

Матяш О.В., к.т.н., доцент  
Новохатний В.Г., д.т.н., професор  
Костенко С.О., асистент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

## АНАЛІЗ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ДІЮЧОЇ ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ

*Проаналізовано роботу окремої зони системи водопостачання м. Полтава в сучасних умовах, а саме для фактичного водоспоживання. На основі отриманих даних служби обліку й реалізації води щодо промислових та інших підприємств і різних житлових районів міста розраховано максимальне, мінімальне та середньодобове водоспоживання. Після виконаних розрахунків побудовано графік водоспоживання для доби максимального водоспоживання. З метою моделювання роботи окремої зони системи водопостачання міста побудовано «дерево» мережі та проведено на ЕОМ гідравлічний розрахунок подавально-розподільного комплексу для таких періодів: максимальний водорозбір; максимальний водорозбір і пожежа. Для візуального відтворення отриманих результатів розрахунку побудовано п'єзометричні карти. На основі аналізу гідравлічних розрахунків зроблено висновки та розроблено рекомендації щодо оптимізації варіантної реконструкції окремої зони системи водопостачання досліджуваного міста.*

**Ключові слова:** водопровідна мережа, гідравлічний розрахунок, водоспоживання, потокорозподіл, максимальний водорозбір, диктувальний споживач.

Матяш А.В., к.т.н., доцент  
Новохатний В.Г., д.т.н., професор  
Костенко С.А., асистент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

## АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

*Проанализирована работа отдельной зоны системы водоснабжения г. Полтава в современных условиях, а именно для фактического водопотребления. На основе полученных данных службы учета и реализации воды для промышленных и других предприятий и различных жилых районов города вычислено максимальное, минимальное и среднесуточное водопотребление. После выполненных расчетов построен график водопотребления для суток максимального водопотребления. С целью моделирования работы отдельной зоны системы водоснабжения города построено «дерево» сети и проведен на ЭВМ гидравлический расчет подающе-распределительного комплекса для следующих периодов: максимальный водоразбор; максимальный водоразбор и пожар. Для визуального воспроизведения полученных результатов расчета построены пьезометрические карты. На основе анализа гидравлических расчетов сделаны выводы и разработаны рекомендации по оптимизации вариантной реконструкции отдельной зоны системы водоснабжения исследуемого города.*

**Ключевые слова:** водопроводная сеть, гидравлический расчет, водопотребление, потокораспределение, максимальный водоразбор, диктующий потребитель.

## **ANALYSIS OF FLOW CAPACITY OF THE WORKING WATER SUPPLY SYSTEM**

*We have defined the limits of influence of each of the five water supply intakes on the basis of detailed analysis of work of the water supply system of Poltava city. We have determined the factual water consumption of Poltava of the area of influence of water supply intakes No. 2 and No. 4. We have calculated maximum, minimum and average daily water consumption on the basis of the obtained data of the service of accounting and realization of water in relation to industrial and other enterprises and different residential areas of the city.*

*We have calculated the key water intakes in different points of the system with the purpose of determination of the real load flow in the water supply system of the area of influence of water supply intakes No. 2 and No. 4. We have proposed to develop the equivalent mathematical model of the supply and distribution complex in a number of stages and described in details each of the stages.*

*For the purpose of modeling of work of the separate area of the water supply system of Poltava we have built the tree diagram of the system and carried out the computer based hydraulic calculation of the supply and distribution complex for the following periods: maximum water consumption; maximum water consumption and at the time of fire-fighting operation;*

*For the hydraulic calculation we have used «Hidro» software application and filled in four output files in «Notepad» text editor: file «General data», file «Pump stations», file «Circles description» and file «Areas». Results of the calculation are shown in two files of «Notepad» text editor: file «Results» and file «Results 2».*

*As a result of the mathematical modeling of work of the water supply system of the separate area of Poltava we have carried out the hydraulic correlation of system of the supply and distribution complex for the stated periods, defined the overloaded points of the water supply system, found the location of the the most distant consumer, calculated the water flow rate in water supply lines and carried out comparative analysis of the designed and factual flow rates at the control points of the system for the purpose of determination of conformity of the performed modeling of work of the water supply system in “Hidro” software application. We have drawn the corresponding conclusions and recommendations for each of the variants.*

*Visual reproduction of the obtained results is made in the form of piezometer charts built in «KOMPAS-3D V15» CAD system. The piezometer charts are built on the schema of the main water supply network at a scale of 1:20000. The results of the hydraulic calculation of the supply and distribution complex of the area of water supply intakes No. 2 and No. 4 of Poltava are presented in the one of piezometer charts for the periods – maximum water consumption.*

*On the basis of the analysis of the hydraulic calculation and the presented piezometer charts we have drawn general conclusions and recommendations for optimization of optional reconstruction of the separate area of the water supply system of Poltava.*

**Keyword:** *water consumption, hydraulic calculation, load flow, maximum water consumption, the most distant consumer.*

**Вступ.** Подавально-розподільний комплекс (ПРК) систем водопостачання – це складна структура, яка поєднує ряд взаємодіючих споруд (водозабір, насосні станції 1-го та 2-го підняття, водогони й систему трубопроводів). Ефективне функціонування ПРК систем водопостачання залежить перш за все від надійної роботи її окремих елементів і дії зовнішніх факторів: погодних умов, геологічної та гідрогеологічної структури ґрунту, професіоналізму обслуговуючого персоналу й інших обставин. Перелічені аспекти безпосередньо впливають на працездатність системи водопостачання та задоволення потреб у воді населення відповідно до нормативних вимог. Зважаючи на складність процесу функціонування ПРК слід постійно виконувати відповідні дослідження з метою подальшої реконструкції та оптимізації як окремих споруд, так і системи водопостачання у цілому.

**Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій.** Питання гідравлічних розрахунків водопровідних мереж досліджувалися ще на початку 30-х рр. ХХ століття. Фундатори в галузі водопостачання – В.Г. Лобачов, М.М. Андріяшев, М.М. Абрамов, Л.Ф. Мошнін, Ф.О. Шевельов, О.О. Білан, Х. Кросс та інші [1 – 8] – практично повністю розв’язали проблему створення теоретичних методів саме гідравлічних розрахунків водопровідних мереж для систем водопостачання населених пунктів і промислових об’єктів.

Професор В.Г. Лобачов запропонував [1] цей метод у 1934 р., а 1936 р. американець, професор будівельної механіки Харді Кросс (Hardy Cross) цілком незалежно запропонував такий самий метод для гідравлічного розрахунку мереж будь-якого призначення [2]. Як пише М.М. Абрамов [3], обсяг статті Х. Кросса всього майже один друкований аркуш, а про неї написано не одну сотню друкованих аркушів іншими авторами. Професор В.Г. Лобачов у своїй книзі [4], на відміну від професора Х. Кросса, навів систему лінійних рівнянь для знаходження поплавкових витрат води в мережі з кількома кільцями, тобто він математично обґрунтував метод гідравлічної ув’язки, хоча на практиці обидва методи повністю збігаються. Тому американці називають цей метод методом Кросса, у вітчизняній практиці його називають методом Лобачова, а інколи, щоб підкреслити ідентичність методів, – методом Лобачова – Кросса. Метод Лобачова вирізняється тільки формою записів – вони ведуться в табличній формі. Для методу Лобачова – Кросса характерне те, що всі кільця мережі ув’язуються паралельно. При цьому поправкові витрати води, отримані при попередньому поточкорозподілі, вносяться до всіх кілець одночасно для виконання розрахунків 1-го і наступних турів. Оскільки при виведенні формули поправкової витрати води зроблено ряд припущень, ув’язка за методом Лобачова йде повільно (інколи процес може навіть розбігатися). Але його перевага в тому, що він побудований за чітким алгоритмом. Тому цей метод набув широкого практичного використання, особливо із застосуванням ЕОМ різного типу. Він покладений в основу більшості алгоритмів для складання програм розрахунку водопровідних мереж на ПЕОМ. Із плином часу з’явилося багато його модифікацій і деякі з них запроваджено в практику. Так, ряд авторів пропонує вносити поправки не в усі кільця одночасно, а в кільце з найбільшою нев’язкою. У цьому разі процес ув’язки кільцевої мережі збігається завжди, що важливо для економії машинного часу. Ще раніше, в 1932 р., коли не було розроблено жодних теоретичних основ гідравлічної ув’язки кільцевої мережі, М.М. Андріяшев розробив [5] метод ручної ув’язки. Щоб прискорити процес ув’язки, він запропонував замість елементарних кілець розглядати збільшені контури, що охоплюють групи суміжних елементарних кілець з нев’язками однакового знака. Але метод не став розповсюдженим за відсутності чіткого алгоритму. Професор Л.Ф. Мошнін розробив метод техніко-економічного розрахунку кільцевих водопровідних мереж [6], який опосередковано враховує надійність. Він достатньо трудомісткий, а тому також не набув практичного

поширення. Зазвичай на практиці фахівці з водопостачання враховують умови надійності шляхом резервування магістралей, а діаметри труб призначають за допомогою таблиць Ф.О. Шевельова [7]. Свої методи гідравлічної ув'язки кільцевих водопровідних мереж пропонували автори, серед яких і професор О.О. Білан [8], а математичним питанням моделювання поточкорозподілу у водопровідних мережах присвячені роботи харківської школи професора А.Г. Євдокімова [9].

Продовжують активні дослідження у напрямі вдосконалення розрахунків водопровідних мереж вітчизняні професори П.Д. Хоружий, О.А. Ткачук, А.М. Тугай, В.О. Орлов та інші [10 – 13]. Відомі дослідження з наведених питань за кордоном [14 – 16], які підтверджують актуальність розрахунків і аналізу функціонування ПРК систем водопостачання. Проте процес функціонування діючих водопровідних мереж, а точніше ПРК, достатньо складний, а тому необхідно конкретно застосовувати теоретичні методи гідравлічних розрахунків для того, щоб отримати адекватні результати.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Реконструкція та оптимізація ПРК систем водопостачання великих міст виконується, як правило, відповідно до теоретично розроблених методик. Основною проблемою при цьому є врахування індивідуальних умов функціонування ПРК, адже з плином часу водопровідні мережі, водогони і насосні станції зазнають суттєвих змін. Викликано це розвитком міст (будівництво нових житлових районів із висотними будівлями), перебудовою структури ПРК (прокладання нових ділянок та районування водопровідної мережі, влаштування підвищувальних насосних станцій), утворенням відкладень на внутрішній поверхні труб, погіршенням якості води у кінцевих (тупикових) ділянках мережі через застійні явища і т.ін. Указані обставини обумовлюють суттєві зміни в поточкорозподілі води в існуючих водопровідних мережах міста, що потребує виконання нових гідравлічних розрахунків та розроблення рекомендацій щодо оптимізації функціонування ПРК.

**Постановка завдання.** Завдання полягає у викладенні методики моделювання поточкорозподілу води у водопровідних мережах, аналізі роботи діючого ПРК і розробленні рекомендацій щодо оптимізації реконструкції окремої зони системи водопостачання міста (зона впливу водозаборів «А» та «Л»).

**Основний матеріал і результати.** Водопостачання міста Полтава здійснюється з підземних джерел з п'яти водозабірних майданчиків. Найбільш придатні для використання водоносні відкладення верхнього комплексу порід. Циркуляція підземних вод у старіших відкладеннях нижнього комплексу порід призводить до їх мінералізації й малопридатна для цілей питного водопостачання. У відкладеннях крейдяної системи виділяються два водоносних горизонти: водоносний горизонт у відкладеннях сеноманського ярусу і водоносний горизонт у відкладеннях нижньої крейди. Джерелом водопостачання міста прийняті підземні води сеноман-нижньокрейдяного водоносного горизонту. Якісна характеристика вод цього горизонту відповідає державним вимогам [17].

Вода з п'яти водозабірних майданчиків насосними станціями 2-го підняття подається водогонами в одну нитку від кожного водозабору в загальну водопровідну мережу. Магістральна водопровідна мережа міста (діаметри труб 300 мм і більше) за накресленням у плані є кільцевою з окремими відгалуженнями. Насосні станції 2-го підняття п'яти водозабірних майданчиків, водогони від водозаборів та водопровідна мережа міста утворюють ПРК.

Для поліпшення керованості ПРК системи водопостачання міста водопровідна мережа районувана шляхом відокремлення частини мереж, що прилягають відповідним водозаборам. Насосні станції 2-го підняття створюють тиск, достатній для подавання

води тільки на перші поверхи будинків. Для підняття тиску на водопровідній мережі влаштовані насосні станції 3-го підняття. Але це, по суті, підвищувальні (бустерні) насосні станції, тому що перед насосними станціями 3-го підняття потрібне влаштування резервуарів питної води з вільним дзеркалом води. Централізоване водопостачання досліджуваної частини міста здійснюється з двох водозабірних майданчиків «А» та «Л», де розміщені високопродуктивні артезіанські свердловини з насосним обладнанням, резервуари чистої води, знезаражувальні установки, насосні станції 2-го підняття.

Досліджувана частина міста має достатньо складний пересічений рельєф. Різниця геодезичних позначок між верхньою частиною (селище «Р») і нижньою частиною (селище «Я») знаходиться в межах 40 – 50 метрів. Кінцеві точки водопровідної мережі знаходяться у житловому районі «П», селищі «Р» та селищі «Ш». Висотна забудова цієї частини міста представлена 2, 5, 9, 14 поверховими будинками, що призводить до необхідності вертикального зонування.

Визначення обсягів водоспоживання виконано для зони дії водозаборів «А» і «Л» системи водопостачання міста згідно з кількістю жителів, нормами водоспоживання та показаннями лічильників води підвищувальних насосних станцій. Середньодобове водоспоживання у досліджуваній частині міста складає

$$Q_{\text{доб mid}} = 31367 \text{ м}^3/\text{добу} = 1307 \text{ м}^3/\text{год} = 363 \text{ л/с} .$$

Витрата води за добу максимального водоспоживання обчислено за формулою

$$Q_{\text{доб max}} = Q_{\text{доб mid}} K_{\text{доб max}} , \quad (1)$$

де  $K_{\text{доб max}}$  – максимальний коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання. Згідно з нормами [18]  $K_{\text{доб max}} = 1,1 \dots 1,3$ . Прийнято  $K_{\text{доб max}} = 1,2$ .

Витрата води за годину максимального водоспоживання

$$Q_{\text{год max}} = K_{\text{год max}} Q_{\text{год mid}} = K_{\text{год max}} \frac{Q_{\text{доб mid}} K_{\text{доб max}}}{24} = Q_{\text{год mid}} K_{\text{gen max}} , \quad (2)$$

де  $K_{\text{gen max}}$  – загальний максимальний коефіцієнт нерівномірності водоспоживання;  $K_{\text{год max}}$  – максимальний коефіцієнт годинної нерівномірності водоспоживання.

Відповідно до нормативного документа [18]

$$K_{\text{год max}} = \alpha_{\text{max}} \beta_{\text{max}} , \quad (3)$$

де  $\alpha_{\text{max}}$  – коефіцієнт, що враховує ступінь благоустрою будинків та інші місцеві умови;

$\beta_{\text{max}}$  – коефіцієнт, який враховує кількість жителів у населеному пункті.

Згідно з нормами [18]  $\alpha_{\text{max}} = 1,2 \dots 1,4$ . Прийнято значення  $\alpha_{\text{max}} = 1,4$ . Коефіцієнт  $\beta_{\text{max}} = 1,095$  [18].

Тоді  $K_{\text{gen max}} = 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1,095 = 1,84$ . Фактично прийнято за показами лічильників води на насосних станціях 2-го підняття  $K_{\text{gen max}} = 1,87$ . Відповідно до виконаних розрахунків, добові й годинні витрати води у зоні впливу водозаборів «А» і «Л» міста зведені в таблицю 1.

**Таблиця 1 – Добові та годинні витрати води у зоні впливу водозаборів «А» та «Л»**

№ з/п	Кількісна характеристика водоспоживання	Витрата води, м <sup>3</sup>		
		за добу	за годину	за секунду
1	Середнє водоспоживання	31367	1307	0,363
2	Максимальне водоспоживання	58832	2451	0,681

Еквівалентна математична модель ПРК включає чотири етапи.

*1-й етап.* Будується розрахункова схема діючої водопровідної мережі (для водопровідної мережі міста – це трубопроводи з умовним діаметром 200 мм і більше). На схемі показано вводи від насосних станцій 2-го підняття водозаборів «А» та «Л». Визначаються розрахункові вузлові витрати води на мережі (рис. 1). Для цього використовуються дані служби обліку й реалізації води щодо промислових та інших підприємств і різних житлових районів міста для години максимального водоспоживання.

Визначаються подачі насосних станцій 2-го підняття для години максимального водоспоживання за даними лічильників води на виході з насосних станцій. Узгоджується кількість води, що подається в мережу, з кількістю води, яка відбирається з мережі.

*2-й етап.* Будується «дерево» мережі та виконується гідравлічний розрахунок ПРК на ПЕОМ і будуються теоретичні п'езометричні карти. У цих розрахунках опори металевих труб (сталевих і чавунних) приймаються за формулами Ф.О. Шевельова [7] для ненових металічних труб. Як показує досвід експлуатації водопровідних мереж, металеві трубопроводи мають відкладення (обростання). Тому, як правило, теоретичні п'езометричні карти дещо не збігаються з фактичною картиною роботи ПРК.

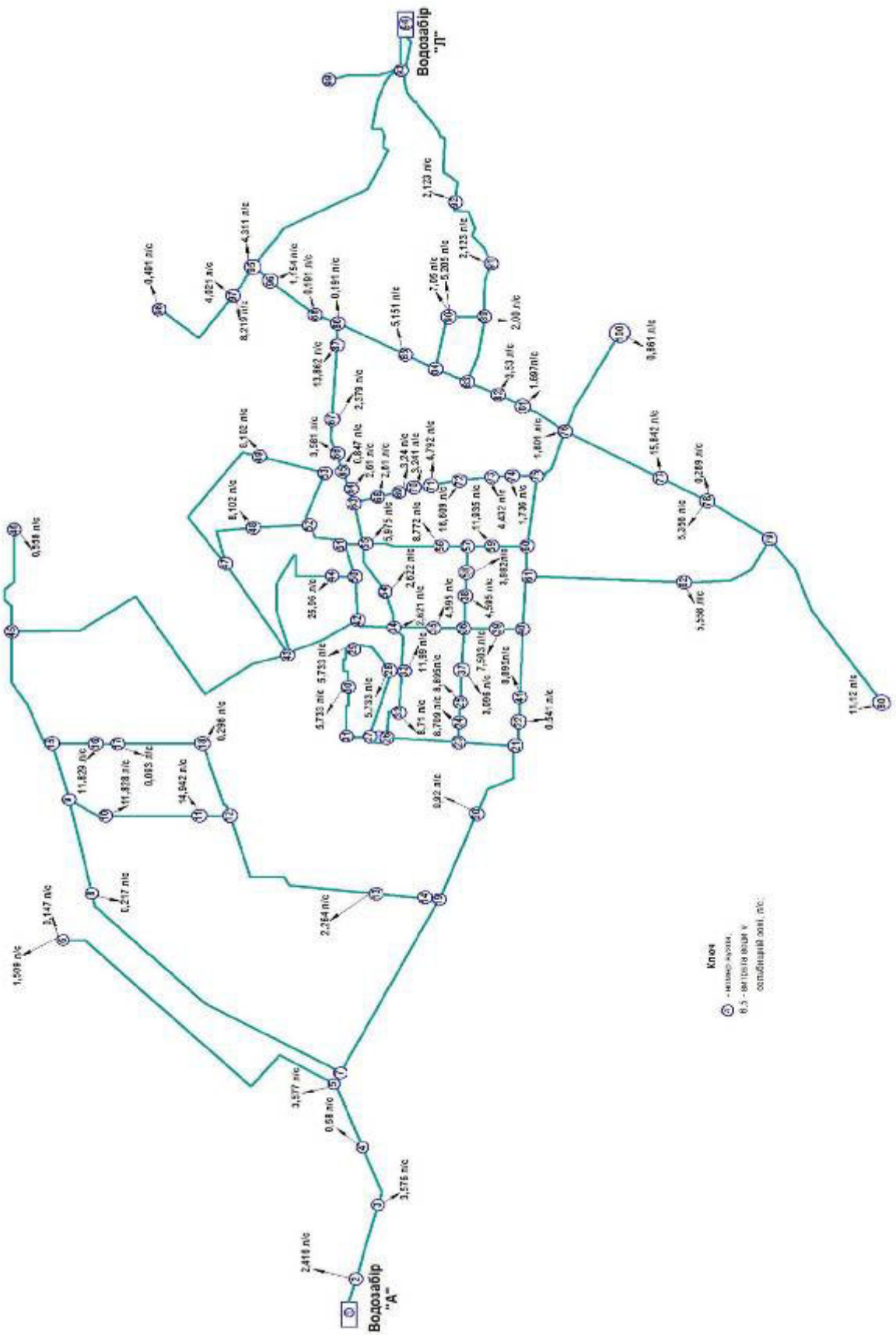
*3-й етап.* Обчислюються коефіцієнти збільшення гідравлічного опору металевих труб різного діаметра за рахунок внутрішньої корозії й утворення відкладень та знаходяться еквівалентні (зменшені) діаметри металевих труб. Виконується гідравлічний розрахунок ПРК на ПЕОМ і будуються фактичні пезометричні карти. Поетапними розрахунками отримують скориговану еквівалентну математичну модель ПРК.

*4-й етап.* Якщо потрібно, приймається рішення стосовно реконструкції окремих ділянок водопровідної мережі, виконується новий гідравлічний розрахунок, будуються й аналізуються нові п'езометричні карти. Приймається новий варіант реконструкції або розглядається наступний, і всі розрахунки повторюються доти, поки не буде вибраний її найкращий варіант. Критеріями відбору кращого варіанта приймаються пропускна здатність мережі та кошторисна вартість реконструкції.

*Період максимального водорозбору.* Виконана гідравлічна ув'язка системи подавально-розподільного комплексу на період максимального водорозбору. Подача води від водозабору «А» прийнята в розмірі 398,9 л/с, від водозабору «Л» – 281,9 л/с. Результати розрахунку наведені у табличній формі (табл. 2).

**Таблиця 2 – Порівняльні результати розрахунку для періоду максимального водорозбору**

Найменування	НС-2 водозабору «А» (точка № 1)	НС-2 водозабору «Л» (точка № 94)	Манометр 1 (точка № 41)	Манометр 2 (точка № 83)	Диктувальна точка № 77
Розрахунковий напір, м	67,2	88,6	12,0	5,33	5,15
Фактичний напір за показами манометрів, м	71,1	88,6	9,9	4,1	–
Розбіжність, м	3,9	0,0	2,1	1,23	–



**Рисунок 1 – Розрахункова схема водопровідної мережі для періоду максимального водорозбору (зони впливу водозаборів «А» та «Л»)**

*Висновки для періоду максимального водорозбору*

1. Розбіжності між розрахунковими і фактичними напорами (на НС-2 водозабору «А» 3,9 м, у контрольній точці № 41 2,1 м, у контрольній точці № 83 1,23 м незначні за абсолютною величиною, що свідчить про достатню для інженерних розрахунків точність виконаних гідравлічних розрахунків та збіжність теоретичних розрахунків і фактичних результатів.

2. Диктувальна точка знаходиться у вузлі № 77. Напір у диктувальній точці найменший з усіх вузлів та складає 5,15 м.

3. Швидкості руху води на ділянках магістральної водопровідної мережі не перевищують економічно обґрунтованих, що свідчить про достатню пропускну спроможність водопровідної мережі для періоду максимального водорозбору в разі одночасної роботи водозаборів «А» і «Л».

4. Аналіз п'єзометричної карти для періоду максимального водорозбору (рис. 2) показує, що подавально-розподільний комплекс водозаборів «А» та «Л» міста у період максимального водорозбору при одночасній роботі обох водозаборів працює у задовільному режимі.

*Період максимального водорозбору та пожежі.* Розрахункову витрату води на пожежогасіння й кількість одночасних пожеж визначено відповідно до норм [17] залежно від кількості жителів і поверховості забудови. Прийнято три одночасних пожежі, витрата води на одну пожежу  $q_{пож} = 40$  л/с. Розрахунковими місцями виникнення пожежі прийнято найбільш віддалені від водозаборів точки на водопровідній мережі зони водозаборів «А» і «Л» міста. Для розрахунку прийняті точки № 43, № 46 та № 80. Подача води від водозабору «А» прийнята в розмірі 458,9 л/с, від водозабору «Л» – 341,9 л/с. Результати розрахунку наведені у табличній формі (табл. 3).

**Таблиця 3 – Порівняльні результати розрахунку для періоду максимального водорозбору і пожежі**

Найменування	НС-2 водозабору «А» (точка № 1)	НС-2 водозабору «Л» (точка № 94)	Манометр 1 (точка № 41)	Манометр 2 (точка № 83)	Диктувальна точка № 80
Розрахунковий напір, м	81,43	100,84	19,66	12,89	10,0

*Висновки для періоду максимального водорозбору та пожежі*

1. Аналіз п'єзометричної карти для періоду максимального водорозбору і пожежі (3×40 л/с) показує, що у разі одночасної роботи водозаборів «А» та «Л» подавально-розподільного комплексу системи водопостачання міста на магістральній водопровідній мережі відсутні ділянки, які мають недостатню пропускну спроможність.

2. Диктувальна точка для цього періоду знаходиться у вузлі № 80. Напір у диктувальній точці найменший з усіх вузлів і складає 10,0 м.

3. Подавально-розподільний комплекс водозаборів «А» та «Л» міста у період максимального водорозбору й пожежі має змогу працювати без перевантажень окремих ділянок, а насосні станції 2-го підняття здатні розвинути розрахункові напори при одночасній роботі водозаборів «А» і «Л».



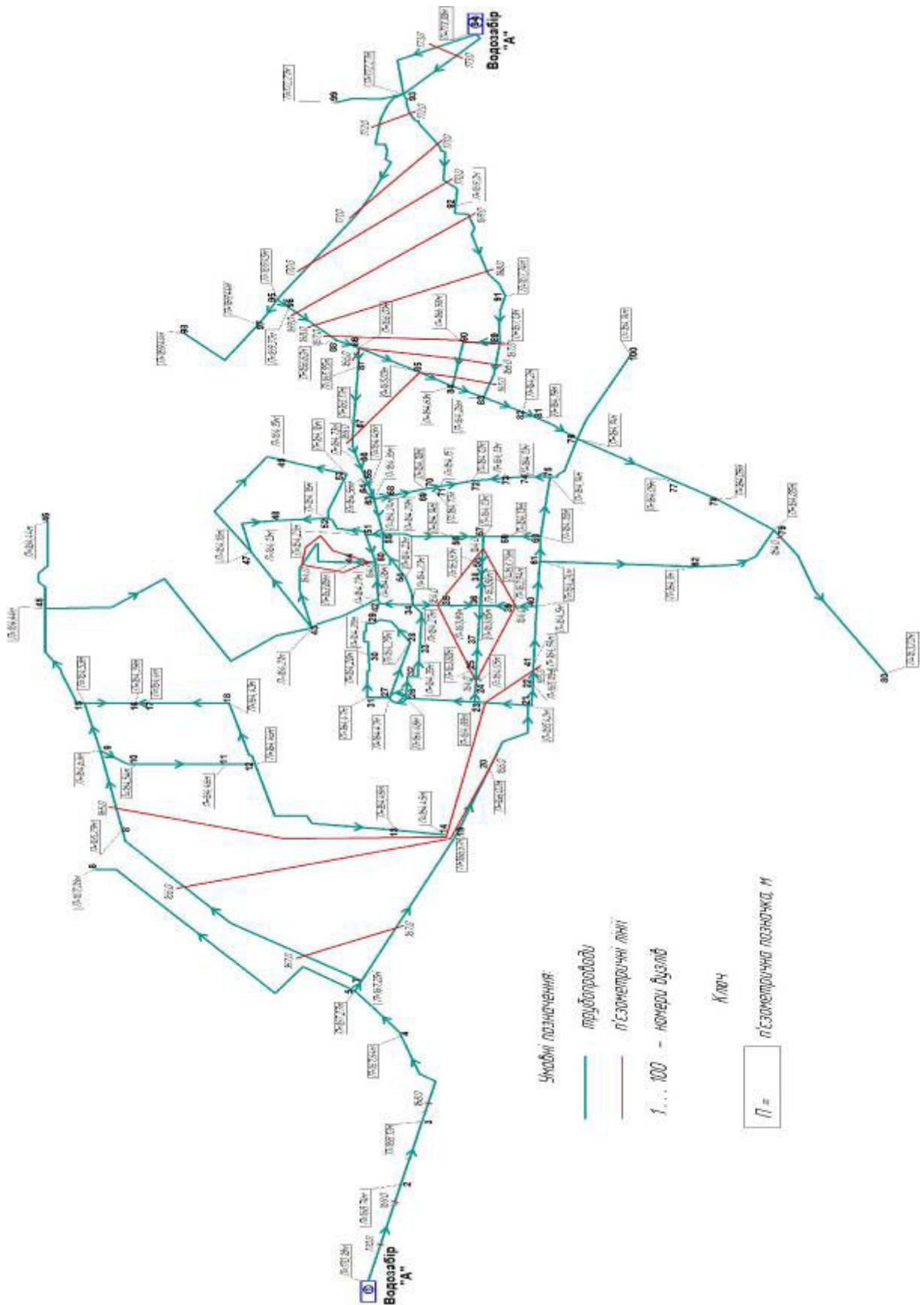


Рисунок 2 – П'єзокарта для періоду максимального водозбору (зони впливу водозаборів «А» і «Л»)

## **Висновки:**

1. Результати гідравлічних розрахунків та аналіз п'єзокарт показує, що подавально-розподільний комплекс зони водозаборів «А» та «Л» міста має значну пропускну спроможність. Викликано це тим, що основні водогони й магістральна водопровідна мережа були побудовані ще у 60 – 80-ті роки минулого століття, коли передбачалася значно більша подача води у місто. За останні 15 років така подача зменшена приблизно вдвічі без шкоди для споживачів за рахунок запровадження підвищувальних насосних станцій з регульованим приводом насосів і встановлення у квартирах лічильників води.

2. Виділення окремої зони у подавально-розподільному комплексі міста для водозаборів «Л» та «А» слід вважати доцільним як мінімум з таких причин:

- підвищилася керованість процесу подавання води в місто в зоні водозаборів «А» та «Л», тому що за рахунок відокремлення трьох інших водозаборів виникла можливість підвищення тиску води в окремих вузлах водопровідної мережі цієї зони; при одночасній роботі п'яти водозаборів на водопровідну мережу міста така можливість відсутня;

- зафіксована зона дії водозаборів надала можливість виконувати аналіз причин та пошук понаднормативних втрат води;

- значно зменшилася кількість пошкоджень як стиків, так і стінок водопровідних труб та арматури за рахунок зменшення тиску води в трубах і регульованого пуску насосів на насосних станціях 2-го підняття та запровадження підвищувальних насосних станцій, які також обладнані тиристорними перетворювачами частоти електричного струму;

- безумовно зменшилися витрати води (у тому числі приховані) у зовнішній водопровідній мережі й водогонях, зважаючи на значне зниження тиску води в трубах зовнішніх водопровідних мереж;

- підвищилась економічність системи водопостачання за рахунок зменшення затрат електроенергії на підняття води при введенні підвищувальних насосних станцій із ТПЧ.

3. На окремих ділянках спостерігаються дуже малі швидкості руху води, що може призвести до застоювання та погіршення якості води, особливо влітку, коли ґрунт і труби суттєво нагріваються від зовнішнього повітря. Тому потрібне періодичне промивання тупикових ділянок водопровідної мережі шляхом відкриття водопровідних засувок у вузлах №№ 6, 14, 46, 80, 98, 99, 100.

## **Література**

1. Лобачев В. Г. Новый метод увязки колец при расчете водопроводных сетей / В. Г. Лобачев // Санитарная техника. – 1934. – №2. – С. 8 – 12.
2. Cross H. Analysis of low in network of conduits and conductor / H. Cross // University of Illinois. – 1936. – Vol №286.
3. Абрамов Н. Н. Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды / Н. Н. Абрамов. – М. : Стройиздат, 1972. – 287 с.
4. Лобачев В. Г. Вопросы рационализации расчетов водопроводных сетей / В. Г. Лобачев. – М. : ОНТИ, 1936.
5. Андрияшев М. М. Техника расчета водопроводных сетей / М. М. Андрияшев. – М. : Сов. законодательство, 1932.
6. Мошнин Л. Ф. Методы технико-экономического расчета водопроводных сетей / Л. Ф. Мошнин. – М. : Госстройиздат, 1950. – 143 с.

7. Шевелев Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. – М. : Стройиздат, 1984. – 116 с.
8. Белан А. Е. Проектирование и расчет устройств водоснабжения / А. Е. Белан, П. Д. Хоружий. – К. : Будівельник, 1981. – 192 с.
9. Евдокимов А. Г. Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях / А. Г. Евдокимов, А. Д. Тевяшев, В. В. Дубровский. – М. : Стройиздат, 1990. – 368 с.
10. Хоружий П. Д. Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П. Д. Хоружий, Т. П. Хомутецька, В. П. Хоружий. – К. : Аграрна наука, 2008. – 534 с.
11. Ткачук О. А. Удосконалення систем подачі та розподілення води населених пунктів / О. А. Ткачук. – Рівне : НУВГП, 2008. – 301 с.
12. Тугай А. М. Водопостачання / А. М. Тугай, В. О. Орлов. – К. : Знання, 2009. – 735 с.
13. Новохатній В. Г. Топологічні аспекти надійності трубопроводних мереж / В. Г. Новохатній // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава : ПолтНТУ, 2015. – Вип. 1(43). – С. 112 – 121.
14. Swamee P. K. Design of water supply pipe networks / P. K. Swamee, A. K. Sharma. – New Jersey; Wiley Interscience, 2008. – 347 p.
15. Wagner J. M. Water distribution reliability; analytical methods [Electronic resource] / J. M. Wagner, U. Shamir, D. H. Marks // J. of the Water Resources Planning and Management Division. – 114(3). – P. 253 – 275. – Mode of access: <http://shamir.net.technion.ac.il/files/2012/04/1996-Risk-and-Reliability-in-Water-Resources-Management.pdf>.
16. Wagner J. M. Water Distribution Reliability: Simulation Methods. Head Driven Simulation of Water Supply Networks [Electronic resource] / J. M. Wagner, U. Shamir, D. H. Marks // J. IJE Transactions A : Basics., 15 (2002). – P. 11 – 22. Mode of access: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814026423>
17. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні правила і норми «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». – К. : Міністерство охорони здоров'я України, 2010. – 30 с.
18. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – К. : Мінрегіон України, 2013. – 180 с.

© Матяш О.В., Новохатній В.Г., Костенко С.О.  
Надійшла до редакції 24.03.2016