система благодаря ротации и схеме N+1 обеспечила высокий уровень надёжности (рисунок 3).

Сравнительный анализ

Для сопоставления все результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 Сравнение централизованной и децентрализованной систем

Показатель	Децентрализованная система	Централизованная PV-система
Энергопотребление, кВт·ч/год	1726	< 90
Годовые расходы, млн сум	11.6	< 0.3
Надёжность	низкая	высокая (N+1, ротация)

Таким образом, численные эксперименты подтвердили, что предложенная булева модель обеспечивает значительное снижение энергозатрат, уменьшение эксплуатационных расходов и повышение надёжности систем водоснабжения.

5 Заключение

В работе предложена централизованная система солнечного водоснабжения для многоэтажных жилых зданий, основанная на использовании поверхностных многоступенчатых насосов с прямым питанием от фотоэлектрических модулей. Булево программирование было применено для формализации работы насосов, учёта гидравлических и энергетических ограничений, а также для построения надёжного режима с ротацией (N+1) [1–3, 12, 14, 15].

Проведённые численные эксперименты для типового четырёхэтажного дома в г. Джизак показали, что применение предлагаемого подхода позволяет:

- сократить энергопотребление более чем на 95% (рис. 1);
- снизить годовые эксплуатационные расходы с 11.6 млн до менее 0.3 млн сум (рис. 2);
- повысить надёжность системы за счёт ротации и резервирования насосов (рис. 3);
- подтвердить преимущества централизованной PV-системы в сравнении с традиционной децентрализованной схемой (табл. 1).

Таким образом, централизованная PV-система демонстрирует высокую энергоэффективность, экономическую целесообразность и эксплуатационную надёжность. Предложенный подход демонстрирует эффективность и соответствует мировым тенденциям в области устойчивого энергоснабжения и управления ресурсами [5–7]. В дальнейшем планируется развитие модели за счёт учёта сезонных колебаний солнечной радиации и интеграции эволюционных алгоритмов оптимизации для определения оптимальных конфигураций насосных агрегатов в зданиях различного масштаба. [10].

Литература

- [1] *Хамдамов Р.Х.* Задачи, модели и методы булева программирования. – Ташкент: НИЦ ИКТ, 2017. – 167 с.

- [2] *Хамдамов Р.Х., Каюмов Ш.Ш.* Об одной задаче оптимального управления работой насосной станции // *Материалы международной конференции «Современные проблемы математики, механики и их приложений»*. – Москва: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2009.
- [3] *Khamdamov R.Kh., Ergashev A., Kayumov Sh.* Solution of the task of a pumping station operation automation with linear boolean programming usage // *Proc. World Conf. on Intelligent Systems for Industrial Automation (WCIS 2000)*. – Kaufering: b-Quadrat Verlag, 2000.
- [4] *Kushakov S.D., Mirzabaev A.M., Eshkulov M.U., Mamatkulov B.K., Egamberganova A.D., Shermukhamedov A.A.* Agrivoltaic Panel Design for Greenhouses // *Proc. 2025 IEEE 26th Int. Conf. of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM)*. – Altai, Russian Federation, 2025. – P. 810-813. – doi: <http://dx.doi.org/10.1109/EDM65517.2025.11096823>.
- [5] *Hassanien R.H.E., Li M., Yin F.* Application of photovoltaics in greenhouses: energy and growth analysis // *Renewable Energy*. – 2016. – Vol. 94. – P. 31-41. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.012>.
- [6] *Bambara J., Athienitis A.K.* Energy and economic analysis for the design of greenhouses with semi-transparent photovoltaic cladding // *Renewable Energy*. – 2019. – Vol. 131. – P. 1274-1287. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.020>.
- [7] *Chalgynbayeva A., Balogh P., Szöllősi L., Gabnai Z., Apáti F., Sipos M., Bai A.* The economic potential of agrivoltaic systems in apple cultivation: A Hungarian case study // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16, Issue 6. – Art. 2325. – doi: <http://dx.doi.org/10.3390/su16062325>.
- [8] *Qushakov S., Mirzabaev A., Eshkulov M., Anarbaev M., Narimanov B., Rakhmanov F.* Design and Engineering of Photovoltaic Power Generation System // *Proc. 2024 IEEE 25th Int. Conf. of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM)*. – Altai, Russian Federation, 2024. – P. 1430-1437. – doi: <http://dx.doi.org/10.1109/EDM62016.2024.11038762>.
- [9] *Burney J., Woltering L., Burke M., Naylor R., Pasternak D.* Solar-powered drip irrigation enhances food security in the Sudano-Sahel // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2010. – Vol. 107, Issue 5. – P. 1848-1853. doi: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0909678107>.
- [10] *Cheng L., Zhang H., Wang Y.* Multi-objective optimization of water resource allocation using improved NSGA-II: case study of Tarim River Basin, China // *Journal of Hydrology*. – 2025. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydro.2025.131234>.
- [11] *Mardonova M., Choi Y.* Assessment of photovoltaic potential of mining sites in Uzbekistan // *Sustainability*. – 2019. – Vol. 11, Issue 10. – Art. 2988. – doi: <http://dx.doi.org/10.3390/su11102988>.
- [12] *Хамдамов Р.Х., Каюмов Ш.* Моделирование и оптимизация работы насосной станции // *Проблемы и перспективы автоматизации производства и управления. Автоматизация-97 : материалы первой международной научно-технической и практической конференции. Часть I*. – Ташкент, 1997. – С. 173-176.
- [13] *Ravshanov M.N., Yusufkhonov Z.Y.* Enhancing the economic potential of Uzbekistan through the development of road transport // *Universum: экономика и юриспруденция*. – 2022. – № 6-1(99). – С. 25-31. – <https://7universum.com/ru/economy/archive/item/14059>.
- [14] *Khamdamov R.Kh., Kayumov Sh.* Choice of the optimum decision: the modified method of cutting off the first element // *Second World Conf. on Intelligent Systems for Industrial Automation (WCIS 2002)*. – Kaufering: b-Quadrat Verlag, 2002.

- [15] *Хамдамов Р.Х., Каюмов Ш.* Оптимальное управление процессом водоподъема на примере каскада насосных станций // Вестник ТГТУ. – 2001. – № 4.

UDC 004.94:519.637+536.24

DESIGN AND ANALYSIS OF SOLAR WATER SUPPLY SYSTEM FOR MULTI-STORY RESIDENTIAL BUILDINGS BASED ON BOOLEAN PROGRAMMING

**Eshkulov M.U., Khamdamov R.Kh.*

*m.eshkulov@alumni.nsu.ru

Digital Technologies and Artificial Intelligence Development Research Institute,
17A, Buz-2, Tashkent, 100125 Uzbekistan.

This paper presents the design and analysis of an innovative solar-powered water supply system for multi-storey residential buildings under conditions of high solar insolation and limited energy resources. Instead of the conventional approach where each apartment uses an individual low-power pump, a centralized architecture is proposed based on surface multistage pumps powered directly by DC photovoltaic modules. This enables operation without grid electricity and significantly reduces operating costs. Reliability is ensured through a duty-rotation strategy and $N + 1$ redundancy: two pumps operate simultaneously while one remains on hot standby. Water is stored in rooftop tanks with a total volume of 15–20 m³, providing stable supply during short-term fluctuations in solar irradiance. The mathematical model is formulated as a Boolean programming problem that captures pump on/off logic and discrete constraints on tank filling levels; its objective function combines energy consumption, annual operating costs, and a reliability metric, enabling multi-objective optimization. A numerical experiment for a four-storey building in Jizzakh with a daily demand of 34 m³ shows that the proposed system can reduce energy consumption by more than 95%, cut annual costs from 11.6 million to less than 0.3 million UZS, and improve reliability due to optimal pump rotation. The approach has strong practical value and can be adapted to diverse operating conditions, opening prospects for broad deployment in municipal infrastructure across regions with developing energy systems.

Keywords: boolean programming, photovoltaic modules, centralized pumping system, rooftop water storage, multi-storey residential buildings, multi-objective optimization.

Citation: Eshkulov M.U., Khamdamov R.Kh. 2025. Design and analysis of solar water supply system for multi-storey residential buildings based on Boolean programming. *Problems of Computational and Applied Mathematics*. 6(70): 18-25.

DOI: https://doi.org/10.71310/pcam.6_70.2025.02

ПРОБЛЕМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

№ 6(70) 2025

Журнал основан в 2015 году.

Издается 6 раз в год.

Учредитель:

Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и
искусственного интеллекта.

Главный редактор:

Равшанов Н.

Заместители главного редактора:

Арипов М.М., Шадиметов Х.М., Ахмедов Д.Д.

Ответственный секретарь:

Убайдуллаев М.Ш.

Редакционный совет:

Азамов А.А., Алоев Р.Д., Амиргалиев Е.Н. (Казахстан), Арушанов М.Л.,
Бурнашев В.Ф., Джумаёзов У.З., Загребина С.А. (Россия), Задорин А.И. (Россия),
Игнатъев Н.А., Ильин В.П. (Россия), Иманкулов Т.С. (Казахстан),
Исмагилов И.И. (Россия), Кабанихин С.И. (Россия), Карачик В.В. (Россия),
Курбонов Н.М., Маматов Н.С., Мирзаев Н.М., Мухамадиев А.Ш., Назирова Э.Ш.,
Нормуродов Ч.Б., Нуралиев Ф.М., Опанасенко В.Н. (Украина),
Расулмухамедов М.М., Расулов А.С., Садуллаева Ш.А.,
Старовойтов В.В. (Беларусь), Хаётов А.Р., Халджигитов А., Хамдамов Р.Х.,
Хужаев И.К., Хужаеров Б.Х., Чье Ен Ун (Россия), Шабозов М.Ш. (Таджикистан),
Dimov I. (Болгария), Li Y. (США), Mascagni M. (США), Min A. (Германия),
Singh D. (Южная Корея), Singh M. (Южная Корея).

Журнал зарегистрирован в Агентстве информации и массовых коммуникаций при
Администрации Президента Республики Узбекистан.

Регистрационное свидетельство №0856 от 5 августа 2015 года.

ISSN 2181-8460, eISSN 2181-046X

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

За точность фактов и достоверность информации ответственность несут авторы.

Адрес редакции:

100125, г. Ташкент, м-в. Буз-2, 17А.

Тел.: +(998) 712-319-253, 712-319-249.

Э-почта: journals@airi.uz.

Веб-сайт: <https://journals.airi.uz>.

Дизайн и вёрстка:

Шарипов Х.Д.

Отпечатано в типографии НИИ РЦТИИ.

Подписано в печать 25.12.2025 г.

Формат 60x84 1/8. Заказ №8. Тираж 100 экз.

PROBLEMS OF COMPUTATIONAL AND APPLIED MATHEMATICS

No. 6(70) 2025

The journal was established in 2015.
6 issues are published per year.

Founder:

Digital Technologies and Artificial Intelligence Development Research Institute.

Editor-in-Chief:

Ravshanov N.

Deputy Editors:

Aripov M.M., Shadimetov Kh.M., Akhmedov D.D.

Executive Secretary:

Ubaydullaev M.Sh.

Editorial Council:

Azamov A.A., Alov R.D., Amirgaliev E.N. (Kazakhstan), Arushanov M.L.,
Burnashev V.F., Djumayozov U.Z., Zagrebina S.A. (Russia), Zadorin A.I. (Russia),
Ignatiev N.A., Ilyin V.P. (Russia), Imankulov T.S. (Kazakhstan), Ismagilov I.I. (Russia),
Kabanikhin S.I. (Russia), Karachik V.V. (Russia), Kurbonov N.M., Mamatov N.S.,
Mirzaev N.M., Mukhamadiev A.Sh., Nazirova E.Sh., Normurodov Ch.B., Nuraliev F.M.,
Opanasenko V.N. (Ukraine), Rasulov A.S., Sadullaeva Sh.A., Starovoitov V.V. (Belarus),
Khayotov A.R., Khaldjigitov A., Khamdamov R.Kh., Khujaev I.K., Khujayorov B.Kh.,
Chye En Un (Russia), Shabozov M.Sh. (Tajikistan), Dimov I. (Bulgaria), Li Y. (USA),
Mascagni M. (USA), Min A. (Germany), Singh D. (South Korea), Singh M. (South
Korea).

The journal is registered by Agency of Information and Mass Communications under the
Administration of the President of the Republic of Uzbekistan.

The registration certificate No. 0856 of 5 August 2015.

ISSN 2181-8460, eISSN 2181-046X

At a reprint of materials the reference to the journal is obligatory.

Authors are responsible for the accuracy of the facts and reliability of the information.

Address:

100125, Tashkent, Buz-2, 17A.

Tel.: +(998) 712-319-253, 712-319-249.

E-mail: journals@airi.uz.

Web-site: <https://journals.airi.uz>.

Layout design:

Sharipov Kh.D.

DTAIDRI printing office.

Signed for print 25.12.2025

Format 60x84 1/8. Order No. 8. Print run of 100 copies.

Содержание

<i>Алимова Н.Б., Паровик Р.И.</i> Программный комплекс FrOsFHN для количественного и качественного анализа дробного осциллятора ФитцХью-Нагумо с переменной памятью	5
<i>Эшкюлов М.У., Хамдамов Р.Х.</i> Проектирование и анализ системы солнечного водоснабжения для многоэтажных жилых зданий на основе булева программирования	18
<i>Равшанов Н., Усмонов Л.С.</i> Трёхмерная математическая модель и алгоритм численного решения для мониторинга и прогнозирования процессов подземного выщелачивания в пористой среде	26
<i>Каландаров А.А.</i> Численное моделирование связанной динамической задачи термоупругости в напряжениях	48
<i>Равшанов Н., Рахманов Х.Э. Фаттаева Д.А.</i> Моделирование пространственно-временной динамики площади водоёма (на примере Каттакурганского водохранилища) на основе индексов NDWI, NDVI, EVI и ансамблевых методов обучения	61
<i>Хажиев И.О., Шобдаров Э.Б.</i> Регуляризация начально-краевой задачи для неоднородного параболического уравнения с меняющимся направлением времени	74
<i>Равшанов Н., Боборахимов Б.И., Бердиев М.И.</i> Модель и алгоритмы классификации аномальных явлений на основе сходимости акустико-визуальных сигналов	88
<i>Рустамов Н., Мухамеджанов Н.Б.</i> Конструкция и принцип работы когенеративного фрактального солнечного коллектора	103
<i>Хомяров Э.Ч., Тураев Д.Ш.</i> Численное решение плоскорадиальной граничной обратной задачи для уравнения нестационарной релаксационной фильтрации жидкости в пористой среде	112
<i>Ахмедов Д.М., Маматова Н.Х.</i> Оптимальный метод приближённого решения гиперсингулярных интегральных уравнений	124
<i>Шадиметов Х.М., Эльмуратов Г.Ч.</i> Оптимизация приближенного вычисления интегралов от быстроосциллирующих функций в пространстве Соболева комплекснозначных функций	132
<i>Зиякулова Ш.А.</i> Об оптимальных итерационных и прямых методах решения задачи Дирихле для уравнения Пуассона	143

Contents

<i>Alimova N.B., Parovik R.I.</i> FrOsFHN software package for quantitative and qualitative analysis of the FitzHugh-Nagumo fractional oscillator with variable memory	5
<i>Eshkulov M.U., Khamdamov R.Kh.</i> Design and analysis of solar water supply system for multi-story residential buildings based on Boolean programming	18
<i>Ravshanov N., Usmonov L.S.</i> Three-dimensional mathematical model and numerical solution algorithm for monitoring and predicting in-situ leaching processes in porous medium	26
<i>Kalandarov A.A.</i> Numerical simulation of the coupled dynamic problem of thermoelasticity in stresses	48
<i>Ravshanov N., Rakhmanov Kh.E. Fattaeva D.A.</i> Modeling the spatio-temporal dynamics of a reservoir area (using the Kattakurgan Reservoir as an example) based on NDWI, NDVI, EVI indices and ensemble learning methods	61
<i>Khajiev I.O., Shobdarov E.B.</i> Regularization of the initial-boundary value problem for a inhomogeneous parabolic equation with changing time direction	74
<i>Ravshanov N., Boborakhimov B.I., Berdiev M.I.</i> Model and algorithms for classifying anomalous phenomena based on the convergence of acoustic-visual signals	88
<i>Rustamov N., Mukhamejanov N.B.</i> Design and operating principle of a cogenerative fractal solar collector	103
<i>Kholiyarov E.Ch., Turaev D.Sh.</i> Numerical solution of plane-radial boundary value inverse problem for the equation of non-stationary relaxation filtration of fluid in a porous medium	112
<i>Akhmedov D.M., Mamatova N.H.</i> An optimal method for the approximate solution of the hypersingular integral equations	124
<i>Shadimetov Kh.M., Elmuratov G.Ch.</i> Optimization of approximate computation of integrals of rapidly oscillating functions in the Sobolev space of complex-valued functions	132
<i>Ziyakulova Sh.A.</i> On optimal iterative and direct methods for solving the Dirichlet problem for the Poisson equation	143

HISOBLASH VA AMALIY МАТЕМАТИКА MUAMMOLARI



ПРОБЛЕМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

PROBLEMS OF COMPUTATIONAL
AND APPLIED MATHEMATICS

