

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

ХОМУТЕЦЬКОЇ Тетяни Петрівни

**«Розвиток наукових і практичних засад енергоощадного водопостачання
з підземних джерел»**

представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.23.04 – водопостачання, каналізація

Актуальність теми

Питання ощадливого використання ресурсів є проблемою сьогодення у світі загалом, у тому числі й в Україні. Це стосується і систем водопостачання та водовідведення як промислових підприємств, так і населених пунктів. Роботи у цьому напрямку повинні проводитись постійно, як на етапі проектування, так і на етапі експлуатації вказаних систем. Але для налагодження енергоощадливих технологій у процесі експлуатації потрібні попередні системні наукові дослідження для виявлення тих місць, де енергоресурси використовуються малоефективно.

Однією з таких проблем є пошук та розроблення шляхів удосконалення експлуатації систем водопостачання з метою економного використання енергоресурсів. Ураховуючи те, що в структурі собівартості і, як наслідок, тарифу на питну воду, одну з найбільших складових становлять затрати на електричну енергію, безумовно потрібне розроблення заходів для енергозбереження.

Дисертаційна робота Хомутецької Т.П. присвячена саме дослідженню та розробленню таких технологій, які дозволяють економити енергоресурси в системах водопостачання з підземними джерелами. Ураховуючи вищесказане, тема дисертаційної роботи безумовно актуальна.

Стиснений аналіз змісту дисертації

Дисертація включає вступ, сім розділів, загальні висновки, список використаних джерел (344 найменування), 6 додатків (А, Б, В, Д, Е, Ж), 260 сторінок основного тексту і загалом 389 сторінок.

Вступ розкриває актуальність теми, зв'язок з науковими програмами, мету роботи, задачі, об'єкт, предмет і методи досліджень, наукову новизну, практичне значення результатів, особистий внесок автора та відомості щодо апробації результатів дисертації. Усі пункти чітко сформульовані, грамотно визначено об'єкт і предмет дослідження.

У першому розділі приводиться аналіз сучасного стану систем господарсько-питного водопостачання в Україні та результати відомих досліджень щодо інтенсифікації роботи водопровідних споруд. Цікавою є інформація щодо характеристики систем водопостачання міст України, яка спирається на дані "Національної доповіді про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2018 році". Особливо це стосується питомих витрат електроенергії на виробництво 1 м³ питної води, тарифів та аварійності труб водопровідних мереж. Значну увагу приділено прогнозним ресурсам підземних вод у розрізі окремих областей України. Вказано, що найвищий рівень освоєння прогнозних ресурсів підземних вод припадає на густонаселені території з високим господарським потенціалом. Відмічено, що існують потенційні можливості розширення використання підземних вод практично у всіх регіонах України. Проаналізовано шляхи удосконалення господарсько-питного водопостачання з метою зменшення собівартості води. Особливо відмічено принцип розділення очищеної води на технічну з невеликою собівартістю і питну, яку отримують шляхом доочищення технічної води. При аналізі характеристик підземних вод України розглянуто класифікації підземних вод та розподіл їх запасів територіями держави. Вказано, що із 25 обласних центрів 4 використовують тільки поверхневі води, 7 – тільки підземні води, 14 мають як поверхневі, так і підземні джерела. Зазначено, що із 474 міст України у 77 містах водопостачання

здійснюється з підземних джерел, а у 161 місті використання підземних вод перевищує 50%. Дисертант звернула увагу на те, що підземні джерела мають різні якісні показники води. Вода деяких водоносних горизонтів відповідає вимогам до води питної якості, але окремі водоносні горизонти містять воду з підвищеним вмістом заліза, фтору, хлоридів, сульфатів і т. ін. Вказані недоліки обмежують застосування такої води або потребують відповідного очищення. У кінці розділу дисертантка проаналізувала дослідження провідних вчених з водопостачання як минулих років, так і сьогодення.

На основі усього аналізу вона зробила висновок у необхідності подальшого розроблення наукових і практичних методів розрахунку систем водопостачання з підземних джерел.

У другому розділі дисертації детально проаналізовано вплив зміни гідравлічних опорів фільтрів свердловин на їх дебіти, особливо коефіцієнтів опору недосконалості свердловин та конструкції фільтра. Отримано формулу для визначення дебіту однієї свердловини при роботі на водонапірну башту, а також детально проаналізовано сумісну роботу групи взаємодіючих свердловин на напірний резервуар. При цьому отримані формули для визначення дебіту цих свердловин при збиранні води як з напірного, так і безнапірного водоносних горизонтів. У цьому розділі також розроблено методи розрахунку автоматизованих систем подавання води із шахтних колодязів. Такі установки зараз широко використовуються у сільській місцевості для локального водопостачання приватних домогосподарств. Побудовані графіки сумісної роботи шахтного колодязя, насоса і бака-акумулятора, а також отримані формули і графіки зміни знижень статичного рівня води у шахтному колодязі та подачі насоса протягом циклу роботи автоматизованої установки. Як результат визначено кількість включень насоса протягом години, а також мінімальна і максимальна подача води насосом.

Третій розділ роботи присвячений дослідженням впливу часу на зміну гідравлічних характеристик свердловин і заглибних насосів при забиранні

води як з напірних, так і безнапірних водоносних горизонтів. Отримано формули для визначення дебіту свердловини з урахуванням часу експлуатації. Встановлено, що з часом дебіт свердловини зменшується за рахунок збільшення фільтраційного опору, зношення робочих коліс насоса та збільшення опору трубопроводів. Вказані розрахунки показують, що найбільший внесок у зменшення дебіту вносить заглибний насос за рахунок спрацювання його деталей. Аналогічні результати отримані в розрахунках дебіту свердловин при забиранні води з безнапірних водоносних горизонтів. Побудовані аналітичні залежності дають можливість оцінити дебіт свердловини через певний проміжок часу його роботи, а також визначити максимальну тривалість експлуатації насоса, якщо прийнята мінімальна величина дебіту свердловини. Фактор збільшення опору металевих труб у процесі експлуатації враховано для різних років їх експлуатації.

У четвертому розділі дисертанткою проаналізовано проблеми експлуатації споруд для відкачування підземних вод, які мають підвищений вміст заліза. Розглянуто недоліки існуючих протифільтраційних завіс в районі Каховського водосховища для боротьби з підтопленням прилеглих територій населених пунктів. Проблема у тому, що у дренажних свердловинах утворюється кольматуючий осад за рахунок гідроксиду заліза при ерліфтному способі відбирання води. Запропоновано перейти на сифонну систему відбирання води із свердловин та удосконалити конструкції фільтрів шляхом створення гравійної обсіпки або використання гравійно-кожухових фільтрів. Щодо енергоощадних технологій знезалізнення відземної води, то дисертантка звертає увагу на необхідність використання біологічного методу знезалізнення води. Проаналізовані споруди для реалізації цього процесу, а саме: баштова знезалізнювальна установка та напірна знезалізнювальна установка, осердям яких є біореактор та контактено-прояснювальний фільтр. У результаті експериментальних досліджень визначені технологічні параметри фільтрування, а саме: швидкості фільтрування, тривалість фільтроциклу, питома брудомісткість та ефект знезалізнення. У цьому розділі

також побудовані аналітичні залежності для визначення розрахункових показників роботи і граничних умов заміни старого насосного обладнання на нове, а саме – мінімальна подача насоса і максимальний термін його експлуатації до заміни.

П'ятий розділ дисертації стосується удосконаленню методів розрахунку сумісної роботи насосів і водопровідних мереж. Запропоновано розглядати кільцеву водопровідну мережу як паралельно працюючі лінії трубопроводів, що складаються з послідовно поєднаних ділянок. При цьому визначаються опори у поперечних перерізах після кожної серії фіксованих відборів води з мережі. Отримані аналітичні залежності для визначення втрат напору в такій водопровідній системі та подачі насосної станції 2-го підняття. Вказано, що для обчислення окремих параметрів мережі потрібно виконати гідравлічний розрахунок для двох періодів – максимального водорозбору і максимального транзиту. Далі у цьому розділі детально досліджено методи визначення регульовального об'єму баку водонапірної башти. У результаті запропонована більш точна емпірична формула (порівняно з формулою ДБН) у вигляді полінома 3-го порядку. Окрім цього, досліджено і удосконалено методи розрахунку сумісної роботи насосної станції 2-го підняття, мережі і акумуляторів води для різних схем подавання води, що дозволяє вибирати енергоощадні режими експлуатації споруд.

У шостому розділі досліджено найголовнішу проблему сьогодення для водоканалів – енергоощадження при подаванні води споживачам. При цьому пропонується аналізувати роботу водопровідних споруд спираючись на енергетичну Q-N характеристику насоса. Для цього проаналізовано: параметри гідравлічної та енергетичної характеристик насосів, які працюють паралельно; енергетичні показники сумісної роботи регульованих і нерегульованих насосів; енергоощадні режими насосів в автоматизованих системах з баками-акумуляторами; режими роботи регульованих насосів при їх роботі на безбаштову водопровідну мережу. Показано, що багатоваріантні гідравлічні розрахунки за допомогою персональних комп'ютерів дозволяють

вибирати енергоощадні режими водоподачі. У результаті створено логіко-математичну модель подавально-розподільного комплексу, яка пов'язує гідравлічні та енергетичні показники і, як наслідок, дозволяє встановити питомі витрати електроенергії при подаванні води споживачам.

Сьомий розділ дисертації розкриває практичні методи застосування енергоощадних технологій в діючих системах водопостачання. Дисертантка чітко формулює поняття енергоощадної роботи, а саме – це така сумісна робота водопровідних споруд “... коли споживачі забезпечується потрібною кількістю води під необхідним напором при найменших питомих витратах електроенергії”. Для встановлення дійсної картини водоподавання і водоспоживання дисертантка наполягає на проведенні натурних досліджень, у тому числі проведенні випробувань насосів для встановлення фактичних напірних та енергетичних характеристик. Важливою складовою цього розділу є викладення практичних результатів дослідження роботи системи водопостачання міста Чернігів. Розроблені пропозиції дозволяють зменшити споживання електроенергії на 609 тис. кВт·год на рік (у цінах 2012 року). Наведено також результати натурних досліджень водопровідних споруд системи водопостачання міста Бердичів, які дозволили запропонувати регулювання роботи насосів насосної станції 2-го підняття, що дозволяє знизити споживання електроенергії на 28,9%. У кінці розділу запропоновано ряд заходів для забезпечення ефективної роботи водоканалів. Вказані заходи базуються на значному науково-практичному досвіді дисертантки і мають переконливий характер.

Наукова новизна

В дисертації *вперше*:

- науково обґрунтовано методологічні засади енергоощадного водопостачання з підземних джерел в умовах динамічної зміни характеристик споруд та обсягів водоспоживання;
- запропоновано структуру імітаційної моделі роботи водопровідної системи, що включає визначення питомого енергоспоживання;

- розроблено метод імітаційного моделювання сумісної роботи споруд системи водопостачання, що дозволяє аналізувати різні варіанти водозабезпечення при мінімізації питомих витрат електроенергії;
- оцінено ефективність роботи водозабірних свердловин в напірних і безнапірних водоносних пластах при змінах в процесі експлуатації їхніх характеристик;
- розроблено методи розрахунків споруд системи водопостачання з підземних джерел при врахуванні впливу часу на зміну гідравлічних і енергетичних характеристик споруд.

Отримали подальший розвиток:

- теорія і методи розрахунків сумісної роботи насосів, водопровідних мереж і резервуарів в баштових та безбаштових системах водопостачання;
- теоретичні дослідження роботи автоматизованих водопровідних систем з гідропневматичними установками;
- наукове обґрунтування ресурсозберігаючих засад при забиранні підземної води із підвищеним вмістом заліза.

Практичне значення одержаних результатів

Практична цінність наукових досліджень полягає у створенні більш досконалих інженерних методів розрахунку сумісної роботи водопровідних споруд, при яких враховується зміна їхніх характеристик під час експлуатації. Розроблені рекомендації з вибору енергоощадних режимів роботи споруд КП “Чернігівводоканал” дали змогу зменшити енергоспоживання та заощадити значні кошти експлуатаційних затрат підприємства. Наукові розробки використано в МКП “Бердичівводоканал” і ВКП “Обухівводоканал” для поліпшення роботи діючих систем водопостачання і зниження питомих витрат електроенергії на подавання води споживачам. Результати одержаних наукових досліджень впроваджено в ПАТ “Укрводпроект” (м. Київ) при розробленні проектів систем

водопостачання з підземних джерел для забезпечення енергоощадної роботи водопровідних споруд.

Обґрунтування та достовірність результатів досліджень

Наведені в дисертації наукові положення мають достатнє теоретичне обґрунтування, яке базується на теоретичних законах технічної механіки рідин і газів, теорії фільтрування води у зернистих середовищах, законі Бойля-Маріотта, законах фізики щодо напірних та енергетичних характеристик відцентрових насосів. Для виконання розрахунків дисертантка активно використовує методи апроксимації та ітерацій з достатньою для інженерних розрахунків точністю, широко застосовує блок-схеми для усвідомлення комп'ютерних розрахунків. Окрім того, достовірність теоретичних та експериментальних досліджень підтверджена значною апробацією дисертації на наукових конференціях різного рівня.

Дисертаційна робота виконана на належному науково-методичному рівні і є закінченою науковою працею у якій вирішена важлива наукова проблема у галузі водопостачання, а саме – забезпечення населення якісною питною водою за мінімальних витрат електроенергії на подавання води. Дисертація оформлена відповідно до вимог МОН України. Зміст і структура автореферата у цілому ідентично відображає зміст, структуру, основні положення та висновки дисертації.

Повнота публікацій

Основні наукові результати дисертацій опубліковані у 2-х монографіях, 5-ти статтях в іноземних періодичних виданнях, 20-ти статтях у фахових виданнях України, 3-х патентах України, 10-ти статтях інших видань. Вони повністю розкривають основний зміст і результати дисертаційної роботи.

Дискусійні положення та зауваження:

1) щодо змісту роботи

1. У вступі чітко сформульовано об'єкт і предмет дослідження, але у 4-му і 5-му пунктах наукової новизни (*вперше*) маємо деякий повтор щодо свердловин.

2. Не зрозуміло за яким принципом складені списки вчених (розділ 1), які досліджували проблеми водопостачання з підземних джерел; перелік включає багато, аж 85 прізвищ, але у результаті увага не зосередилась на сьогочасних дослідниках.

3. Не витримують критики схеми водозабірних майданчиків (рис. 2.14, 2.16 с. 103), коли на збірному водогоні розміщено багато (від 7 до 12) свердловин, тому що подача насосів з останніх свердловин буде суттєво меншою.

4. Схема видобутку води із шахтного колодязя (рис. 2.18 с. 108) дещо застаріла. У сучасних умовах для шахтних колодязів застосовують заглибні електронасоси, а баки-акумулятори розташовують у будівлях.

5. У дослідженнях третього розділу не розкрито фізичної суті спрацювання електрозаглибних насосів (корозія робочих колес, збільшення зазорів і т. ін.). Чому при падінні напору на 15% подача насоса падає на 45%?

6. У четвертому розділі у формулах 4.29...4.33 невдало вибрано позначення для питомої витрати електроенергії N_n , що асоціюється з потужністю N . У подальшому N_n замінено на E (формула 7.2).

7. Формула 4.27 не є формулою приведених затрат, тому що відсутній коефіцієнт нормативної ефективності капітальних вкладень.

8. У п'ятому розділі формули 5.13...5.21 (с. 195) справедливі тільки для представлення кільцевої мережі двохполюсником, коли є один вхід в мережу (НС) і один вихід (ВБ), а вода подається незалежними лініями з вузловими відборами. У дійсності кільцева мережа працює як багатопольсник, а тому запропоноване представлення може бути використано тільки для наближених розрахунків.

9. Емпірична формула 5.44 для визначення об'єму бака водонапірної бапти справедлива тільки для $K_T = 1,7...3,1$. Потрібно було перевірити її для менших значень K_T і представити таблицею для зручності користування при проектуванні.

10. Невдало вибрано режим подавання води НС 2-го підняття (рис. 5.12 с. 219). Потрібно було прийняти ступінчастий графік подавання води, а саме – вночі передбачити роботу малим насосом. Вибраний графік подавання води призвів до економічно не вигідного рішення, коли об'єм РЧВ становить усього $36,9 \text{ м}^3$, а об'єм бака водонапірної башти аж $207,2 \text{ м}^3$.

11. Відносно розділу 6, можна сказати, що імітаційне моделювання процесів розглядається, зазвичай, у часі з параметрами, які мають імовірнісний характер. Дисертантка досліджує процеси функціонування водопровідних споруд у конкретні моменти часу з параметрами, які є детермінованими. Маємо, по-суті, комп'ютерне моделювання процесу функціонування у конкретні моменти часу з відповідними результатами.

2) щодо термінології та стилю викладення

12. Термін СПРВ спірний. Зважаючи на системний підхід, не може бути у системі водопостачання іще і системи подавання та розподілення води – це підсистема. Правильно її назвати ПРК – подавально-розподільний комплекс.

13. Дисертантка при аналізі свердловин одну і ту ж річ – “дебіт свердловини” називає по різному у різних формулах: “подача води із свердловини” (с. 99), “витрата свердловини” (с. 77).

14. По тексті дисертації зустрічається так звані “русизми”. В українській мові чітко розділяють процес і його результат, а тому потрібно вживати:

- схема “подавання” води (а не “подачі”);
- процес “забирання” води (а не “забору”);
- “розбирання” води (а не “розбір”);
- “приплив” води (а не “приток”).

В українській мові не вживаються, по можливості, слова із суфіксами “уч”, “юч”. Тому “регулювальний” об'єм, а не “регулюючий”, “диктувальна” точка, а не “диктуюча”.

Проте, вказані зауваження суттєво не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Дисертанткою виконаний дуже великий об'єм теоретичних досліджень і практичних розрахунків. Ретельний аналіз матеріалів, викладених у дисертації та авторефераті Хомуцької Тетяни Петрівни показав, що дисертанткою вирішена важлива наукова та народногосподарська проблема – забезпечення населення якісною питною водою при мінімізації питомих витрат електроенергії на подавання води. Структура, обсяг і оформлення дисертації відповідають вимогам МОН України для дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Дисертаційна робота **Хомуцької Тетяни Петрівни** “Розвиток наукових і практичних засад енергоощадного водопостачання з підземних джерел” відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12, 13, 14 “Порядку присудження наукових ступенів” зі змінами та доповненнями, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013р. № 567, а її автор Хомуцька Тетяна Петрівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.04 – водопостачання, каналізація.

Офіційний опонент:

професор кафедри прикладної екології та природокористування
Національного університету “Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка”

доктор технічних наук, професор

НОВОХАТНІЙ В.Г.

1.06.2020р.

Підпис **Новохатнього В.Г.** засвідчую:

проректор з науково-педагогічної та навчальної роботи
Національного університету “Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка”

доктор технічних наук, доцент



КОРОБКО Б.О.