водах. Це особливо важливо при малих обсягах вибірки спостережень, коли неможлива високою надійністю перевірка гіпотези про імовірнісний розподіл концентрацій речовин у стічних водах. У статті наведено демонстраційний розрахунок для скидання стічних вод підприємства «Сумихімпром» в річку Псел. Розглядалися два речовини: нітрати і азот амонійний. Показано, що розрахунок допустимого скидання стічних вод розробленим методом забезпечує неперевищення допустимих концентрацій забруднюючих речовин у водному об'єкті з надійністю 95%. При цьому розрахунок допустимого скидання, виконаний відповідно до діючої методикою, призводить до ризику наднормативні забруднення водного об'єкту.
Ключові слова: водний об'єкт, стічні води, забруднююча речовина, допустимий скид, функція регресії, непараметричний метод статистики.

Proskurnin O.A., Zakharchenko N.I., Komaristaya B.N., Bendyug V.I. NORMALIZATION OF THE COMPOSITION OF WASTE WATER USING NON-PARAMETRIC STATISTICAL METHODS. The problem of ensuring the environmental safety of wastewater discharges into a water body in the presence of a stochastic relationship between the concentrations of pollutants in the wastewater after their treatment is substantiated. This dependence is due to both the production technology itself and the wastewater treatment technology. The article describes a method for solving this problem, which is based on the construction of a regression relationship between concentrations. It is proposed to build a regression function using the method of statistical tests (Monte-Carlo method). The advantage of this method is its belonging to the group of non-parametric statistical methods. For this reason, the reliability of the method does not depend on the law of the probability distribution of the concentrations of the substances in question in the wastewater. This is especially important with small sample sizes of observations, when it is impossible to test with high reliability the hypothesis about the probability distribution of the concentrations of substances in the wastewater. The article provides a demo calculation for the discharge of wastewater from the Sumykhimprom enterprise into the River Psel. Two substances were considered: ammonium nitrates and nitrogen. It is shown that the calculation of the possible unset of wastewater by the developed method ensures that the permissible concentrations of pollutants in a water body are not exceeded with a reliability of 95%. In this case, the calculation of the possible unset, made in accordance with the current methodology, leads to the risk of above-standard pollution of the water body.
Key words: water body, wastewater, pollutant, possible unset, regression function, non-parametric statistical method.

DOI: 10.29295/2311–7257–2019–96–2–317–322
УДК 532.50

Рязанцев О. І.
Харківський національний університет будівництва та архітектури (вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: ryazantsev_a.i@ukr.net; orcid.org/0000-0002-6676-2302)

РОЗРАХУНОК НИЗЬКОНАПІРНОЇ ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ

У роботі розглянуто проблему нерівномірності розподілу води між точками водовідбору низьконапірних систем водопостачання, якими є нецентралізовані поливальні або сільськогосподарські системи водопостачання, запропонована методика розрахунку таких систем з урахуванням можливості утворення на різних ділянках мережі напірного або безнапірного режимів руху води.
Ключові слова: низьконапірна система водопостачання, режим руху, втрати напору.

Актуальність. Системи водопостачання мікрорайонів, окремих будівель, групи будівель або земельних ділянок, баз відпочинку слід відносити до локальні систем водопостачання. Ці системи характеризуються: явністю власного джерела водопостачання (свердловина) або водогін від крупної системи водопостачання,

продуктивність якого може бути обмежена; нерівномірністю водоспоживання; спрощеною конструкцією (водопровідна мережа тупикова) [1].

При розрахунках водопровідних мереж поперед все слід визначитись з режимом роботи системи – напірний чи безнапірний, оскільки в залежності від цього потрібно застосовувати відповідні методи розрахунку, які є загальновідомими і наводяться у навчальній та довідниковій літературі [2-6]. За способами подачі води водопровідні мережі діляться на напірні, безнапірні та комбіновані, і останніх є ділянки з напірним та безнапірним рухом, але зазначені режими руху на цих ділянках зберігаються під час роботи мережі.

В деяких випадках по суті призначений режим руху рідини у трубопроводі, який визначає порядок та метод розрахунку, не реалізується в дійсності. Деколи це відбувається через внесені зміни на етапі будівництва – застосовуються труби з інших матеріалів, змінюється положення окремих елементів системи, використовується насосне обладнання з близькими (а не заданими) характеристиками, або експлуатації – здійснюється ремонт, замінв елементів. Для напірних систем, де значення напорів суттєві й складають десятки метрів водного стовпа, невеликі зміни, внесені у конструкцію системи, можуть й не відбиватись помітно на роботі системи в цілому, але у випадку, коли значення напорів незначні й перебувають на межі значень, за яких система ще може працювати взагалі – наслідки внесення навіть невеликих змін можуть бути суттєві. У минулі роки проектування мереж водопостачання виконувалося з позицій "економічного" діаметру [7]. Рядом дослідників показано, що у сучасних умовах при проектуванні нових систем треба враховувати економічну ситуацію у державі та постійний зріст витрат під час експлуатації мережі [8].

Відомі методи розрахунку напірно-безнапірного режиму руху потоків у мережах водовідведення [9], але в цих випадках розглядається ситуація появи напірного режиму на деяких ділянках безнапірної мережі внаслідок зміни навантаження порівняно з розрахунковим в процесі експлуатації мережі.

Для систем господарсько-питного водопостачання з урахуванням вимог щодо якості води режим руху напірний, але якщо мова йде про системи водопостачання які використовуються для поливу та технічних потреб, які крім цього можуть працювати періодично умова напірного режиму не буду обов'язковою. Така ситуація характерна наприклад для систем водопостачання зрошувальних систем, садових товариств. Такі системи можна класифікувати як нецентралізовані поливальні або сільськогосподарські [10].

Основне зауваження або незадоволення щодо нормального функціонування систем часто полягає у тому, що не забезпечується рівномірна подача води до всіх точок водовідбору. У випадку поливних систем це призводить до нерівномірного зволоження ґрунту, а відповідно – д нерівномірного визрівання сільгоспкультур, у випадку водопостачання, наприклад, садових товариств – до нерівномірного розподілу води між окремими користувачами.

Можна досягти рівномірного відбору у різних точках шляхом почергового користування за графіком, але в умовах коли користувачів значна кількість і це є різні фізичні та юридичні особи досягти певного результату дуже складно, а частіше просто неможливо. В таких випадках рівномірність подачі води у всіх точках повинна забезпечуватись за рахунок конструкції системи й не залежати від дій окремих користувачів. У випадку напірних систем ця проблема розв'язується шляхом регулювання витрат за рахунок відповідних опорів у точках водовідбору – втрати напору за рахунок додаткових опорів несуттєві порівняно з значеннями напорів у мережі. Ситуацію ускладнюється якщо точки водовідбору розташовані на значній відстані та на різних відмітках. Малі значеннях напору в системі та великі перепади відміток – більше ніж 10 м – різних частин системи за умов одночасної роботи усіх точок водовідбору, взагалі роблять відбір води у деяких точках взагалі неможливий.

Це може відбуватися через те що витрата, що забезпечується різницею напорів (позначок) в окремих нижче розташованих точках системи (вузол 6 на рис.2) виявляється більшою ніж витрата на попередніх ділянках, і величина цієї витрати забезпечується наявною різницею напорів на початку та в кінці ділянки (ділянка 4-5).

Зважаючи на відносну велику протяжність систем водопостачання їх відносять до *довгих* трубопроводів, тобто втрати напору на місцеві опори враховують як відсоток від втрат по довжині або взагалі нехтують ними – вважають, що вони надто малі. У випадку розрахунку наприклад водопровідних мереж населених пунктів, промпідприємств такий підхід повністю виправданий. Але з огляду на те, що напір в системі, що розглядається малий, то й врахування цих "незначних" втрат може впливати на результати розрахунку при проектуванні, реконструкції або автоматизації системи для забезпечення її нормального (або хоча б задовільного) функціонування.

Реалії сучасного життя такі, що особливістю систем, які використовуються протягом року деякий проміжок часу – поливні системи, системи садових товариств є те що тривалий час знаходяться без належного нагляду й можуть бути зруйновані та розкрадені. Це стосується як крупних зрошувальних систем так й малих Через це їх намагаються максимально здешевити шляхом спрощення конструкції. Таке спрощення може дещо ускладнювати задачу забезпечення нормального функціонування систем але, з іншого боку спрощення зменшує величину втрат напору в системі.

З метою здешевлення будівництва з огляду на використання тільки у теплий період року глибина закладання трубопроводів невелика (менше глибини промерзання). Для будівництва використовуються поліетиленові труб відносно невеликих діаметрів (до 100 мм) які постачаються виробником в бухтах. При укладанні таких труб не завжди належна увага надається прямолінійності ділянок та надання їм потрібного уклону –ділянки трубопроводу не є прямолінійними й ділянки мережі можуть мати як прямий так й зворотний уклон.

Гідравлічний розрахунок мереж водопостачання полягає у визначені діаметрів ділянок трубопроводу в залежності від розрахункових витрат на них. Розрахункові витрати визначаються в залежності від потреб споживачів. У випадку обмеженої продуктивності джерела водопостачання (дебіту свердловини або характеристик насоса) величина розрахункової витрати буде визначатися продуктивністю джерела та об'ємом регулювальної ємності. На рис. 1 наведено приклад схеми водопровідної системи.

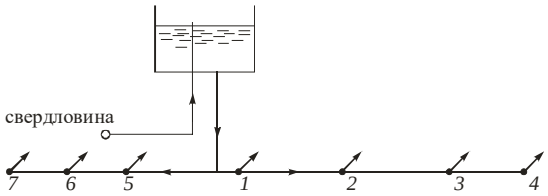

Рис. 1. Схема водопровідної системи

За такої схеми приєднання регулювальної ємності рівень води у ємності не впливає на роботу свердловини (насосної установки), що забезпечує її незмінний режим роботи (за умови незмінного рівня води у свердловині) й дозволяє без використання запірної арматури виконувати ремонтні роботи на подавальному трубопроводі без спорожнення ємності. Відсутність будь-яких додаткових пристроїв (водомірний вузол) спрощує систему та зменшує втрати напору у подавальному трубопроводі.

Також така схема забезпечує залежність характеристик роботи водорозбірної мережі лише від рівня води у регулювальній ємності й не залежність від роботи насосної установки. Часто форма та розміри регулювальної ємності обумовлюють змінення напору на початку водорозбірної мережі у невеликих межах – 2…3 м.

Звісно можна виправити ситуацію нестачі напору за рахунок змінення висотного розташування та об'єму регулювальної ємності, але такий захід може виявитись надто дорогим або технічно нездійсненним з різних причин. Застосування насосного обладнання та баків акумуляторів

також не є прийнятним варіантом через ціну та необхідність догляду та охорони.

Задача розрахунку та проектування означених низьконапірних систем не є проблемою водоканалів великих міст або населених пунктів і в той самий час є достатньо актуальною для таких користувачів як садові товариства. малі сільгосппідприємства.

Метою роботи є розробка методики розрахунку низьконапірних систем водопостачання, в яких на окремих ділянках за певних умов роботи може спостерігатися напірно-безнапірний режим роботи

Виклад основних матеріалів. дослідження. Для забезпечення водою кожного споживача – забезпечувати певне значення напору у всіх точках водовідбору, потрібно підтримувати у водопровідній мережі напірного режиму руху на всіх без виключення ділянках. У всіх точках водовідбору повинен забезпечуватись надлишковий п'єзометричний напір (лінія *а* на рис. 2).

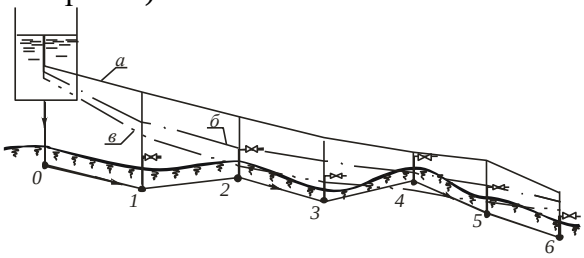

Рис. 2. П'єзометричні лінії при різних режимах роботи мережі
1…6 – точки водовідбору (розрахункові вузли).

Водопровідна мережа може складатися з ділянок різного діаметру та різної довжини. Відбір води в точках водовідбору може здійснюватись нерівномірно тому можливі будь-які варіанти розподілу напорів по вузлах мережі. На рисунку 2 показано ряд п'єзометричних ліній які мають якісний характер. У випадку розподілу напорів за варіантом *а* у всіх точках є можливим відбір води але з різними витратами – відповідними до значень напорів. Як це можна побачити з рисунка умови у різних вузлах суттєво відрізняються. За умови відбору з мережі користувачами значних об'ємів води п'єзометрична лінія може зайняти одне з багатьох можливих положень. Розглянемо варіанти п'єзоліній *б* та *в* зображені на рисунку 2.. У випадку варіанта *б* у всіх вузлах зберігається напірний режим руху, але в деяких надлишковий напір близький до нуля (вузли 2, 5), а в деяких – від'ємний (вузол 4), що унеможливлює водовідбір у цих вузлах. У випадку варіанта *в* ситуація погіршується, тобто напори знижуються до таких значень, що крім неможливості відбору води у деяких вузлах на певних ділянках може спостерігатися безнапірний режим руху або ці ділянки будуть працювати як сифонні трубопроводи. В такому разі при розрахунках та проектуванні подібних мереж слід враховувати й такі варіанти роботи мережі, тобто не можна вважати режим роботи подібних систем виключно напірним.

Порядок розрахунку сифонних трубопроводів наведений у навчальній та довідниковій літературі [2-6]. Деякі дослідники звертають увагу на недосконаліть такого підходу й звертають увагу на необхідність враховувати геодезичні умови прокладання сифонних трубопроводів [11]. Але у зазначених випадках розглядається окремий сифонний трубопровід, тому в нашому випадку будемо розглядати ситуацію утворення на деяких ділянках безнапірного режиму.

В якості розрахункової розглянемо схему, зображену на рисунку 2, де мережа складається з однієї тупикової гілки, але мережа може складатися з двох (рис. 1) або більшої кількості тупикових ділянок. Для розрахунку подібних систем потрібно сумісно розв'язувати рівняння (1) – (5)

$$Q_{i+1}^{шл} = Q_i^{шл} + Q_i^{вузл}; \quad (1)$$

$$Q_i^{вузл} = \mu\omega\sqrt{2gH_{B,i}}; \quad (2)$$

$$H_i = H_{i-1} - \Delta h_i; \quad (3)$$

$$\Delta h_i = S_{0,i}\ell Q_i^{шл} k; \quad (4)$$

$$H_{B,i} = H_i - z_i - a. \quad (5)$$

де $Q_i^{шл}$ – шляхова витрата на і-й ділянці мережі; $Q_i^{вузл}$ – вузлова витрата в *i*-м вузлі; H_i – напір у відповідному вузлі; $H_{B,\,i}$ – вільний напір у відповідному вузлі; Δh_i – втрати напору на ділянці; S_0 – питомий опір трубопроводу; k – поправковий коефіцієнт; μ – коефіцієнт витрати, який повинен враховувати усі місцеві опори вузла – точки водовідбору, z_i – позначка землі у

вузлі; z_{Ti} – позначка труби у вузлі; a – перевищення точки водовідбору над поверхнею землі (рис. 3). Номер вузла i співпадає з номером ділянки, що передує цьому вузлу.

Така систему можна розв'язати послідовним наближеннями з перевіркою на кожному кроці чи виконується умова напірного руху на ділянках трубопроводу, які мають прямий уклон. Для цього попередньо слід визначити максимальну витрату, яка може бути визначена як витрата у випадку безнапірного рівномірного сталого руху при транспортуванні води повним перерізом труби за формулою Щезі:

$$Q = \omega C\sqrt{RJ}, \quad (6)$$

де ω – площина внутрішнього перерізу труби, C – коефіцієнт Шезі; R – гідравлічний радіус; J – гідравлічний уклон.

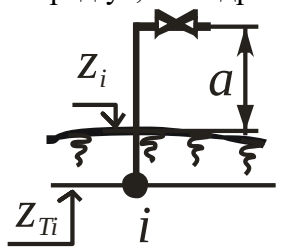

Рис. 3. Схема вузла водовідбору

Для випадку круглоциліндричних труб формула (6) набуває такого вигляду:

$$Q = \frac{\pi}{8} d^{2,5} C\sqrt{J}. \quad (7)$$

де C – коефіцієнт Шезі, який пов'язаний з питомим опором трубопроводу S_0 співвідношенням.

$$C = \frac{0,25}{\sqrt{S_0 R\pi}}. \quad (8)$$

Про наявність безнапірного руху на ділянці трубопроводу будуть свідчити значення напорів менші за значення позначок трубопроводу у вузлах. У випадку, якщо напір у вузлі стає меншим за значення відмітки точки водовідбору $(z_i + a)$ – відбір у цьому вузді стає неможливим. Розв'язання вищезазначеної системи рівнянь слід виконувати для різних граничних умов: відбір здійснюється у всіх вузлах; відбір здійснюється у певних вузлах.

Результатами розрахунку будуть відомості про значення мінімальних діаметрів ділянок трубопроводів необхідних для забезпечення рівномірної подачі води у всі точки водовідбору або визначення вузлів в яких одночасно може здійснюватись однаковий водовідбір. При цьому усі рішення повинні бути реалізовані без застосування додаткового коштовного обладнання (насосів. баків-акумуляторів, складних систем автоматизації), так як усі водопровідні мережі зазначені вище характеризуються суттєвою протяжністю та відносно невеликою кількістю користувачів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Орлов В.О., Тугай Я.А., Орлова А.М. Водопостачання та водовідведення: підручник. К.: Знання, 2011. 359 с.
2. Константінов Ю.М., Гіжа О.О. Технічна механіка рідини і газу: підручник. К.: Вища школа, 2002. 277 с.
3. Константінов Ю.М., Гіжа О.О. Інженерна гідравліка: підручник. К.: Вища школа, 2004. 432 с.
4. Большаков В.А., Константинов Ю.М., Попов В.И. и др. Справочник по гидравлике. 2-е изд. К.: Вища школа, 1984. 280 с.
5. Справочник по гидравлическим расчетам / Под ред. П.Г. Киселева. Изд. 5-е. М.: «Энергия», 1974. 312 с.
6. Альтшуль А.Д., Калицун В.И., Майранев-ский Ф.Г., Польгунов П.П. Примеры расчетов по гидравлике: учебное пособие для вузов / Под ред. А.Д. Альтшуля М.: Стройиздат, 1977. 255с.
7. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. М.: Стройиздат, 1984. 116 с.
8. Коноз С.В., Сироватський О.А., Фірман В.М. Техніко-економічний розрахунок напірних поліетиленових, сталевих та чавунних трубопроводів. *Науковий вісник будівництва*. 2016. Т.86. №4. С.239- 242.
9. Чупин Р.В. Разработка методов расчета напорно-безнапорных режимов движения стоков в системах водотведения: автореф. дис. … канд. техн. наук. 05.23.04. Иркутск, 2010. 20 с.
10. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання Зовнішні мережі та споруди. [Чинний від 2014-011-01]. Київ: Мінрегіон України 2013. 180 с.
11. Деньгуб В.І. Вплив геодезичних умов прокладання сифонних трубопроводів на метод їх розрахунку та пропускну

продуктивність. *Науковий вісник будівництва*. 2016. Вип. 85. С.168-171.

Рязанцев А.И. РАСЧЕТ НИЗКОНАПОРНОЙ ВОДОПРОВОЛНОЙ СЕТИ. В работе рассматриваются проблемы неравномерности распределения воды между точками водоразбора низконапорных систем водоснабжения, которыми являются нецентрализованные поливные или сельскохозяйственные системы водоснабжения, предложена методика расчета таких систем с учетом возможности образования на разных участках сети напорного или безнапорного режимов движения воды.
Ключевые слова: низконапорная система во напора.

Riazantsev O.I. CALCULATION OF LOW-PRESSURE WATER SUPPLY SYSTEM. The paper discusses the problems of irregularity of distribution of water between points of water pumping in low-pressure water supply networks (non-centralized irrigation or agricultural water supply systems), suggests a method for calculating such systems, taking into account the possibility of generating pressure or non-pressure water flow patterns in different parts of the water pipes network.
Key words: low pressure water supply system, movement mode, pressure loss.

DOI: 10.29295/2311–7257–2019–96–2–322–328
УДК 697.4

Болотских Н.Н., Болотских Н.С.
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры (ул. Сумская, 40, Харьков, 61002, Украина; e-mail: tgvtver@gmail.com; orcid.org/000-0002-7756-6550, orcid.org/000-0003-0756-7264)

ИНДУКТИВНО-РЕЗИСТИВНЫЕ СИСТЕМЫ КАБЕЛЬНОГО ОБОГРЕВА ТРУБОПРОВОДОВ БОЛЬШОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

Приведены краткий анализ и классификация электрических нагревательных кабелей, описаны технология и технические средства наиболее современных индуктивно-резистивных систем кабельного обогрева протяженных трубопроводов различного назначении, даны рекомендации по их дальнейшему эффективному применению.
Ключевые слова: нагревательный кабель, обогрев трубопроводов, индуктивно- резистивные системы, СКИН-системы.

Введение. На мировых рынках системы обогрева с использованием электрических нагревательных кабелей появились сравнительно недавно. Но несмотря на это они уже успели приобрести широкую популярность и сферу использования.

Основными элементами таких систем являются нагревательные кабели, преобразующие электрическую энергию в тепловую. Эти кабели представляют собой не линии для передачи электрической энергии на расстояние, а нагревательные элементы. Системы, в которых используются нагревательные кабели, безусловно, отличаются друг от друга по назначению, устройству, размерам, рабочей температуре, тепловой мощности и другим параметрам. Область их применения на практике достаточно широка. Их в холодные периоды года используют для:

- обогрева различных помещений; борьбы с обледенением крыш, лестниц, тротуаров и пандусов, поверхностей открытых спортивных сооружений, шоссе и взлетных полос [1];
- полной или частичной компенсации тепловых потерь с целью обеспечения стабильного протекания технологических процессов [2] в самых разных сферах промышленности, телекоммуникаций и производства;
- обогрева резервуаров и трубопроводов с целью предотвращения замерзания в них различных жидкостей или поддержания необходимой температуры [3-6];