

АНОТАЦІЯ

Куба Т.В. Розробка пересувних комплексів забору і очищення води для забезпечення людей питною водою в умовах відсутності централізованого водопостачання. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (19 – Архітектура та будівництво) – Київський національний університет будівництва і архітектури, Міністерство освіти і науки України, Київ, 2026.

Дисертаційна робота присвячена розробці та науково-технічному обґрунтуванню пересувних комплексів забору і очищення води для забезпечення населення питною водою в умовах відсутності централізованого водопостачання.

У роботі пересувний комплекс розглянуто не лише як окрему установку очищення води, а як елемент децентралізованої системи кризового водозабезпечення, що поєднує джерело води, технологічну підготовку, накопичення, транспортування та роздачу очищеної води споживачам.

У першому розділі проаналізовано сучасні підходи до забезпечення населення питною водою в умовах відсутності централізованого водопостачання, міжнародні та національні вимоги до мінімального водозабезпечення населення в надзвичайних ситуаціях, а також світову практику застосування децентралізованих і мобільних систем очищення води. Узагальнено класифікацію пересувних комплексів забору і очищення води та визначено вимоги до їх автономності, транспортабельності, ремонтпридатності, технологічної багатобар'єрності, швидкого розгортання і польового контролю якості води.

У другому розділі виконано аналіз можливих джерел і типів забруднення води в умовах надзвичайних ситуацій та воєнних дій. Сформовано ризик-профіль джерела води, який використано як основу для вибору режиму роботи пересувного комплексу. Розроблено багаторежимну технологічну схему пересувного комплексу забору і очищення води, що поєднує попереднє механічне очищення, реагентну обробку, напірну фільтрацію, сорбційне очищення, знезараження та, за необхідності, мембранний блок зворотного осмосу. Запропоновано алгоритм

вибору режиму роботи комплексу залежно від якості вихідної води та ризик-профілю джерела, що дозволяє забезпечити адаптацію технологічної схеми до різних умов експлуатації комплексу без доукомплектування додатковим технологічним обладнанням. За результатами польової апробації технологічних схем на воді різного типу виконано оцінювання локальної та кумулятивної ефективності очищення на окремих технологічних стадіях. Розроблено стадійну розрахунково-статистичну модель ефективності технологічних бар'єрів пересувного комплексу та її програмну реалізацію. Модель дає змогу оцінювати ефективність окремих стадій очищення, прогнозувати якість води після обробки, виконувати калібрування за експериментальними даними та визначати межі гарантованої роботи установки.

У третьому розділі обґрунтовано конструктивне рішення дослідного зразка пересувного комплексу на базі причепа-фургона. Визначено оптимальні типорозміри та компоновання обладнання. Обґрунтовано можливість роботи комплексу впродовж року, зокрема за рахунок розміщення обладнання в утепленому фургоні із застосуванням автономного електроживлення. Обґрунтовано продуктивність та режим роботи комплексу. Підтверджено придатність прийнятої компоновки для швидкого розгортання, роботи з різними джерелами води, подачі очищеної води у водовози або безпосереднього розливу в тару споживачів.

У четвертому розділі розроблено геоінформаційну модель планування застосування пересувних комплексів у складі децентралізованої системи водозабезпечення населення. Сформульовано задачі визначення доступних джерел води, розміщення пунктів роздачі, вибору засобів підготовки води та логістичного планування її підвозу. Запропоновано структуру вихідних даних для моделі, що включає просторові дані, інформацію про житлову забудову, чисельність населення, потенційні пункти роздачі, джерела води, транспортні маршрути та наявні елементи резервного водозабезпечення. Розроблено алгоритм визначення зон обслуговування пунктів роздачі води та розрахунку добової потреби населення у питній воді. Геоінформаційна модель забезпечує перехід від просторового

розподілу населення до інженерних показників: добової потреби у воді, навантаження на пункти роздачі, необхідної кількості пересувних комплексів, накопичувальних ємностей, водовозів і транспортних рейсів. Сценарну апробацію моделі виконано на прикладі міст різного масштабу, що підтвердило можливість її адаптації до різних просторових умов та різних норм мінімального водозабезпечення населення.

У п'ятому розділі виконано економічну оцінку застосування пересувного комплексу та аналіз чутливості фінансових показників. Враховано витрати на електроенергію, реагенти, витратні матеріали, обслуговування, персонал, мембранні елементи, хімічне миття та інші складові експлуатаційних витрат. Показано, що оцінювання доцільності застосування пересувного комплексу має враховувати не лише собівартість одиниці очищеної води, а й здатність комплексу забезпечити якість води, автономність, зменшення логістичної залежності та підвищення стійкості систем життєзабезпечення в умовах кризи.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в обґрунтуванні науково-технічного підходу до вибору технологічної схеми забору і очищення води з урахуванням ризик-профілю джерела; розробленні багатобар'єрної технологічної схеми пересувного комплексу, придатної для роботи у звичайному режимі та за умов підвищеного забруднення вихідної води; удосконаленні підходу до керування роботою комплексу в польових умовах через систему контрольних точок і технологічних параметрів; розробленні стадійної розрахунково-статистичної моделі ефективності технологічних бар'єрів; формуванні геоінформаційної моделі планування застосування пересувних комплексів у населених пунктах.

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні та апробації пересувного комплексу забору і очищення води продуктивністю 2 м³/год, призначеного для забезпечення населення питною водою нормативної якості в умовах припинення або обмеження централізованого водопостачання. Запропоновані технологічні, конструктивні та організаційні рішення можуть бути використані органами місцевого самоврядування, підприємствами питного водопостачання, службами цивільного захисту, гуманітарними організаціями та

операторами критичної інфраструктури для планування резервного водозабезпечення, підготовки сценаріїв реагування та визначення потреби у пересувних водоочисних комплексах.

Отримані результати наукової роботи впроваджено в розробку проєктно-конструкторської документації ТОВ «Інститут Комунальної Інфраструктури» на «Комплекс водоочисний пересувний». Практичну реалізацію виконано на виробничих потужностях ТОВ «Науково-виробниче об'єднання «ЕКОСОФТ» та ТОВ «Інститут Комунальної Інфраструктури». У межах меморандуму про співпрацю між Міжнародним комітетом Червоного Хреста та КП «Зеленодольський міський водоканал» здійснено виробничу експлуатацію пересувних комплексів забору та очищення води.

Ключові слова: водні об'єкти, питна вода, водопостачання в умовах воєнного стану, технологія очищення, фільтрування, ефективність очищення, якість води, водоочисна установка, загальне залізо, техногенні ризики, воєнні загрози, математична модель, геоінформаційне моделювання, екологічна безпека, децентралізовані системи.

ANNOTATION

Kuba T. Development of Mobile Water Intake and Treatment Complexes for Providing Drinking Water to Populations in the Absence of Centralized Water Supply. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 192 “Building and Civil Engineering” (19 – Architecture and Construction). – Kyiv National University of Construction and Architecture of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2026.

The dissertation is devoted to the development and scientific and technical substantiation of mobile water intake and treatment complexes intended to provide the population with drinking water in the absence of centralized water supply.

In the dissertation, the mobile complex is considered not only as a separate water treatment unit, but also as an element of a decentralized emergency water supply system that combines the water source, water treatment, storage, transportation, and distribution of treated water to consumers.

The first chapter analyzes modern approaches to providing the population with drinking water in the absence of centralized water supply, international and national requirements for minimum water supply to the population in emergency situations, as well as international practice in the application of decentralized and mobile water treatment systems. The classification of mobile water intake and treatment complexes is generalized, and the requirements for their autonomy, transportability, maintainability, technological multi-barrier design, rapid deployment, and field water quality control are defined.

The second chapter analyzes possible water sources and types of water contamination under emergency conditions and military actions. A source risk profile is formed and used as a basis for selecting the operating mode of the mobile complex. A multi-mode technological scheme of the mobile water intake and treatment complex is developed, combining preliminary mechanical treatment, reagent treatment, pressure filtration, adsorption treatment, disinfection and, if necessary, a reverse osmosis membrane unit. An algorithm for selecting the operating mode of the complex depending

on raw water quality and the source risk profile is proposed. This makes it possible to adapt the technological scheme to different operating conditions without equipping the complex with additional technological equipment.

Based on the results of field testing of technological schemes on different types of water, local and cumulative treatment efficiency at individual technological stages was evaluated. A stage-wise calculation-and-statistical model of the efficiency of the technological barriers of the mobile complex and its software implementation were developed. The model makes it possible to evaluate the efficiency of individual treatment stages, predict water quality after treatment, perform calibration based on experimental data, and determine the limits of guaranteed operation of the unit.

The third chapter substantiates the structural design of the prototype mobile complex based on a trailer-van. The optimal dimensions and equipment layout are determined. The possibility of year-round operation of the complex is substantiated, in particular by placing the equipment in an insulated van body with the use of an autonomous power supply. The capacity and operating mode of the complex are justified. The suitability of the adopted layout for rapid deployment, operation with different water sources, supply of treated water to water tankers, or direct dispensing into consumers' containers is confirmed.

The fourth chapter develops a geographic information system model for planning the application of mobile complexes within a decentralized water supply system for the population. The tasks of identifying available water sources, locating water distribution points, selecting water treatment means, and planning the logistics of water delivery are formulated. The structure of input data for the model is proposed, including spatial data, information on residential development, population size, potential water distribution points, water sources, transport routes, and existing elements of backup water supply.

An algorithm for determining the service zones of water distribution points and calculating the daily drinking water demand of the population is developed. The geographic information system model ensures the transition from the spatial distribution of the population to engineering indicators: daily water demand, load on distribution points, the required number of mobile complexes, storage tanks, water tankers, and

transport trips. Scenario testing of the methodology was carried out using cities of different scales as examples, which confirmed the possibility of its adaptation to different spatial conditions and different minimum water supply standards for the population.

The fifth chapter presents an economic assessment of the application of the mobile complex and a sensitivity analysis of financial indicators. The costs of electricity, reagents, consumables, maintenance, personnel, membrane elements, chemical cleaning, and other components of operating costs are taken into account. It is shown that the feasibility assessment of applying the mobile complex should take into account not only the unit cost of treated water, but also the ability of the complex to ensure water quality, autonomy, reduced logistical dependence, and increased resilience of life-support systems under crisis conditions.

The scientific novelty of the obtained results lies in the substantiation of a scientific and technical approach to selecting a technological scheme for water intake and treatment with regard to the source risk profile; the development of a multi-barrier technological scheme of a mobile complex suitable for operation under normal conditions and under conditions of increased raw water contamination; the improvement of the approach to controlling the operation of the complex in field conditions through a system of control points and technological parameters; the development of a stage-wise calculation-and-statistical model of the efficiency of technological barriers; and the formation of a geoinformation model for planning the deployment of mobile complexes in settlements.

The practical significance of the obtained results lies in the creation and testing of a mobile water intake and treatment complex with a capacity of 2 m³/h, intended to provide the population with drinking water of regulatory quality under conditions of suspended or limited centralized water supply. The proposed technological, structural, and organizational solutions can be used by local self-government bodies, drinking water supply enterprises, civil protection services, humanitarian organizations, and critical infrastructure operators for planning backup water supply, preparing response scenarios, and determining the need for mobile water treatment complexes.

The obtained scientific results were implemented in the development of design and engineering documentation by LLC “Institute of Municipal Infrastructure” for the “Mobile Water Treatment Complex”. Practical implementation was carried out at the production facilities of LLC “Scientific and Production Association ‘ECOSOFT’” and LLC “Institute of Municipal Infrastructure”. Within the framework of the memorandum of cooperation between the International Committee of the Red Cross and the Municipal Enterprise “Zelenodolsk City Water Utility”, operational use of the mobile water intake and treatment complexes was carried out.

Keywords: water bodies; drinking water; water supply under martial law; treatment technology; filtration; treatment efficiency; water quality; water treatment unit; total iron; technogenic risks; military threats; mathematical model; geoinformation modelling; environmental safety; decentralized systems.