

## ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Удовенка Сергія Григоровича, на дисертаційну роботу Матвієнко Ольги Іванівни «Математичне моделювання та оптимізація режимів роботи систем водопостачання», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

### Актуальність теми дисертаційної роботи

Системи водопостачання у значній мірі визначають якість життя населення та благоустрій населених пунктів. Втім слід відзначити, що на теперішній час більшість систем водопостачання знаходиться в незадовільному технічному стані. Внаслідок значного зносу обладнання цих систем зростають гідравлічні опори ділянок трубопроводів і, як наслідок, мають місце підвищення аварійності, збільшення втрат води через витіки, суттєве зростання невиробничих затрат електроенергії. Крім того, у зв'язку із сталою тенденцією зростання цін на електроенергію гостро постають проблеми ресурсо- та енергозбереження в системах водопостачання. Одним із найбільш перспективних шляхів розв'язання цієї проблеми є побудова ефективної системи управління функціонуванням систем водопостачання з застосуванням сучасних засобів математичного моделювання та оптимізації фактичних режимів роботи систем водопостачання в реальних умовах.

У дисертаційній роботі Матвієнко О.І. розглядається можливість розв'язання задач математичного моделювання та оптимізації фактичних режимів роботи систем водопостачання на базі нової стохастичної моделі квазістаціонарних режимів роботи систем водопостачання, яка більш адекватно, у порівнянні з існуючими моделями, описує їх фактичні режими роботи на заданому інтервалі часу. Слід відзначити, що здобувачкою ретельно проаналізовано можливі напрямки оптимізації режимів водопостачання та виявлено фактори, що не дозволяють ефективно підтримувати повний цикл технології водопостачання.



Таким чином, тему дисертаційної роботи Матвієнко Ольги Іванівни, присвяченої розробці моделей та методів, спрямованих на створення нових енергозберігаючих та екологічно безпечних технологій управління режимами роботи систем водопостачання, слід вважати актуальною.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційні дослідження виконувалися відповідно до плану наступних науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки: держбюджетної науково-дослідної роботи «Розробка методології та математичних моделей соціально-економічних систем при реалізації концепції їх сталого розвитку» (ДР № 0115U001522); госпдоговірної науково-дослідної роботи «Оцінка потенціалу ресурсозбереження водоводів комплексу водопідготовки «Донець» окремого підрозділу комунального підприємства «Харківводоканал» (договір № 16-3), (265/3-НР/16 № ДР 0116U007035), де здобувачка була одним з виконавців.

**Наукова новизна** дисертаційної роботи полягає в тому, що теоретичні та експериментальні дослідження, проведені здобувачкою, дозволили вирішити задачу розробки нових математичних моделей, які адекватно описують фактичні режими роботи системи водопостачання на всьому інтервалі управління.

У рамках вирішення цієї задачі отримані наступні наукові результати:

1. Вперше запропоновано математичну модель квазістаціонарних режимів роботи системи подачі та розподілу води, яка враховує стохастичний характер об'єкта управління і навколишнього середовища, що дозволяє адекватно описувати процеси транспорту та розподілу води в системі водопостачання на заданому інтервалі часу.

2. Вперше для задачі оптимального стохастичного управління режимами роботи магістрального водоводу запропоновано математичну модель з імовірнісними та екстремальними обмеженнями на фазові змінні, розв'язання якої дозволяє отримати мінімум математичного сподівання вартості витрат на електроенергію при тризонному тарифі на інтервалі управління.

3. Вперше розроблено метод розв'язання задачі оптимального стохастичного управління режимами роботи магістрального водоводу, оснований на побудові її детермінованого еквіваленту та використанні методу гілок і меж.

4. Отримали подальший розвиток: метод оптимального стохастичного управління розвитком систем подачі та розподілу води шляхом зонування водопровідних розподільчих мереж для міст із складним рельєфом місцевості і різною поверховістю забудови; математична модель задачі оптимізації режимів роботи насосної станції на заданому інтервалі часу, розв'язання якої забезпечує мінімум математичного сподівання затрат електроенергії та стійкість розв'язку до прогнозованого рівня стохастичних збурень.

#### **Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень та висновків дисертаційної роботи**

Достовірність і обґрунтованість отриманих наукових положень підтверджуються аргументованою постановкою загальної задачі дослідження та її коректною декомпозицією на локальні задачі в процесі розробки окремих моделей та методів, а також загальною методикою виконання досліджень, яка заснована на сучасних принципах математичного моделювання та оптимізації нелінійних стохастичних систем.

Отримані наукові результати базуються на коректному застосуванні методів моделювання, управління, а також теорії ймовірностей, математичної статистики і випадкових процесів для побудови стохастичної моделі та визначення оптимальних режимів подачі і розподілу води в системах водопостачання.

Достовірність і прийнятність розроблених моделей та методів підтверджено також на прикладі їх ефективного використання управління режимами роботи одного із найбільших магістральних водоводів України.

Висновки та рекомендації відповідають суті виконаної дисертаційної роботи.

**Практичні результати роботи, їх рівень і ступінь впровадження.** На основі узагальнення відомих результатів і застосування нових наукових моделей та методів, запропонованих у дисертації, стає можливим: враховувати стохастичний характер об'єкта управління та оточуючого середовища; адекватно описувати фактичні режими роботи системи водопостачання на заданому інтервалі часу для практичної реалізації задач управління розвитком і функціонуванням систем подачі та розподілу води.

Результати дисертації використано для оптимізації режимів водоводів комплексу водопідготовки «Донець» окремого підрозділу комунального підприємства «Харківводоканал» та у навчальному процесі (на кафедрі математичного моделювання Харківського національного університету та на радіоелектроніки), що підтверджується відповідними актами.

**Повнота викладу основних результатів у наукових виданнях та апробація.** За результатами дисертаційних досліджень здобувачкою опубліковано 17 наукових праць: 5 статей у фахових наукових виданнях з технічних наук (з них 3 статті у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз), 3 статті в іноземних виданнях, 9 публікацій у матеріалах науково-технічних конференцій.

Опубліковані праці містять основні наукові результати (наукові положення, висновки і рекомендації), що виносяться на захист, та не мають повторів. Результати дисертаційної роботи пройшли необхідну апробацію, доповідалися й обговорювалися на наступних міжнародних конференціях та форумах: IV міжнародній науково-технічній конференції «Вода. Екологія. Суспільство» (Харків, ХНУМГ ім. Бекетова, 2014 р.); 3 міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні системи та технології» (Харків, ХНУРЕ, 2014 р.); 4 міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні системи та технології» (Харків, ХНУРЕ, 2015 р.); 18 міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» (Харків, ХНУРЕ, 2014 р.); VI Всеукраїнському науково-практичному семінарі «Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур» (Харків, ХНУБА, 2014 р.); XII

конференції з фізики високих енергій, ядерної фізики і прискорювачів (Харків, ННЦ ХФТІ, 2014 р.); GISforum (Харків, ХНУ ім. Каразіна, 2015 р.); 5 міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні системи та технології» (Коблево, ХНУРЕ, 2016 р.).

### **Оцінка змісту дисертації та автореферату**

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків та шести додатків і за обсягом відповідає вимогам щодо кандидатських дисертацій. Стиль оформлення та повнота викладу наукових положень дисертації в цілому відповідають встановленим вимогам.

**У вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, визначено її мету, завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження. Охарактеризовано наукову новизну та практичну значущість роботи, наведено відомості про впровадження її результатів.

**У першому розділі** здійснено аналіз сучасних досліджень з обраної теми. Розглянуто структуру системи водопостачання та проведено її системний аналіз як об'єкта управління. За результатами аналізу існуючих підходів до математичного моделювання та оптимізації режимів роботи систем водопостачання сформульовано задачі дослідження.

**У другому розділі** обґрунтовано необхідність переходу від детермінованих моделей сталого поточкорозподілу до стохастичної моделі квазістаціонарних режимів роботи системи подачі та розподілу води. Наведено стохастичні моделі основних технологічних елементів системи подачі та розподілу води та узагальнену стохастичну модель квазістаціонарних режимів роботи системи подачі і розподілу води.

**У третьому розділі** наводяться критерії оцінки якості та ефективності функціонування водопровідних розподільчих мереж. Розроблено метод розв'язання задачі оптимізації квазістаціонарних режимів роботи водопровідних розподільчих мереж, яка включає в себе задачу оптимального розподілу навантаження між насосними станціями і задачу оптимізації квазістаціонарних режимів роботи насосної станції. Оптимізація структури

водопровідної розподільчої мережі здійснюється за результатами розв'язання задачі зонування.

**Четвертий розділ** присвячено дослідженню нового класу задач оптимального стохастичного управління складними динамічними об'єктами з екстремальними та імовірнісними обмеженнями на фазові змінні. Здійснено математичну постановку та запропоновано метод розв'язання задачі оптимального стохастичного управління режимами роботи магістрального водоводу. Наведено результати впровадження запропонованих методів для реального водоводу. У роботі доведена доцільність переходу від існуючої системи управління режимами роботи магістрального водоводу до системи оптимального стохастичного управління з використанням тризонного тарифу на електроенергію.

**У висновках** відображено результати роботи та їх відповідність до поставлених задач. Проведене експериментальне дослідження підтверджує актуальність і практичну доцільність виконаної роботи.

**В додатках** до дисертаційної роботи наведено результати розрахунків для розроблених у дисертаційній роботі моделей та методів, а також акти впровадження результатів досліджень у науково-дослідну роботу та в навчальний процес.

За структурою та оформленням дисертація та автореферат відповідають встановленим вимогам. Автореферат повністю висвітлює основні положення та результати дисертації.

**Відповідність дисертації паспорту спеціальності.** Дисертаційну роботу виконано у відповідності до пункту 2 (...модифікація та спеціалізація існуючих обчислювальних методів з метою підвищення їх ефективності, створення і дослідження нових обчислювальних методів і алгоритмів, що враховують особливості реальних технічних та технологічних задач, забезпечують створення ефективних програмних засобів комп'ютерної реалізації), зазначеному в паспорті спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

### Зауваження до змісту та оформлення дисертації:

1. У дисертаційній роботі слід було б навести математичне визначення квазістаціонарного режиму роботи системи водопостачання, модель якого в подальшому використовується автором.

2. При побудові детермінованого еквівалента стохастичної моделі квазістаціонарних режимів роботи системи водопостачання в дисертації здійснюється заміна математичного сподівання функції на функцію від математичного сподівання аргументів. Втім така заміна може привести до зміщення одержуваних оцінок, адже деякі функції моделі є нелінійними.

3. У дисертаційній роботі не наведено значення порогу надлишкового напору для виділеної зони, що є необхідним для розв'язання задачі зонування водопровідних мереж.

4. Для задачі оптимізації (3.8) з обмеженнями (2.18) – (2.32) автор розглядає лише окремий випадок послідовного розв'язання двох взаємопов'язаних задач: ресурсозбереження при  $\lambda = 0$  та енергозбереження при  $\lambda = 1$ , що є характерним для мереж з великими обсягами витоків. Було б доцільним розглянути і загальний випадок  $\forall \lambda \in [0,1]$ , що є характерним для водопровідних мереж із задовільним технічним станом і незначними обсягами втрат води за рахунок витоків.

5. При розв'язанні задачі управління режимами роботи магістрального водоводу автор використовує евристичну гіпотезу щодо необхідності максимізувати математичні сподівання фазових змінних до моменту переходу з меншого тарифу на електроенергію на більший. Коректність такого припущення мала б знайти своє підтвердження шляхом розв'язання даної задачі без введення екстремальних обмежень.

6. Недостатньо переконливим є обґрунтування вибору варіантів реконструкції магістрального водоводу, що розглядається у четвертому розділі.

7. У роботі доцільно було б дослідити властивості отриманих оцінок потенціалу ресурсо- та енергозбереження в системах водопостачання (зокрема, їх незміщеність, ефективність, спроможність і можливість реалізації).

Однак ці зауваження не впливають на загальну позитивну характеристику дисертації, що має визначені вище актуальність, наукову новизну і практичну значущість.

### **Загальний висновок.**

Дисертаційна робота Матвієнко Ольги Іванівни є завершеною науково-дослідною роботою, в якій одержано нові взаємозв'язані наукові і практичні результати, що можна вважати вагомим внеском у моделювання та оптимізацію систем водопостачання. Результати дисертаційної роботи одержано здобувачкою особисто, опубліковано у фахових науково-технічних виданнях та апробовано на міжнародних наукових конференціях.

Вважаю, що дисертаційна робота за своїм змістом і науковим рівнем наведеного матеріалу відповідає пунктам 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо кандидатських дисертацій, а її авторка, Матвієнко Ольга Іванівна, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,  
завідувач кафедри  
інформатики та комп'ютерної техніки  
Харківського національного економічного  
університету ім. С. Кузнеця,  
доктор технічних наук, професор

С.Г. Удовенко

Підпис Удовенка Сергія Григоровича завідувачу  
Вчений секретар  
Харківського національного економічного  
університету ім. С. Кузнеця



О.В. Писарчук