

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНИ
КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**


КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

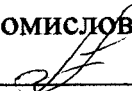
магістра

на тему: **«ОЦІНКА ВПЛИВУ УМОВ ВОДОСПОЖИВАННЯ НА
ДИНАМІКУ ВУЗЛОВИХ НАПОРІВ»**

Виконала: магістрант(ка) 2 курсу, група 8.1922-вв-3
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньо-професійної програми «Водопостачання та
водовідведення»

БРАЖНИЙ ДЕНИС ВІКТОРОВИЧ

Керівник: доцент кафедри міського будівництва і
архітектури, канд. техн. наук  В.О. Савін

Рецензент: професор кафедри промислового та цивільно-
го будівництва, докт. техн. наук  В. А. Банах

Запоріжжя
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма водопостачання та водовідведення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри



« 03 » травня 20 23 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Бражному Денису Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: Оцінка впливу умов водоспоживання на динаміку вузлових напорів

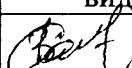

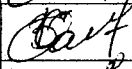

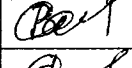

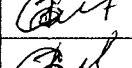

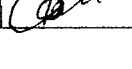

2. Строк подання роботи: 05.12.2023

3. Вихідні дані до роботи: схема кільцевої водопровідної мережі із 14 контурів, 32 вузлів та 45 ділянок продуктивністю 24000 м³/добу, мета роботи, об'єкт досліджень, предмет досліджень, очікувані методи виконання досліджень

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1. Характеристика функціонування водопровідних мереж. 1.1 Основні показники функціонування водопровідних мереж. 1.2 Сучасні методи контролю водорозподілу в мережах. 1.3 Основні напрями регулювання водорозподілу в мережах. 1.4 Методи контролю поточкорозподілу. 1.5 Загальні висновки та постановка мети досліджень. 2 Дослідження впливу розміщення підживлювачів на гідравлічні характеристики мережі. 2.1 Аналіз гідравлічного розрахунку водопровідних мереж. 2.2 Методика проведення дослідження впливу розміщення підживлювачів на гідравлічні характеристики мережі. 2.3. Дослідження гідравлічних характеристик мережі при зміні розміщення підживлювача. 2.4 Дослідження гідравлічних характеристик мережі за зміни кількості водоживильників. 2.5 Аналіз розподілу вузлових тисків при зміні кількості та розміщення водоживильників. 2.6 Розрахунок площі зон недостатніх напорів для різних варіантів живлення мережі. 2.7 Порівняльна характеристика зміни напорів у мережі. 3 Порівняльна характеристика щодо витрати електроенергії при різних варіантах розміщення водоспоживачів. Висновки.....

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. П'єзометричні карти без зміни вузлових відборів. 2. П'єзометричні карти з
урахуванням зміни вузлових відборів. 3. П'єзометричні лінії для схеми мережі
з одним підживлювачем. 4. П'єзометричні лінії для схеми мережі при зміні
розташування одного живлюча. 5. П'єзометричні лінії для схеми мережі при
зміні кількості живлювачів. 6. П'єзометричні лінії для схеми мережі без
зміни кількості та розташування живлювачів. 7. П'єзометричні лінії для
схеми мережі за результатами досліджень. 8. Результати досліджень:
зміни витрат електроенергії.


6. Консультанти розділів роботи

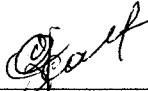
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Савін В.О., к.т.н., доцент		
2	Савін В.О., к.т.н., доцент		
3	Савін В.О., к.т.н., доцент		
4	Савін В.О., к.т.н., доцент		
5	Савін В.О., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Виконання	Примітка
1	1. Характеристика функціонування водопровідних мереж. Лист 1.	10.10.23	
2	2 Дослідження впливу розміщення підживлювачів на гідравлічні характеристики мережі. Лист 2-3.	15.10.23	
3	3 Порівняльна характеристика щодо витрати електроенергії при різних варіантах розміщення водоспоживачів. Лист 4.	10.11.23	
4	Листи 5, 6.	15.11.23	
5	Листи 7,8.	26.11.23	
6	Презентація кваліфікаційної роботи.	11.12.23	

Студент  Д.В. Бражний
 (підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи  В.О. Савін
 (підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  І.В. Гребенюк
 (підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра «Оцінка впливу умов водоспоживання на динаміку вузлових напорів»: 67 сторінок., 17 таблиць 29 джерел, 1 додаток.

Ключові слова: СИСТЕМА ПОДАЧІ ТА РОЗПОДІЛУ ВОДИ; ВУЗЛОВІ ТИСКИ, ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, СТРУКТУРА ВОДОРозБОРУ; КІЛЬКІСТЬ ПІДЖИВЛЮВАЧІВ; РЕЖИМИ РОБОТИ.

Об'єкт дослідження – кільцева водопровідна мережа із 14 контурів, 32 вузлів та 45 ділянок продуктивністю 24000 м³/добу.

Предмет дослідження – гідравлічні режими роботи мережі при зміні умов водоспоживання.

Мета роботи – дослідження впливу умов водоспоживання на розподіл тиску у вузлах водопровідної мережі.

Методи дослідження: методи математичного моделювання, методи гідравлічних розрахунків.

Розроблена методика визначення зон тисків з урахуванням умов живлення мережі та особливостей водорозбору.

Результати дослідження можуть бути використані проєктними відділами комунальних підприємств для точного визначення кількості та робочих характеристик насосного обладнання, встановлення оптимальних режимів роботи мереж транспортування води на етапі їх проєктування, реконструкції та відновлення зруйнованої інфраструктури населених пунктів.

SUMMARY

Master's qualification work "Assessment of the influence of water consumption conditions on the dynamics of nodal pressures": 67 p, 17 tabl., 1 appendices.

Keywords: WATER SUPPLY AND DISTRIBUTION SYSTEM; NODAL PRESSURES, HYDRAULIC CALCULATION, WATER DISTRIBUTION STRUCTURE; NUMBER OF ANIMALS; MODES OF WORK.

The research object is a circular water supply network with 14 circuits, 32 nodes and 45 sections with a capacity of 24,000 m³/day.

The subject of the study is the hydraulic modes of network operation when water consumption conditions change.

The purpose of the work is to study the influence of water consumption conditions on the distribution of teak in the nodes of the water supply network.

Research methods: methods of mathematical modeling, methods of hydraulic calculations.

A technique for determining pressure zones has been developed, taking into account the network power supply conditions and the characteristics of water distribution.

The results of the research can be used by project departments of utility companies to accurately determine the number and operating characteristics of pumping equipment, establish optimal modes of operation of water transportation networks at the stage of their design, reconstruction and restoration of the destroyed infrastructure of settlements.

ЗМІСТ

Завдання.....	
Реферат.....	
Summary.....	
Вступ.....	
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНКЦІОНУВАННЯ ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ.....	
1.1 Основні показники функціонування водопровідних мереж.....	
1.2 Сучасні методи контролю водорозподілу в мережах.....	
1.3 Основні напрями регулювання водорозподілу в мережах.....	
1.4 Методи контролю поточкорозподілу.....	
1.5 Загальні висновки та постановка мети досліджень.....	
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІЩЕННЯ ПІДЖИВЛЮВАЧІВ НА ГІДРАВЛІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕРЕЖІ.....	
2.1 Аналіз гідравлічного розрахунку водопровідних мереж.....	
2.1.1 Характеристика вихідних даних та підготовка мережі до розрахунку.....	
2.1.2 Гідравлічний розрахунок та визначення п'єзометричних позначок у вузлах мережі з одним водоживильником без зміни водовідбору.....	
2.1.3 Гідравлічний розрахунок та визначення п'єзометричних позначок у вузлах мережі з одним водоживильником при зміні водовідбору.....	
2.2 Методика проведення дослідження впливу розміщення підживлювачів на гідравлічні характеристики мережі.....	
2.3 Дослідження гідравлічних характеристик мережі при зміні розміщення підживлювача.....	
2.3.1 Гідравлічний розрахунок мережі під час розміщення одного підживлювача у вузлі 8 без зміни водовідбору (варіант 2 а).....	
2.3.2 Гідравлічний розрахунок мережі при розміщенні одного підживлювача у вузлі 8 зі зміною водовідбору (варіант 2б).....	
2.4 Дослідження гідравлічних характеристик мережі за зміни кількості водоживильників.....	

2.4.1	Гідравлічний розрахунок мережі під час розміщення двох водоживильників у вузлах 1 та 8 без зміни водовідбору (варіант 3 а).....
2.4.2	Гідравлічний розрахунок мережі при розміщенні двох водоживильників у вузлах 1 та 8 зі зміною водовідбору (варіант 3 б).....
2.5	Аналіз розподілу вузлових тисків при зміні кількості та розміщення водоживильників.....
2.5.1	Гідравлічний розрахунок мережі під час розміщення двох водоживильників у вузлах 6 та 11 без зміни водовідбору (варіант 4 а).....
2.5.2	Гідравлічний розрахунок мережі під час розміщення двох водоживильників у вузлах 6 та 11 зі зміною водовідбору (варіант 4 б).....
2.6	Розрахунок площі зон недостатніх напорів для різних варіантів живлення мережі.....
2.7	Порівняльна характеристика зміни напорів у мережі.....
РОЗДІЛ 3 ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЩОДО ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ РІЗНИХ ВАРІАНТАХ РОЗМІЩЕННЯ ВОДОСПОЖИВАЧІВ.....	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	
Додаток А.....	

Вступ

Актуальність роботи. Спеціалісти Інституту місцевого розвитку в рамках проєкту Агентства США з Міжнародного розвитку (USAID) «Розповсюдження досвіду реформування сфери комунальних послуг» виконали дослідження та підготували аналітичний звіт «Шляхи вдосконалення нормативно-правового та регуляторного забезпечення діяльності підприємств, що надають послуги централізованого водопостачання, теплопостачання та водовідведення» [1]. Але і сьогодні ця інформація не втратила своєї актуальності. Проблеми забруднення поверхневих та підземних джерел, критичний стан мереж транспортування води, необхідність модернізації насосного обладнання залишилися не тільки не розв'язаними, але й загострилися в умовах проведення воєнних дій на території нашої країни. В сучасних воєнних умовах у зв'язку з підвищенням цін на енергоресурси, зменшенням надходження платежів від населення загострюється проблема забезпечення енергоощадних режимів експлуатації мереж транспортування води.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження впливу умов водоспоживання на розподіл тиску у вузлах водопровідної мережі.

У роботі було вирішено наступні задачі:

- розробка схеми водопровідних мереж з різними умовами водоспоживання;
- гідравлічні розрахунки при нормальному режимі роботи мережі;
- моделювання зміни умов водоспоживання шляхом зміни кількості та розташування вузлів підживлення водопровідної мережі та зміни структури водорозбору;
- гідравлічні розрахунки для всіх варіантів водоспоживання;
- розрахунок п'єзометричних карт для всіх варіантів водоспоживання та виконати їх аналіз;
- аналіз утворення зон недостатнього тиску та їх розміру.

Методи дослідження: методи математичного моделювання, методи гідравлічних розрахунків.

Об'єкт дослідження – кільцева водопровідна мережа із 14 контурів, 32 вузлів та 45 ділянок продуктивністю 24000 м³/добу.

Предмет дослідження – гідравлічні режими роботи мережі при зміні умов водоспоживання.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в перспективності практичного використання з'ясованих в кваліфікаційній роботі особливостей розподілу вузлових тисків в умовах зміни умов водоспоживання, пов'язаних зі змінами у структурі водорозбору та умовах живлення мережі.

Практичне значення одержаних результатів роботи. Практична цінність роботи полягає у можливості впровадження в технологічний процес водопостачання методики визначення оптимального поточкорозподілу з урахуванням зміни гідравлічних режимів роботи водопровідної мережі для забезпечення необхідних тисків.

Результати роботи можуть бути використані проектними відділами комунальних підприємств для уточнення кількості та розташування контрольних вузлів, визначення оптимальних режимів роботи водопровідної мережі на стадії проектування, експлуатації та, відновлення інфраструктури населених пунктів.

Апробація роботи. Міжнародній науково-практичній конференції «Геостратегічні трансформації та траєкторія національної безпеки в контексті відбудови і сталого розвитку України» [2], яка проходила 25–26 травня 2023 року, м. Запоріжжя, III Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» [3], яка проходила 17-20 жовтня 2023 року, м. Запоріжжя.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНКЦІОНУВАННЯ ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ

1.1 Основні показники функціонування водопровідних мереж

Функцією системи водопостачання є забезпечення обслуговуваного об'єкта (міста, промислового підприємства) водою в заданих кількостях, заданої якості, а також підтримання необхідних тисків у системі розподілу води. Виконання всіх пред'явлених систем водопостачання вимог забезпечує нормальний рівень якості її функціонування [4].

У процесі експлуатації можуть виникнути різні порушення нормальної роботи окремих споруд та елементів системи, що неминуче викликає певні порушення нормальних функцій системи загалом, тобто. призводить до зниження нормального рівня водопостачання обслуговуваного об'єкта. Допустимі межі такого зниження передбачаються у відповідних нормативних документах: регламентуються перерви в подачі води та їх допустима тривалість, а також ступінь допустимого зниження подачі та періодів зниження подачі. Встановлюється гранично допустима частота повторення таких порушень нормальної роботи.

Якщо внаслідок будь-яких причин зниження експлуатаційних показників перевищує допустимі межі, відбувається відмова системи. Найбільш серйозний вплив на погіршення роботи системи можуть мати відмови джерел водопостачання, аварії водоприймальних споруд, припинення подачі електроенергії (внаслідок аварій в енергосистемі). Подібні події можуть призвести до відмови системи в цілому [5].

Таким чином, будь-яка реальна система водопостачання може перебувати в наступних основних (розрахункових) станах:

- повної працездатності – система може виконувати функції водозабезпечення споживачів на заданому розрахунковому рівні;

- неповної працездатності – система може виконувати функції водозабезпечення споживачів лише на рівні, зниженому проти нормального, але з нижче встановленого нормами допустимого значення;

- непрацездатності (стан відмови) - система не може виконувати функції водозабезпечення споживачів на нормальному розрахунковому або допустимому зниженому рівні.

Для кожної експлуатованої чи запроєктованої системи водопостачання може бути чисельно оцінено вплив відмов окремих елементів і споруд на якість її функціонування загалом, тобто на процесі водозабезпечення об'єкта, що обслуговується.

Характер функціонування системи водопостачання значною мірою залежить від характеру процесу водоспоживання. У цьому відношенні системи водозабезпечення промисловості та водозабезпечення населення суттєво різні. У системах комунального водопостачання процес водоспоживання є випадковим і некерованим. Системи ці належать до систем масового обслуговування, і фактичний режим їх роботи визначається випадковим потоком заявок на воду великої кількості споживачів. Прогнозовані в процесі проектування обсяги та режими водоспоживання на певні розрахункові терміни розвитку системи можуть відрізнятися від фактично мають місце в процесі експлуатації.

У системах, де процес водоспоживання має випадковий характер, перехід систем з працездатного стану в непрацездатний (або стан неповної працездатності) може відбутися не тільки в результаті пошкоджень елементів системи, а й у результаті періодичних чи випадкових відхилень фактично необхідних режимів водоспоживання від запланованих. Системи водопостачання відносяться до складних і багатофункціональних технічних систем [6]. Процес функціонування системи водопостачання оцінюється як показниками якості, так і показниками ефективності її роботи. Під рівнем якості функціонування розуміється відношення характеристики якості функціонування системи в деякому даному стані до відповідної характеристики

у справному стані. Як показник ефективності функціонування системи приймається результат, одержуваний при експлуатації системи за даний інтервал часу. Конкретні показники зазначених оцінок роботи системи вибираються в залежності від призначення, типу та характеру роботи системи [7]. Для оцінки якості виконання основної функції водопровідних мереж приймаються витрати води, що подається об'єкту, або відношення цих кількостей для періодів порушеного і нормального функціонування. Водопровідні мережі водопостачання також належать до багатофункціональних елементів системи тому, що вони повинні забезпечувати подачу заданих кількостей води для різних категорій споживачів (побутових потреб населення, потреб промисловості, пожежогасіння) і забезпечувати не тільки подачу необхідних кількостей води, але й необхідні якість та тиск у точках відбору її з мережі.

Мережі водопостачання є елементом системи тривалої дії. За певні періоди експлуатації якість функціонування цих систем може бути оцінена відношенням сумарної тривалості періодів зниження якості функціонування до загального календарного терміну експлуатації. При цьому враховується також ступінь можливих знижень.

Для систем комунального водопостачання значно складніше дати чітке визначення розрахункових рівнів водозабезпечення, стосовно яких слід вимірювати допустимі зниження рівня функціонування системи. Розв'язання цього питання вимагає глибшого аналізу випадкового процесу водоспоживання та його ймовірнісних оцінок. Ці оцінки можуть бути зроблені лише на основі обробки та аналізу досить великих натурних досліджень фактичних режимів водоспоживання в системах комунального водопостачання [8].

Системи подачі води влаштовані так, що зниження показників окремих елементів не спричиняє повної відмови системи, а викликає лише тимчасове допустиме зниження рівня її працездатності. Тривалість перебування системи в стані неповної працездатності визначається часом відновлення, що включає час на виявлення аварії та на ремонт або заміну пошкодженого елемента.

Порушення нормального функціонування системи водопостачання в результаті пошкоджень і аварій окремих споруд або елементів мережі є найбільш частими. Асортимент елементів, що використовуються при облаштуванні водопровідних мереж і споруд, дуже великий. Основними з них є: труби та їх стикові з'єднання; насоси; електродвигуни та електрообладнання; запірні, регульовальні та запобіжні арматури та ін. [9]. Для більшості названих елементів спостерігається деяка загальна закономірність їх пошкоджень за період роботи з моменту пуску в експлуатацію до настання граничного стану. На початку цього періоду різні пошкодження спостерігаються відносно часто: позначаються допущені дефекти монтажу і пуску, елемент пристосовується до нормальних умов роботи. Потім настає період нормальної роботи, коли пошкодження рідкісні [10]. Третій період характеризується новим підвищенням частоти пошкоджень (результат старіння), що закінчується настанням граничного стану. До цього періоду елементи мають бути своєчасно замінені новими.

У системах міського водопостачання внаслідок перевищення фактичної потреби у воді над запланованою при проєктуванні та споруді для аналізованого періоду експлуатації системи також відбуваються порушення роботи водопровідних мереж. При цьому в години максимального водовідбору система не може задовольнити фактично утворених потреб у воді, відбувається зниження тиску в мережі. Багатопверхові та віддалені від точок подачі води райони та верхні поверхи будівель зазнають перебоїв в надходженні води [11]. Зрозуміло, що подібне явище не може наступити раптово. При належно організованому обліку води, що подається, може бути зареєстровано випередження фактичного зростання водоспоживання міста в порівнянні з визначеними в результаті прогнозування і своєчасно вжито заходів для прискорення введення в експлуатацію мереж наступної запланованої черги розвитку системи водопостачання.

Всі розглянуті види пошкоджень різних елементів системи водопостачання викликають зниження якості її функціонування [12]. Якщо ці

зниження перевершують допустимі (нормативні) межі зниження водозабезпечення, то відбувається відмова системи. Таким чином, факт відмови системи водопостачання може бути встановлений лише в результаті порівняння фактичних показників якості функціонування з нормативними.

Для систем водопостачання населених місць з випадковим процесом водоспоживання точного визначення допустимого (за нормами) зниження рівня водоспоживання неможливо.

У системі водопостачання можуть відбуватися такі види порушень нормальної якості водозабезпечення об'єкта [13]:

- тимчасове зниження подачі, що не досягає гранично допустимого рівня;
- тимчасове зниження подачі нижче за допустимий рівень;
- перерви подачі води споживачам.

У системах міського водопостачання, які обслуговують дуже велику територію, неминуче виникає нерівномірна якість обслуговування споживачів. Вода, що подається в мережу підживлювачами, транспортується до окремих районів різними шляхами. Чим далі розташований район (група будинків) від підживлювача, тим несприятливіші умови для споживачів. Чим довший шлях транспортування води, тим більше попутні втрати напору і тим менше п'єзометричні позначки у віддалених точках мережі. Отже, віддалені споживачі насамперед зазнають збитків при посиленому загальному відборі води з мережі [14]. Падіння тиску в мережі призводить спочатку до зниження можливої інтенсивності відбору води, а потім до повного припинення подачі води до найвіддаленіших і високорозташованих водорозбірних кранів. У верхні поверхи будівель вода взагалі може перестати надходити.

Для того, щоб встановити певну гарантію обслуговування віддалених і високорозташованих споживачів введено умову забезпечення в таких невіддільних точках певного мінімально допустимого тиску. Видалені споживачі перебувають у гірших умовах і з міркувань надійності їх водозабезпечення при будь-яких ушкодженнях ліній мережі, однакове пошкодження ліній мережі та виключення їх на ремонт завдають дуже різної шкоди в залежності від місця

розташування ділянки в мережі. У кільцевих водопровідних мережах аварії та вимкнення будь-яких ділянок магістральної мережі викликають збільшення навантаження паралельних ліній, збільшення втрат напору в них і, отже, небезпека неприпустимого зниження тисків, насамперед у віддалених точках мережі [15].

Досвід експлуатації систем водопостачання свідчить про значне зростання з часом гідравлічного опору металевих труб при відповідному зменшенні їх пропускної здатності [16]. Це обумовлено інтенсивною корозією внутрішньої поверхні труб з відкладенням на ній продуктів корозії та в ряді випадків появою наскрізних проржавів, що тягнуть за собою втрати води. Жорстке виконання нормативних вимог, що регламентують режим подачі води різним споживачам, призводить до значних перевитрат електроенергії. У результаті використання сталевих і чавунних труб без внутрішніх покриттів тягне за собою втрату пропускної здатності системи в середньому на 20 ... 40% на рік, в залежності від корозійної активності води [17].

Таким чином, неприпустиме порушення нормальної функції водозабезпечення споживачів може статися з двох причин: усунення (перевищення) фактичних потреб у воді над запланованими; пошкодження будь-яких елементів системи.

Імовірність подій першої категорії може бути оцінена на основі обробки та аналізу статистичних даних про фактичне водоспоживання за досить тривалі періоди часу. Якщо система водопостачання розрахована на подачу витрати певної забезпеченості, то відмова такої системи проявляється при спробах споживачів у певні періоди часу відібрати з системи більші кількості води, ніж вона може дати. Цей момент не так легко зареєструвати. При незначній відмінності потреб і можливостей у місцях відбору відбудеться лише деяке зниження тисків і інтенсивність можливого відбору води знизиться. При значному перевищенні потреб, тобто збільшенні кількості одночасно включених розбірних кранів і збільшенні ступеня їх відкриття, може відбутися таке зниження тисків в мережі, що вода перестане надходити до

високорозташованих споживачів (на високі позначки місцевості та верхні поверхи будівель) [18].

Імовірність подій другої категорії (тобто пошкоджень елементів), що викликають відмову системи, значною мірою залежить від надійних характеристик мережі та її елементів. Водопровідна мережа приймає у певній точці (точках) повну кількість води, потрібне об'єкту, проводить його до всіх вузлів відбору і віддає споживачам. У системах комунального водопостачання ці вузли дуже численні та розкидані по всій території об'єкта.

При хорошій організації систематичних вимірів води значення витрати води може бути отримано за даними водомірної служби.

1.2 Сучасні методи контролю водорозподілу у мережах

Виявлення істинної картини процесу водоспоживання в експлуатованих системах комунального водопостачання є єдиним шляхом отримання чисельних характеристик основної функції цих систем, тобто функції забезпечення водою населення. Проведення натурних вимірів на ряді чинних водопроводів та обробка результатів спостережень дозволяють отримати фактичні величини годинних та добових обсягів споживання води та режими її витрачання. Кінцевою метою натурних досліджень процесу водоспоживання є ідентифікація законів розподілу витрат та їх забезпеченості, що дозволяє встановити відповідність прийнятих розрахункових витрат необхідної надійності функціонування системи водопостачання.

Організація та проведення вимірів добових і годинних кількостей води, що витрачається, в дієвих системах водопостачання населених місць є дуже складним і відповідальним завданням. Для отримання чисельних характеристик фактичного режиму водоспоживання виміри проводяться в різні години доби для різних днів тижня та різні сезони року. Основні об'єкти обстежень - житлові масиви, окремі житлові будівлі та групи будівель з різною поверховістю,

різним ступенем санітарно-технічного обладнання та заселеності квартир. Під час обстеження реєструється тиск на вводах води [19].

1.3 Основні напрями регулювання водорозподілу у мережах

Сьогодні більшість населених пунктів обслуговується системами розподілу прісної води. Той чи інший рівень автоматизації частин цих систем (підсистем управління, контролю та обробки даних) сприяє балансу між попитом на воду і забезпеченням цього попиту. Крім того, нормально робоча система водопостачання повинна забезпечити й належну якість прісної води, і високий рівень обслуговування споживача. Донедавна ці завдання вирішувалися лише за безпосередньої участі людини, тобто за допомогою ручного управління. Однак зростання сучасних вимог до якості водопостачання стимулює тенденцію до автоматизації комунальних систем водопостачання.

Поліпшення ефективності контролю та регулювання водорозподілу в мережах актуальне і для закордонних підприємств водопостачання. Так, Компанія OSIsoft розробила контрольну комп'ютерну систему PI [20], яка забезпечує сумісність і збільшує точність передачі інформації всередині підприємства. Збираючи та перевіряючи дані з широкого спектра пристроїв та агрегуючи їх для зручності перегляду, система PI допомагає забезпечити в реальному часі обмін інформацією між апаратурою, що здійснює розподіл води, в результаті чого суспільство отримує вищий рівень сервісу та поліпшення якості води. Крім того, система PI забезпечує підприємствам можливість управління системами захисту обладнання, гарантуючи надійність водопостачання та чистоту води. Система PI знижує ймовірність збоїв у процесі розподілу води, внаслідок чого виявляється можливим витримати стандарти якості роботи обладнання та підвищити рівень його захисту. PI допомагає розширити виробничі можливості шляхом комбінування оперативної інформації технологічних циклів та статистичної інформації про якісні показники, оптимізуючи можливості обладнання водорозподілу. Інформація,

що надходить через систему PI, стає потужним допоміжним засобом у справі прийняття рішень, що дозволяє персоналу переглядати, аналізувати та складати звітну документацію про хід процесів розподілу. Система PI дозволяє користувачам негайно діагностувати та реагувати на потенційні збої процесу або обладнання, а також оцінювати потенційний вплив різних сценаріїв на якість води, захист та навколишнє середовище. PI поширює інформацію через мережу. Компанія OSIsoft займає провідне положення в розробці мережових продуктів, так що все більша кількість користувачів можуть отримати найважливішу інформацію про функціонування обладнання водного господарства в будь-який час і в будь-якому місці. Система PI збільшує доступність інформації, взаємодіє з різними базами даних і системами управління, забезпечуючи одночасний доступ до даних для негайного графічного відображення, складання звітів і прийняття рішень. PI знижує ризик незапланованих простоїв. Пристрої, що забезпечують розподіл води, можуть комбінувати поточну інформацію про процеси з можливостями прогнозування ситуації, мінімізуючи цим ризик незапланованих простоїв. Система PI – перевірена, надійна система програмного забезпечення зі швидкою окупністю. Компоненти системи PI прості в інсталяції та налаштуванні. Інсталяція типової системи PI на підприємстві водного господарювання зазвичай займає близько тижня, не вимагаючи переривання поточних операцій. Після цього користувачі можуть негайно починати створення екранних форм, що налаштовуються, розпочинати аналіз процесів і складання електронних звітів [20].

Компанія «Motorola» також розробила широкий асортимент радіотелеметричних приладів і систем диспетчерського управління та збору даних на підприємствах водопостачання. Цей комплекс продуктів позначається аббревіатурою SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) [21].

До складу базової системи, яку компанія пропонує замовнику, входять сотні пристроїв SCADA і десятки тисяч дистанційних термінальних пристроїв (Remote Terminal Units, або RTU). Складніші системи включають численні

контрольні пункти, що обслуговують великі території та працюють у складних топографічних умовах.

З появою дистанційних контрольних приладів стала відпадати необхідність частого відвідування персоналом таких частин водорозподільних систем, як насосні станції та резервуари з метою перевірки їх технічного стану. Дуже важливо, що дані про роботу системи надходять у режимі реального часу. Це дозволяє своєчасно розпізнавати проблемні ситуації та вживати необхідних заходів щодо їх усунення [22].

Основними елементами контрольної системи водорозподілу є, крім вищезазначених RTU, сенсорні датчики та електромеханічні пристрої, центральна інформаційна система та канали зв'язку.

Дистанційні термінальні пристрої контролюють стан частин водорозподільної системи даної території, отримуючи необхідні сигнали від сенсорних датчиків і електромеханічних пристроїв. Крім того, пристрої RTU забезпечують керування частинами водорозподільної системи, до яких вони приєднані.

Дані, які зазвичай контролюються RTU водорозподільних систем, включають:

- рівень води у водних резервуарах, що вимірюється сенсорними датчиками рівня;
- стан насоса та аварійно-сигнальних пристроїв, що оцінюється електромеханічними контактними приладами;
- швидкість нагнітання води насосом, що визначається вимірювачами швидкості потоку;
- час роботи та кількість пусків насоса;
- стан аварійної сигналізації при критичній зміні температури (оцінюється сенсорними термометрами);
- падіння напруги, збої в роботі генератора та напір води у пунктах її подачі.

Найчастіше RTU використовуються для контролю роботи насосів, і навіть контролю роботи гідропідсилювальних клапанів. Пристрої RTU системи MOSCAD [23] сконструйовані з урахуванням їхньої сумісності з більшістю сенсорних приладів, які зазвичай використовуються у водорозподільних системах – як цифрових, так і аналогових. Функція центральної інформаційної системи, або комп'ютерного центру управління, в більшості систем зводиться до аналізу даних, що надходять від RTU, і до подачі оператору повідомлень про проблемні ситуації, що виникають. Аварійні повідомлення можуть автоматично надходити на пейджері екстреного зв'язку. З іншого боку, центральна система сама посилає необхідні команди пристроям RTU. Використання інформаційних технологій сприяє підвищенню продуктивності праці персоналу, економії електроенергії, своєчасному виявленню неполадок та якісному обслуговуванню устаткування.

RTU можна запрограмувати відповідно до майже будь-якої специфічної вимоги. Реалізовані при цьому програми можуть бути як простими (включення-вимикання одиничного насоса), так і складними (маніпуляція насосами, розташованими в різних місцях). Залежно від гнучкості мови програмування можливості RTU можуть бути доповнені такими функціями, як послідовне маніпулювання насосами або відключення насоса нижнього рівня. RTU системи MOSCAD ідеально підходять для роботи у складі водорозподільних систем завдяки різноманітності контрольних функцій, які можуть бути їм задані. Понад те, передача даних є досить нормальним процесом під час роботи водорозподільної системи. Робота багатьох водорозподільних систем передбачає певний ступінь дублювання функції управління. RTU забезпечують альтернативу такого дублювання, і це часто виявляється більш ефективним технічно (і тому більш вигідним економічно). Завдяки тому, що ряд функцій управління та контролю, а також швидкі обчислення та операції, пов'язані з прийняттям рішень, виконуються RTU безпосередньо в місцях установки обладнання, а не в пам'яті комп'ютера, підвищується загальна швидкодія

системи та скорочується час спрацьовування її елементів, що особливо важливо у критичних та аварійних ситуаціях [24].

Вітчизняною промисловістю виробляється ряд приладів, що використовуються для регулювання водорозподілу в мережах. Одним з них є універсальний запірний регулювальний пристрій з блоком управління, який призначений для роботи у водорозподільних та водовідвідних системах з діаметром труб від 50 до 1000 мм при максимальному тиску до 1,5 МПа. Пристрій може працювати при великому ступені забруднення та агресивності води. Робочим тілом для запірного органу є рідина чи газ. Максимальний тиск робочого тіла на 10...15 % перевищує максимальний тиск у водорозподільних або водовідвідних системах. Пристрій не має ручного або машинного приводу, а також не має шліфованих площин ущільнення, схильних до корозії, механічного зносу і заростання. Приводом пристрою є механічний м'яз (спеціально армований еластичний балон). При перевищенні тиску всередині механічного м'яза над тиском у водорозподільній системі діаметр м'яза збільшується, перекриваючи прохідний переріз аж до повного закриття. Пристрій може використовуватися як засувка і як автоматичний регулятор витрати, захищене документами на інтелектуальну власність [9].

1.4 Методи контролю поточкорозподілу

Функції водопровідних мереж і водоводів можуть бути порушені в результаті різного роду пошкоджень. Найбільш частим і суттєвим є аварія трубопроводу, спричинена пошкодженням стінок або стиків. Види подібних порушень залежать від матеріалу труб та конструкції стиків. Так, у чавунних і азбестоцементних трубах можуть утворюватися тріщини та випадати цілі шматки стінок. У сталевих трубах ушкодження зазвичай полягають в утворенні тріщин. У більшості випадків подібні пошкодження не викликають повного припинення подачі води по пошкодженій ділянці водопровідної лінії, але викликають зниження подачі та тиску в мережі. Отже, сама аварія ділянки є порушення його справності, але не завжди є порушенням його працездатності.

Ліквідація аварії вимагає тимчасового вимкнення ділянки з роботи для ремонту. У цьому весь час ремонту відбувається повне припинення подачі води дільницею, тобто. повне порушення його працездатності. Аварії трубопроводів часто обумовлені корозійними властивостями ґрунту, дією мандрівних струмів, динамічними та статичними навантаженнями від міського транспорту, осадження ґрунту тощо. Погіршення функціонування труб часто викликається утворенням інтенсивних відкладень на внутрішній поверхні стінок, що призводить до зниження їх пропускної здатності.

Своєчасна реєстрація всіх, що відбуваються в процесі експлуатації пошкоджень елементів водопровідних мереж і збір всіх необхідних відомостей про виявлені пошкодження являють собою єдине можливе джерело інформації для отримання обґрунтованих чисельних показників надійності цих елементів.

Контроль водорозподілу в мережах здійснюється за допомогою вимірювальних приладів. Так, наприклад, на комунальному підприємстві «Водоканал» м. Запоріжжя для цих цілей використовуються такі прилади:

Датчики тиску «BD Sensors» [25], які встановлюються на трубопроводах за допомогою різьбового з'єднання. Датчик складається з титанового корпусу, всередині якого розміщені електронні мікросхеми, що перетворюють тиск через струм 4 ... 20 мкА. Діапазон вимірюваного тиску – від 0 до 10 барів;

- Датчики тиску MIDA-DI13[26], розраховані на вимірювання тиску від 0 до 1 МПа, яке перетворюється на струм 420 А;

- диференціальні манометри ДМ-3583 [27] з вторинним приладом БПЛ-1К, які також перетворюють тиск на електричний сигнал;

- Витратоміри-лічильники ультразвукові УВР-011[28], що складаються з двох блоків – електронного блоку УВР-011 та перетворювача електроакустичного УВР-011-ПЕА; діапазон вимірюваних швидкостей потоку – 0,1...6 м/с.

Вітчизняною промисловістю також розроблені та успішно впроваджуються у виробництво:

- вимірювач швидкості води ІСВ-01, який призначений для вимірювання середньої швидкості водного потоку з метою визначення витрати води методом "площа-швидкість";

- пристрій контролю технологічних параметрів водного потоку УКТП-2, який призначений для вимірювання лінійних і кутових переміщень технологічного обладнання в автоматизованих системах контролю та управління; може використовуватися як датчик рівня води, положення затвора, засувки тощо.

На багатьох вітчизняних і закордонних підприємствах ведуться розробки та впровадження систем контролю водорозподілу з використанням можливостей комп'ютерної техніки та технології.

Так, фахівцями КП «Водоканал» (м. Запоріжжя) застосовується базовий комплекс електронного моделювання системи водопостачання при використанні графічного представлення мережі зі створенням зв'язкової топологічної інформаційної моделі. Така модель дозволяє мати графічне уявлення мереж водопостачання з повним описом топології; паспортизацію мереж; створення та візуалізацію деталізованих схем вузлів та ділянок; автодокументування; розширену паспортизацію обладнання вузлів (внутрішнє обладнання колодязів та камер, водоводів, джерел, насосних станцій, що регулюють вузлів) за узгодженим переліком обладнання та складом паспортів; гідравлічний розрахунок і моделювання водопровідних мереж довільної розмірності, з кількома джерелами, що працюють на загальну мережу, в тому числі з урахуванням графіків добової нерівномірності. Крім того, розпочато роботи зі створення системи дистанційного управління технологічним обладнанням.

Алгоритм управління водопостачанням виглядає наступним чином. Інформація про технологічні параметри з усіх контрольних точок, насосних станцій та водопровідних вузлів по радіоканалу передається на центральний диспетчерський пункт. Аналітична група веде аналіз ефективності роботи мережі у час. За допомогою гідравлічного моделювання приймаються рішення

про зміну режимів роботи обладнання в разі потреби. Це реалізується за допомогою підсистеми формування та передачі контрольних сигналів. Зокрема, зараз диспетчер з центрального диспетчерського пункту може дистанційно керувати засувкою на вході та частотним перетворювачем на водопровідному вузлі, частотними перетворювачами на насосних станціях. Експлуатація лише системи збирання та передачі на підприємстві дала економію електроенергії до 18% і економію води до 8%. Впровадження системи дистанційного управління розподіленими об'єктами на базі даних контрольно-вимірювальної системи, геоінформаційної системи підприємства, розроблених математичних гідравлічних моделей ефективного водорозподілу за прогнозами фахівців принесе не менш вагомий результат [16].

1.5 Загальні висновки та постановка мети досліджень

Міські системи водопостачання належать до класу транспортних відновлюваних систем життєзабезпечення міст тривалої дії і являють собою складні розгалужені трубопровідні системи з глибокими внутрішніми зв'язками, що функціонують під впливом багатьох випадкових факторів.

Режим відбору води споживачами із системи міського водопроводу, тобто коливання в часі сумарної витрати води, залежить від різноманітних подій, і встановлення яких-небудь чисельно виражених причинних зв'язків між цими подіями та кількістю води, що відбирається, в окремі моменти часу не представляється можливим. Величини сумарних обсягів витрати води містом в окремі періоди часу, і зокрема в окремі години доби можуть розглядатися як випадкові величини. Процес функціонування подібної системи масового обслуговування повинен розглядатися як випадковий процес.

Вивчення і відповідний аналіз фактичної роботи дієвих систем водопостачання дозволяє отримати деякі чисельно виражені характеристики зміни в часі годинних обсягів водоспоживання для міст, різних за чисельністю населення.

Обробка результатів проведених вимірів витрат, що змінюються в часі в системах водопостачання, що діють, проводиться за методами математичної статистики, які дозволяють отримати всі основні імовірнісні чисельні характеристики досліджуваних величин. У тому числі можуть бути отримані та чисельні ймовірнісні оцінки розрахункових та пікових навантажень мереж водопостачання.

У результаті проведених досліджень встановлюється не тільки сам факт події, що мала місце, але і визначаються чисельні значення параметрів, що характеризують ймовірність появи його і повторення.

Мережі водопостачання проєктуються та споруджуються на заданий обсяг та заданий режим водоспоживання. Ця інформація є необхідною для визначення розрахункових пікових навантажень мережі. Для оцінки можливості відмови системи проводиться порівняння запланованої пропускної спроможності мережі з тими випадковими піковими навантаженнями, які можуть виникнути в процесі експлуатації.

Системи подачі та розподілу води є гідравлічними системами. Особливості їх роботи визначаються законами гідродинаміки. Взаємний зв'язок у роботі всіх елементів і споруд виражається системою рівнянь, що пов'язують витрати й тиски. До перших відносяться витрати, що подаються водоживильниками по лініях мереж, а також відбираються споживачами в окремих точках системи. До другої категорії змінних відносяться напори, наявні або створювані в окремих вузлах мережі, а також втрачаються на подолання гідравлічних опорів (втрати напору) на трактах транспортування води. На якість функціонування систем подачі та розподілу води впливають обидві категорії зазначених змінних. Порушення нормального процесу водозабезпечення споживачів можуть виникати внаслідок неприпустимих змін як витрат і тисків.

Досвід експлуатації міських систем водопостачання показує, що вони функціонують в умовах структурних і режимних змін, зумовлених аварійним відключенням елементів, приєднанням нових ділянок, мережевих фрагментів,

районів з власною мережевою інфраструктурою, джерел, споживачів, резервних ліній тощо. Змінність структури систем посилюється їх надзвичайною розгалуженістю, що тягне за собою необхідність обробки та зберігання гігантських інформаційних масивів [4].

Враховуючи вищевикладену інформацію, метою кваліфікаційної роботи є визначення впливу умов водоспоживання на розподіл тиску у вузлах водопровідної мережі. Для цього поставлені наступні завдання:

- розробити схеми водопровідних мереж з різними умовами водоспоживання;
- виконати гідравлічні розрахунки при нормальному режимі роботи мережі;
- виконати моделювання зміни умов водоспоживання шляхом зміни кількості та розташування вузлів підживлення водопровідної мережі та зміни структури водорозбору;
- виконати гідравлічні розрахунки для всіх варіантів водоспоживання ;
- розрахувати п'єзометричні карти для всіх варіантів водоспоживання та виконати їх аналіз;
- проаналізувати утворення зон недостатнього тиску та їх розмір.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІЩЕННЯ ПІДЖИВЛЮВАЧІВ НА ГІДРАВЛІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕРЕЖІ

2.1 Аналіз гідравлічного розрахунку водопровідних мереж

2.1.1 Характеристика вихідних даних та підготовка мережі до розрахунку

Як вихідна прийнята кільцева магістральна водопровідна мережа населеного пункту, що складається з 45 ділянок, які утворюють 14 кілець. За характером подачі та розподілу води водопровідна мережа належить до системи без водонапірної вежі. Підживлювач підключається до мережі у вузлі 1. Значення довжин ділянок і діаметрів труб мережі) наведені в табл. 2.1.

Розрахунковою схемою даної водопровідної мережі є випадок, коли водорозбір з неї здійснюється в невеликій кількості точок і всі витрати води окремими зосередженими водоспоживачами, відомі. Загальна подача води в такій мережі (Q) дорівнює сумі зосереджених витрат (Q_i) [9]. Через те, що дійсний відбір води з мережі відбувається у величезній кількості точок з невідомою і безперервно мінливою величиною, то при розрахунку використовується спрощена схема, в якій умовно прийнято, що вода витрачається рівномірно по довжині ділянок мережі (тобто кількість води, що віддається кожною ділянкою, пропорційна її довжині).

Гідравлічний розрахунок мережі проводиться з метою визначення: дійсного розподілу потоків води на ділянках; тисків у різних її точках; подачі та тиску водоживильників при вже заданих величинах вузлових відборів, діаметрах і довжинах труб по ділянках, геодезичних відмітках вузлів мережі.

Для знаходження невідомих витрат води по ділянках, тисків у всіх вузлах мережі, напірно-витратних характеристик підживлювачів використовуються такі рівняння:

- рівняння першого закону Кірхгофа, що пов'язує лише витрати води (рівняння балансу витрат):

Таблиця 2.1 – Характеристика ділянок водопровідної мережі

№ п/п	№ ділянки	Довжина ділянки, м	Довжина труб, мм	№ п/п	№ ділянки	Довжина ділянки, м	Довжина труб, мм
1	1-3	728	100	24	15-16	140	150
2	3-5	200	100	25	7-15	150	100
3	5-8	1050	150	26	16-17	130	150
4	7-8	630	300	27	8-17	460	150
5	1-7	190	300	28	17-18	130	150
6	6-8	510	300	29	18-19	50	150
7	4-6	560	150	30	19-20	80	150
8	1-4	560	200	31	20-21	90	150
9	3-4	70	200	32	20-29	40	150
10	1-2	160	150	33	26-29	500	100
11	2-9	160	150	34	22-26	340	100
12	9-10	180	150	35	22-30	420	300
13	10-11	180	300	36	29-30	120	125
14	11-12	430	150	37	25-26	100	100
15	12-31	75	150	38	24-25	110	80
16	22-31	75	100	39	23-24	100	150
17	21-22	190	150	40	22-23	380	150
18	16-21	230	150	41	22-27	50	150
19	14-16	80	100	42	27-28	79	150
20	12-14	520	150	43	22-28	1,0	150
21	13-14	120	100	44	27-32	140	150
22	9-13	325	150	45	8-32	480	300
23	13-15	80	150		Итого	11393	

$$\sum q_{i-k} - Q_{\text{узл}} = 0, \quad (2.1)$$

де $\sum q_{i-k}$ – алгебраїчна сума витрат води на ділянках, що примикають до розглянутого вузла, л/с;

$Q_{\text{узл}}$ – відбір води з вузла, що розглядається, л/с;

• рівняння другого закону Кірхгофа, що зв'язує втрати напору в кільцях (рівняння балансу втрат напору):

$$\sum h_{i-k} = 0, \quad (2.2)$$

де h_{i-k} – втрати напору в лініях, що утворюють кільце, м;

• рівняння, що попарно зв'язує водоживильники і нефіксовані відбори через втрати напору в лініях, що з'єднують їх (рівняння зовнішньої ув'язки):

$$f(Q)_j - f(Q)_k = \sum h_{i-k} \quad (2.3)$$

Гідравлічний розрахунок вихідної мережі провадиться для двох випадків:

- без зміни водовідбору (варіант 1 а);
- за зміни водовідбору (варіант 1 б).

Витрати води у вузлах мережі визначені дослідним шляхом на підставі показань встановлених витратомірів та наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Вузлові витрати мережі за варіантами, л/с

№ узла	Без зміни відбору (варіант 1а)	Збільшення відбору	Зменшення відбору	Зі зміною відбору (варіант 1а)
1	0,00	-	-	0,00
2	2,65	-	-	2,65
3	2,08	-	-	2,08
4	11,02	-	2,00	9,02
5	17,32	-	6,76	10,56
6	17,86	-	-	17,86
7	6,05	-	0,99	5,06
8	28,74	-	-	28,74
9	9,62	-	2,80	6,82
10	3,98	-	0,20	3,78
11	6,71	-	1,00	5,71
12	8,08	-	-	8,08
13	5,58	0,01	-	5,59
14	5,41	-	0,01	5,40
15	2,82	-	0,01	2,81
16	4,96	-	-	4,96
17	5,96	-	-	5,96
18	10,99	-	-	10,99
19	6,88	3,88	-	10,76
20	1,74	6,00	-	7,74
21	11,18	-	-	11,18
22	10,76	-	-	10,76
23	13,64	-	-	13,64
24	19,14	-	-	19,14
25	2,90	-	-	2,90
26	9,28	0,01	-	9,29
27	1,58	0,01	-	1,59
28	0,64	-	-	0,64
29	6,12	3,87	-	9,99
30	35,55	-	0,01	35,54
31	0,62	-	-	0,62
32	5,14	-	-	5,14
Загалом	275,00	13,78	13,78	275,00

Рішення рівняння (2.1) відповідає при початковому поточкорозподілу, тобто у будь-якому вузлі мережі витрата води, що приходить до вузла, дорівнює сумі витрат, що виходять з вузла, включаючи витрату даного вузла. Початковий поточкорозподіл виконується з умови взаємозамінності ліній мережі при аваріях на деяких з них. На схемі мережі після нанесення всіх вузлових витрат стрілками вказуються напрями потоків на кожній ділянці для подачі води до всіх точок відбору по найкоротшій відстані.

При розподілі витрати на лініях враховуються такі обставини, що дозволяють забезпечити досить надійну роботу мережі:

- по ділянках мережі, що лежать на довшому шляху від точки живлення до вузла, що розглядається, призначається менша витрата, ніж по ділянках, що лежать на короткому шляху;
- для забезпечення максимальної взаємозамінності ділянок при аварії пропускна спроможність паралельних робочих магістралей приймається рівною або близькою.

Розрахункові витрати решти ділянок визначаються аналогічно. Ці витрати послідовно розраховуються від ділянки до ділянки проти руху води, починаючи з точки сходу до точки підключення водоводів (вузол 1). Розрахунок виконано безпосередньо на схемах мережі всім розрахункових випадків.

2.1.2 Гідравлічний розрахунок та визначення п'єзометричних позначок у вузлах мережі з одним водоживильником без зміни водовідбору

Початковий поточкорозподіл для мережі без зміни водовідбору представлено на рис. А.1 (додаток А). Гідравлічна ув'язка мережі проводиться для визначення дійсного розподілу потоків лініями мережі при даних діаметрах труб. Розрахунок мережі виконано за програмою "Гідрастр", результати розрахунків представлені на рис. А.2 (додаток А).

Для знаходження п'єзометричних позначок попередньо визначається невігідна (диктуюча) точка мережі. Невігідною точкою мережі є така точка,

яка в точці підключення водоживильника вимагає найбільшої п'єзометричної позначки.

Необхідні п'єзометричні позначки у вибраних точках:

$$\Pi_{\text{тр.}i} = H_{\text{св.тр.}i} + Z_i, \quad (2.4)$$

де $H_{\text{св.тр.}i}$ – необхідний вільний напір в i -тій точці, м;

Z_i – абсолютна позначка i -тої точки, м.

Необхідний вільний напір визначається за такою формулою:

$$H_{\text{св.тр.}i} = 6 + 4 \cdot n, \quad (2.5)$$

де n – кількість поверхів у будинках; для житлової забудови міста $n=5$.

$$H_{\text{св.тр.}} = 6 + 4 \cdot 5 = 26 \text{ м.}$$

П'єзометричні позначки в точці підключення водоживильника, необхідні для отримання відповідних п'єзометричних позначок в точках, що розглядаються, визначаються за формулою:

$$\Pi_{1(i)} = \Pi_{\text{тр.}i} + \sum h_{1-i}, \quad (2.6)$$

де $\sum h_{1-i}$ – алгебраїчна сума втрат напору від точки підключення водоживильника до i -тої точки, м; приймається за А.2 (додаток А).

Розрахунки зведені в табл.2.3, за якою приймається для мережі з одним водоживильником без зміни водовідбору в якості невідгідної точки вузол 24. Результати розрахунку п'єзометричних позначок представлені у табл.2.4 та у графічній частині (лист 01).

Таблиця 2.3 – Визначення п'єзометричних позначок у точці підключення водоживильника (вузол 1) щодо розглянутих вузлів мережі для варіанта 1а, м

№ вузла	Н _{св.тр.і}	Z _i	П ¹ _{тр.і}	∑h ¹ _{1-і}	П ¹ _{1(і)}
1	26	89,70	115,70		115,70
2	26	89,90	115,90	19,56	135,46
3	26	88,90	114,90	8,51	123,41
4	26	88,60	114,60	8,44	123,04
5	26	86,00	112,00	19,78	131,78
6	26	82,50	108,50	18,59	127,09
7	26	88,00	114,00	5,82	119,82
8	26	83,00	109,00	18,60	127,60
9	26	90,00	116,00	37,29	153,29
10	26	89,40	115,40	41,97	157,37
11	26	88,70	114,70	42,08	156,78
12	26	84,70	110,70	46,04	156,74
13	26	87,50	113,50	41,37	154,87
14	26	86,50	112,50	45,18	157,68
15	26	87,30	113,30	41,40	154,70
16	26	85,90	111,90	45,10	157,00
17	26	86,20	112,20	45,00	157,20
18	26	85,20	111,20	49,14	160,34
19	26	85,00	111,00	49,75	160,75
20	26	84,60	110,60	50,13	160,73
21	26	84,40	110,40	49,90	160,30
22	26	84,00	110,00	50,09	160,09
23	26	83,00	109,00	62,76	171,76
24	26	83,00	109,00	63,73	172,73
25	26	83,50	109,50	61,57	171,07
26	26	83,80	109,80	59,82	169,62
27	26	83,70	109,70	47,32	157,02
28	26	83,70	109,70	50,05	159,75
29	26	84,50	110,50	50,55	161,05
30	26	84,20	110,20	50,65	160,85
31	26	84,30	110,30	46,54	156,84
32	26	82,70	108,70	21,29	129,99

Таблиця 2.4 – Визначення п'езометричних позначок та вільних натисків у вузлах мережі для варіанта 1а, м

Вихідний вузол		Вузол, що розглядається				
№ вузла	П, м	№ вузла	Втрати напору	П, м	Позначка землі, м	Вільний напір
24	109,00	23	0,97	109,97	83,00	26,97
24	109,00	25	2,16	111,16	83,50	27,66
23	109,97	22	12,67	122,64	84,00	38,64
22	122,64	31	3,55	126,19	84,30	41,89
22	122,64	28	0,03	122,67	83,70	38,97
28	122,67	27	2,73	125,40	83,70	41,70
27	125,40	32	26,04	151,44	82,70	68,74
31	126,19	12	0,50	126,69	84,70	41,99
12	126,69	11	3,96	130,65	88,70	41,95
11	130,65	10	0,11	130,76	89,40	41,36
10	130,76	9	4,68	135,44	90,00	45,44
9	135,44	2	17,73	153,17	89,90	63,27
2	153,17	1	19,56	172,73	89,70	83,03
25	111,16	26	1,75	112,91	83,80	29,11
26	112,91	29	9,28	122,19	84,50	37,69
29	122,19	30	0,10	122,09	84,20	37,89
29	122,19	20	0,42	122,61	84,60	38,01
20	122,61	21	0,23	122,84	84,40	38,44
20	122,61	19	0,38	122,99	85,00	37,99
19	122,99	18	0,61	123,60	85,20	38,40
18	123,60	17	4,14	127,74	86,20	41,54
17	127,74	16	0,10	127,64	85,90	41,74
16	127,64	15	3,70	131,34	87,30	44,04
15	131,34	13	0,03	131,37	87,50	43,87
13	131,37	14	3,81	127,56	86,50	41,06
17	127,74	8	26,39	154,13	83,00	71,13
8	154,13	7	12,78	166,91	88,00	78,91
8	154,13	6	0,01	154,14	82,50	71,64
8	154,13	5	1,17	152,96	86,00	66,96
5	152,96	3	11,27	164,23	88,90	75,33
3	164,23	4	0,07	164,30	88,60	75,70

2.1.3 Гідравлічний розрахунок та визначення п'єзометричних позначок у вузлах мережі з одним водоживильником при зміні водовідбору

Початковий потікорозподіл для мережі при зміні водовідбору (варіант 1 б) представлено на рис. А.3 (додаток А). Результати розрахунку мережі за програмою «Гідрастр» представлені на рис. А.4 (додаток А).

П'єзометричні позначки у вузлах мережі при зміні водовідбору визначені щодо точки підключення підживлювача (вузол 1) за умови, що п'єзометрична позначка у цьому вузлі $P_{тр.} = const$.

Результати розрахунку п'єзометричних відміток при зміні водовідбору представлені в табл. 2.5. За табл. 2.5 вузли, в яких не дотримується умова $H_{факт} \geq H_{св.тр.}$, є точками недостатнього напору: вузли 23, 24, 25 та 26. П'єзометричні карти та п'єзометричні лінії – у графічній частині (лист 02 та лист 03).

2.2 Методика проведення дослідження впливу розміщення підживлювачів на гідравлічні характеристики мережі

Дослідження впливу розміщення водоживильників на гідравлічні характеристики мережі проведено для наступних варіантів:

- зміна розташування одного водовідбору – варіант 2 б;
- зміна кількості водоживильників (вузли 1 та 8): без зміни водовідбору – варіант 3 а; за зміни водовідбору – варіант 3;
- зміна кількості та розташування водоживильників (вузли 6 та 11): без зміни водовідбору – варіант 4 а; за зміни водовідбору – 4 б.

Для кожного варіанту дослідження виконано початковий потікорозподіл та розрахунок мережі за програмою «Гідрастр» аналогічно варіантам 1а і 1б.

Таблиця 2.5 – Визначення п'єзометричних позначок та вільних напорів у вузлах мережі для варіанта 1б, м

Вихідний вузол		Вузол, що розглядається				
№ вузла	П, м	№ вузла	Втрати напору	П, м	Позначка землі, м	Вільний напір
1	172,73	2	20,40	152,33	89,90	62,43
1	172,73	7	5,86	166,87	88,00	78,87
1	172,73	3	7,93	164,80	88,90	75,90
1	172,73	4	7,86	164,87	88,60	76,27
2	152,33	9	18,52	133,81	90,00	43,81
9	133,81	10	5,18	128,63	89,40	39,23
10	128,63	11	0,12	128,51	88,70	39,81
11	128,51	12	5,32	123,19	84,70	38,49
12	123,19	31	0,65	122,54	84,30	38,24
31	122,54	22	4,81	117,73	84,00	33,73
22	117,73	28	0,04	117,77	83,70	34,07
28	117,77	27	3,16	120,93	83,70	37,23
27	120,93	32	30,02	150,95	82,70	68,25
22	117,73	23	12,72	105,01	83,00	22,01
23	105,01	24	0,97	104,04	83,00	21,04
24	104,04	25	2,10	106,14	83,50	22,64
25	106,14	26	1,72	107,86	83,80	24,06
26	107,86	29	9,02	116,88	84,50	32,38
29	116,88	30	0,12	117,00	84,20	32,80
29	116,88	20	0,36	117,24	84,60	32,64
20	117,24	21	0,56	117,80	84,40	33,40
21	117,80	16	6,09	123,89	85,90	37,99
16	123,89	17	0,04	123,93	86,20	37,73
7	166,87	15	38,45	128,42	87,30	41,12
15	128,42	13	0,07	128,49	87,50	40,99
13	128,49	14	4,60	123,89	86,50	37,39
7	166,87	8	12,86	154,01	83,00	71,01
8	154,01	6	0,02	154,03	82,50	71,53
8	154,01	5	0,23	154,24	86,00	68,24
17	123,93	18	5,40	118,53	85,20	33,33
18	118,53	19	0,90	117,63	85,00	32,63

2.3 Дослідження гідравлічних характеристик мережі при зміні розміщення підживлювача

2.3.1 Гідравлічний розрахунок мережі під час розміщення одного підживлювача у вузлі 8 без зміни водовідбору (варіант 2 а)

Початковий поточкорозподіл для мережі при зміні розміщення одного водоживильника без зміни водовідбору представлено на рис. А.5 (додаток А). У цьому варіанті розрахункової схеми мережі вузлові витрати відповідають вузловим витратам вихідного варіанту 1 а (табл. 2.2).

Результати розрахунку мережі за програмою "Гідрастр" представлені на А.6 (додаток А). Аналогічно розрахунку вихідного варіанту мережі визначається невігідна точка з урахуванням формул (2.4) - (2.6). Визначення невігідної точки представлено в табл. 2.6; результат визначення п'єзометричних відміток і вільних натисків у вузлах мережі - в табл. 2.7.

2.3.2 Гідравлічний розрахунок мережі при розміщенні одного підживлювача у вузлі 8 зі зміною водовідбору (варіант 2б)

Початковий поточкорозподіл для мережі при зміні розміщення одного підживлювача зі зміною водовідбору представлено на рис А.7 (додаток А). У цьому варіанті розрахункової схеми мережі вузлові витрати відповідають вузловим витратам вихідного варіанту 1 б (табл. 2.2). Результати розрахунку мережі за програмою «Гідрастр» представлені на А.2 (додаток А). Аналогічно розрахунку вихідного варіанту мережі при зміні водовідбору п'єзометричні позначки у вузлах мережі визначаються щодо точки підключення водоживильника (вузол 8) з дотриманням умови $P_{8tr} = const$. Результат – у табл. 2.8, п'єзокрти та п'єзолінії – у графічній частині (лист 02 та лист 04).

Таблиця 2.6 – Визначення п'єзометричних позначок у точці підключення водоживильника (вузол 8) щодо розглянутих вузлів мережі для варіанта 2а, м

№в узла	Н _{вл.тр.і}	Z _i	П ¹ _{тр.і}	Σh ¹ _{1-і}	П ¹ _{1(і)}
1	26	89,70	115,70	4,73	120,43
2	26	89,90	115,90	18,29	134,19
3	26	88,90	114,90	4,91	119,81
4	26	88,60	114,60	4,87	119,47
5	26	86,00	112,00	6,89	118,89
6	26	82,50	108,50	0,60	109,10
7	26	88,00	114,00	4,19	118,19
8	26	83,00	109,00		109,00
9	26	90,00	116,00	30,33	146,33
10	26	89,40	115,40	33,70	149,10
11	26	88,70	114,70	33,78	148,48
12	26	84,70	110,70	36,05	146,75
13	26	87,50	113,50	32,39	145,89
14	26	86,50	112,50	34,99	147,49
15	26	87,30	113,30	32,38	145,68
16	26	85,90	111,90	34,48	146,38
17	26	86,20	112,20	33,90	146,10
18	26	85,20	111,20	37,67	148,87
19	26	85,00	111,00	38,20	149,20
20	26	84,60	110,60	38,50	149,10
21	26	84,40	110,40	38,27	148,67
22	26	84,00	110,00	38,32	148,32
23	26	83,00	109,00	51,00	160,00
24	26	83,00	109,00	51,97	160,97
25	26	83,50	109,50	49,82	159,32
26	26	83,80	109,80	48,08	157,88
27	26	83,70	109,70	34,93	144,63
28	26	83,70	109,70	38,28	147,98
29	26	84,50	110,50	38,86	149,36
30	26	84,20	110,20	38,89	149,09
31	26	84,30	110,30	36,34	146,64
32	26	82,70	108,70	3,19	111,89

Таблиця 2.7 – Визначення п'езометричних позначок та вільних напорів у вузлах мережі для варіанта 2а, м

Вихідний вузол		Вузол, що розглядається				
№ вузла	П, м	№ вузла	Втрати напору	П, м	Позначка землі, м	Вільний напір
24	109,00	23	0,97	109,97	83,00	26,97
24	109,00	25	2,15	111,15	83,50	27,65
23	109,97	22	12,68	122,65	84,00	38,65
22	122,65	31	1,94	124,59	84,30	40,29
22	122,65	28	0,04	122,69	83,70	38,99
28	122,69	27	3,35	126,04	83,70	42,34
27	126,04	32	31,74	157,78	82,70	75,08
31	124,59	12	0,29	124,88	84,70	40,18
12	124,88	11	2,27	127,15	88,70	38,45
11	127,15	10	0,08	127,23	89,40	37,83
10	127,23	9	3,37	130,60	90,00	40,60
9	130,60	2	12,04	142,64	89,90	52,74
2	142,64	1	13,56	156,20	89,70	66,50
25	111,15	26	1,74	112,89	83,80	29,09
26	112,89	29	9,21	122,10	84,50	37,60
29	122,10	30	0,03	122,07	84,20	37,87
29	122,10	20	0,36	122,46	84,60	37,86
20	122,46	21	0,23	122,69	84,40	38,29
20	122,46	19	0,30	122,76	85,00	37,76
19	122,76	18	0,53	123,29	85,20	38,09
18	123,29	17	3,77	127,06	86,20	40,86
17	127,06	16	0,59	126,47	85,90	40,57
16	126,47	15	2,10	128,57	87,30	41,27
15	128,57	13	0,01	128,56	87,50	41,06
13	128,56	14	2,60	125,96	86,50	39,46
17	127,06	8	33,90	160,96	83,00	77,96
8	160,96	7	4,19	156,77	88,00	68,77
8	160,96	6	0,60	160,36	82,50	77,86
8	160,96	5	6,89	154,07	86,00	68,07
5	154,07	3	1,98	156,05	88,90	67,15
3	156,05	4	0,04	156,09	88,60	67,49

Таблиця 2.8 – Визначення п'езометричних позначок та вільних натисків у вузлах мережі для варіанта 2б, м

Вихідний вузол		Вузол, що розглядається				
№ вузла	П, м	№ вузла	Втрати напору	П, м	Позначка землі, м	Вільний напір
8	160,96	5	4,45	156,51	86,00	70,51
8	160,96	6	0,57	160,39	82,50	77,89
8	160,96	7	3,87	157,09	88,00	69,09
8	160,96	17	37,60	123,36	86,20	37,16
8	160,96	32	3,53	157,43	82,70	74,73
5	156,51	3	0,10	156,61	88,90	67,71
3	156,61	1	0,01	156,62	89,70	66,92
6	160,39	4	3,78	156,61	88,60	68,01
1	156,62	2	14,62	142,00	89,90	52,10
2	142,00	9	13,03	128,97	90,00	38,97
9	128,97	10	3,85	125,12	89,40	35,72
10	125,12	11	0,09	125,03	88,70	36,33
11	125,03	12	3,40	121,63	84,70	36,93
12	121,63	31	0,45	121,18	84,30	36,88
31	121,18	22	3,18	118,00	84,00	34,00
22	118,00	21	0,01	117,99	84,40	33,59
22	118,00	30	0,74	117,26	84,20	33,06
22	118,00	26	9,89	108,11	83,80	24,31
22	118,00	23	12,72	105,28	83,00	22,28
22	118,00	27	3,81	121,81	83,70	38,11
22	118,00	28	0,05	118,05	83,70	34,35
21	117,99	20	0,61	117,38	84,60	32,78
20	117,38	19	0,29	117,67	85,00	32,67
19	117,67	18	0,79	118,46	85,20	33,26
17	123,36	16	0,43	122,93	85,90	37,03
16	122,93	14	0,30	122,63	86,50	36,13
14	122,63	13	3,18	125,81	87,50	38,31
13	125,81	15	0,01	125,80	87,30	38,50
30	117,26	29	0,20	117,06	84,50	32,56
26	108,11	25	1,72	106,39	83,50	22,89
25	106,39	24	2,10	104,29	83,00	21,29

2.4 Дослідження гідравлічних характеристик мережі за зміни кількості водоживильників

2.4.1 Гідравлічний розрахунок мережі під час розміщення двох водоживильників у вузлах 1 та 8 без зміни водовідбору (варіант 3 а)

Початковий поточкорозподіл для мережі при зміні кількості водоживильників без зміни водовідбору представлено на рис. А.9 (додаток А). У цьому варіанті розрахункової схеми мережі вузлові витрати відповідають вузловим витратам вихідного варіанту 1 а (табл. 2.2).

Результати розрахунку мережі за програмою "Гідрастр" представлені в на рис. А.10 (додаток А). Невигідною точкою є така точка, яка в точках підключення підживлювачів (вузли 1 і 8) потребує найбільшої п'єзометричної позначки. Визначення невідної точки представлено у табл. 2.9; результат визначення п'єзометричних позначок та вільних напорів у вузлах мережі – у табл. 2.10.

2.4.2 Гідравлічний розрахунок мережі при розміщенні двох водоживильників у вузлах 1 та 8 зі зміною водовідбору (варіант 3 б)

Початковий поточкорозподіл для мережі при зміні кількості водоживильників зі зміною водовідбору представлено на А.11 (додаток А). У цьому варіанті розрахункової схеми мережі вузлові витрати відповідають вузловим витратам вихідного варіанту 1 б (табл. 2.2).

Результати розрахунку мережі за програмою "Гідрастр" представлені на А.12 (додаток А). П'єзометричні позначки у вузлах мережі визначені щодо тієї точки підключення водоживильника (вузол 1), в якій невідна точка вимагає найбільшої п'єзометричної позначки з дотриманням умови $\Pi_{1\text{тр}} = \text{const}$. Результат – у табл. 2.11, п'єзокарти та п'єзолінії – у графічній частині (лист 02 та лист 05).

Таблиця 2.9 – Визначення п'єзометричних позначок у точках підключення водоживильників (вузли 1 і 8) щодо розглянутих вузлів мережі для варіанта 3 а,

№ вузла	H _{св.тр.i}	Z _i	Вузол 1			Вузол 8		
			Π ¹ _{тр.i}	Σh ¹ _{1-i}	Π ¹ _{1(i)}	Π ⁸ _{тр.i}	Σh ⁸ _{1-i}	Π ⁸ _{1(i)}
1	26	89,70	115,70		115,70	115,70	-1,91	113,79
2	26	89,90	115,90	15,21	131,11	115,90	13,30	129,20
3	26	88,90	114,90	2,09	116,99	114,90	0,19	115,09
4	26	88,60	114,60	2,05	116,65	114,60	0,15	114,75
5	26	86,00	112,00	6,34	118,34	112,00	4,44	116,44
6	26	82,50	108,50	2,10	110,60	108,50	0,20	108,70
7	26	88,00	114,00	0,91	114,91	114,00	-1,00	113,00
8	26	83,00	109,00	1,91	110,91	109,00		109,00
9	26	90,00	116,00	28,80	144,80	116,00	26,89	142,89
10	26	89,40	115,40	32,53	147,93	115,40	30,62	146,02
11	26	88,70	114,70	32,62	147,32	114,70	30,71	145,41
12	26	84,70	110,70	35,34	146,04	110,70	33,43	144,13
13	26	87,50	113,50	31,39	144,89	113,50	29,48	142,98
14	26	86,50	112,50	34,31	146,81	112,50	32,40	144,90
15	26	87,30	113,30	31,40	144,70	113,30	29,49	142,79
16	26	85,90	111,90	33,93	145,83	111,90	32,02	143,92
17	26	86,20	112,20	33,52	145,72	112,20	31,61	143,81
18	26	85,20	111,20	37,38	148,58	111,20	35,47	146,67
19	26	85,00	111,00	37,93	148,93	111,00	36,02	147,02
20	26	84,60	110,60	38,25	148,85	110,60	36,34	146,94
21	26	84,40	110,40	38,01	148,41	110,40	36,11	146,51
22	26	84,00	110,00	38,08	148,08	110,00	36,15	146,15
23	26	83,00	109,00	50,76	159,76	109,00	48,83	157,83
24	26	83,00	109,00	51,73	160,73	109,00	49,80	158,80
25	26	83,50	109,50	49,59	159,09	109,50	47,66	157,16
26	26	83,80	109,80	47,84	157,64	109,80	45,92	155,72
27	26	83,70	109,70	34,89	144,59	109,70	32,96	142,66
28	26	83,70	109,70	38,04	147,74	109,70	36,11	145,81
29	26	84,50	110,50	38,62	149,12	110,50	36,71	147,21
30	26	84,20	110,20	38,67	148,87	110,20	36,76	146,96
31	26	84,30	110,30	35,69	145,99	110,30	33,78	144,08
32	26	82,70	108,70	4,94	113,64	108,70	3,03	111,73

Таблиця 2.10 – Визначення п'езометричних позначок та вільних напорів у вузлах мережі для варіанта За, м

Вихідний вузол		Вузол, що розглядається				
№ вузла	П, м	№ вузла	Втрати напору	П, м	Позначка землі, м	Вільний напір
24	109,00	23	0,97	109,97	83,00	26,97
24	109,00	25	2,14	111,14	83,50	27,64
23	109,97	22	12,68	122,65	84,00	38,65
22	122,65	31	2,39	125,04	84,30	40,74
22	122,65	28	0,04	122,69	83,70	38,99
28	122,69	27	3,15	125,84	83,70	42,14
27	125,84	32	29,93	155,77	82,70	73,07
31	125,04	12	0,35	125,39	84,70	40,69
12	125,39	11	2,72	128,11	88,70	39,41
11	128,11	10	0,09	128,20	89,40	38,80
10	128,20	9	3,73	131,93	90,00	41,93
9	131,93	2	13,59	145,52	89,90	55,62
2	145,52	1	15,21	160,73	89,70	71,03
25	111,14	26	1,74	112,88	83,80	29,08
26	112,88	29	9,22	122,10	84,50	37,60
29	122,10	30	0,05	122,05	84,20	37,85
29	122,10	20	0,37	122,47	84,60	37,87
20	122,47	21	0,23	122,70	84,40	38,30
20	122,47	19	0,32	122,79	85,00	37,79
19	122,79	18	0,55	123,34	85,20	38,14
18	123,34	17	3,86	127,20	86,20	41,00
17	127,20	16	0,41	126,79	85,90	40,89
16	126,79	15	2,53	129,32	87,30	42,02
15	129,32	13	0,01	129,31	87,50	41,81
13	129,31	14	2,92	126,39	86,50	39,89
17	127,20	8	31,61	158,81	83,00	75,81
8	158,81	7	1,00	159,81	88,00	71,81
8	158,81	6	0,20	158,61	82,50	76,11
8	158,81	5	4,44	154,37	86,00	68,37
5	154,37	3	4,25	158,62	88,90	69,72
3	158,62	4	0,04	158,66	88,60	70,06

Таблиця 2.11 – Визначення п'езометричних позначок та вільних напорів у вузлах мережі для варіанта 3б, м

Вихідний вузол		Вузол, що розглядається				
№ вузла	П, м	№ вузла	Втрати напору	П, м	Позначка землі, м	Вільний напір
1	160,73	2	16,14	144,59	89,90	54,69
1	160,73	7	0,93	159,80	88,00	71,80
1	160,73	3	1,71	159,02	88,90	70,12
1	160,73	4	1,69	159,04	88,60	70,44
2	144,59	9	14,47	130,12	90,00	40,12
9	130,12	10	4,20	125,92	89,40	36,52
10	125,92	11	0,10	125,82	88,70	37,12
11	125,82	12	3,88	121,94	84,70	37,24
12	121,94	31	0,51	121,43	84,30	37,13
31	121,43	22	3,64	117,79	84,00	33,79
22	117,79	28	0,04	117,83	83,70	34,13
28	117,83	27	3,58	121,41	83,70	37,71
27	121,41	32	33,95	155,36	82,70	72,66
22	117,79	23	12,73	105,06	83,00	22,06
23	105,06	24	0,98	104,08	83,00	21,08
24	104,08	25	2,09	106,17	83,50	22,67
25	106,17	26	1,72	107,89	83,80	24,09
26	107,89	29	8,96	116,85	84,50	32,35
29	116,85	30	0,18	117,03	84,20	32,83
29	116,85	20	0,33	117,18	84,60	32,58
20	117,18	21	0,59	117,77	84,40	33,37
21	117,77	16	5,27	123,04	85,90	37,14
16	123,04	17	0,29	123,33	86,20	37,13
7	159,80	15	33,41	126,39	87,30	39,09
15	126,39	13	0,02	126,41	87,50	38,91
13	126,41	14	3,53	122,88	86,50	36,38
7	159,80	8	1,03	158,77	83,00	75,77
8	158,77	6	0,15	158,62	82,50	76,12
8	158,77	5	1,66	157,11	86,00	71,11
17	123,33	18	5,03	118,30	85,20	33,10
18	118,30	19	0,81	117,49	85,00	32,49

2.5 Аналіз розподілу вузлових тисків при зміні кількості та розміщення водоживильників

2.5.1 Гідралічний розрахунок мережі під час розміщення двох водоживильників у вузлах 6 та 11 без зміни водовідбору (варіант 4 а)

Початковий поточкорозподіл для мережі при зміні кількості та розміщення водоживильників без зміни водовідбору представлено на рис. А.13 (додаток А). У цьому варіанті розрахункової схеми мережі вузлові витрати відповідають вузловим витратам вихідного варіанту 1 а (табл. 2.2).

Результати розрахунку мережі за програмою "Гідрастр" представлені на рис А.14 (додаток А). Невигідною точкою є така точка, яка в точках підключення підживлювачів (вузли 6 та 11) потребує найбільшої п'єзометричної позначки. Визначення невідгідної точки подано в табл. 2.12; результат визначення п'єзометричних позначок та вільних напорів у вузлах мережі – у табл. 2.13.

2.5.2 Гідралічний розрахунок мережі під час розміщення двох водоживильників у вузлах 6 та 11 зі зміною водовідбору (варіант 4 б)

Початковий поточкорозподіл для мережі при зміні кількості та розміщення водоживильників зі зміною водовідбору – на рис. А.15 (додаток А). У цьому варіанті розрахункової схеми мережі вузлові витрати відповідають вузловим витратам вихідного варіанту 1 б (табл. 2.2).

Результати розрахунку мережі за програмою "Гідрастр" представлені на рис. А.16 (додаток А). П'єзометричні позначки у вузлах мережі визначені щодо тієї точки підключення водоживильника (вузол 11), в якій невідгідна точка вимагає найбільшої п'єзометричної позначки з дотриманням умови $P_{11tr} = \text{const}$. Результат – у табл. 2.14, п'єзокарти та п'єзолінії – у графічній частині (лист 02 та лист 06).

Таблиця 2.12 – Визначення п'єзометричних позначок у вузлах підключення водоживильників (вузли 6 і 11) щодо розглянутих вузлів мережі для варіанта 4а

№ вузла	H _{св.тр.i}	Z _i	Вузол 6			Вузол 11		
			П ⁶ _{тр.i}	∑h ⁶ _{1-i}	П ⁶ _{1(i)}	П ¹¹ _{тр.i}	∑h ¹¹ _{1-i}	П ¹¹ _{1(i)}
1	26	89,70	115,70	5,45	121,15	115,70	52,93	168,63
2	26	89,90	115,90	-0,04	115,86	115,90	47,44	163,34
3	26	88,90	114,90	5,69	120,59	114,90	53,17	168,07
4	26	88,60	114,60	5,62	120,22	114,60	53,10	167,70
5	26	86,00	112,00	10,04	122,04	112,00	57,52	169,52
6	26	82,50	108,50		108,50	108,50	47,48	155,98
7	26	88,00	114,00	5,59	119,59	114,00	53,07	167,07
8	26	83,00	109,00	5,68	114,68	109,00	53,16	162,16
9	26	90,00	116,00	-6,57	109,43	116,00	40,91	156,91
10	26	89,40	115,40	-46,34	69,06	115,40	1,14	116,54
11	26	88,70	114,70	-47,48	67,22	114,70		114,70
12	26	84,70	110,70	1,00	111,70	110,70	48,45	159,15
13	26	87,50	113,50	7,33	120,83	113,50	54,81	168,31
14	26	86,50	112,50	7,75	120,25	112,50	55,23	167,73
15	26	87,30	113,30	9,21	122,51	113,30	56,69	169,99
16	26	85,90	111,90	14,14	126,04	111,90	61,62	173,52
17	26	86,20	112,20	15,11	127,31	112,20	62,59	174,79
18	26	85,20	111,20	19,75	130,95	111,20	67,23	178,43
19	26	85,00	111,00	20,47	131,47	111,00	67,95	178,95
20	26	84,60	110,60	20,97	131,57	110,60	68,45	179,05
21	26	84,40	110,40	20,72	131,12	110,40	68,20	178,60
22	26	84,00	110,00	21,28	131,28	110,00	68,76	178,76
23	26	83,00	109,00	33,92	142,92	109,00	81,40	190,40
24	26	83,00	109,00	34,88	143,88	109,00	82,36	191,36
25	26	83,50	109,50	32,69	142,19	109,50	80,17	189,67
26	26	83,80	109,80	30,93	140,73	109,80	78,41	188,21
27	26	83,70	109,70	19,97	129,67	109,70	67,42	177,12
28	26	83,70	109,70	21,30	131,00	109,70	68,74	178,44
29	26	84,50	110,50	21,49	131,99	110,50	68,97	179,47
30	26	84,20	110,20	21,78	131,98	110,20	69,26	179,46
31	26	84,30	110,30	3,21	113,51	110,30	50,66	160,96
32	26	82,70	108,70	7,15	115,85	108,70	54,60	163,30

Таблиця 2.13 – Визначення п'єзометричних позначок та вільних натисків у вузлах мережі для варіанта 4а, м

Вихідний вузол		Вузол, що розглядається				
№ вузла	П, м	№ вузла	Втрати напору	П, м	Позначка землі, м	Вільний напір
24	109,00	23	0,96	109,96	83,00	26,96
24	109,00	25	2,19	111,19	83,50	27,69
23	109,96	22	12,64	122,60	84,00	38,60
22	122,60	31	18,10	140,70	84,30	56,40
22	122,60	28	0,02	122,62	83,70	38,92
28	122,62	27	1,33	123,95	83,70	40,25
27	123,95	32	12,82	136,77	82,70	54,07
31	140,70	12	2,21	142,91	84,70	58,21
12	142,91	11	48,45	191,36	88,70	102,66
11	191,36	10	1,14	190,22	89,40	100,82
10	190,22	9	39,77	150,45	90,00	60,45
9	150,45	2	6,53	143,92	89,90	54,02
2	143,92	1	5,49	138,43	89,70	48,73
25	111,19	26	1,76	112,95	83,80	29,15
26	112,95	29	9,46	122,41	84,50	37,91
29	122,41	30	0,29	122,12	84,20	37,92
29	122,41	20	0,52	122,93	84,60	38,33
20	122,93	21	0,25	123,18	84,40	38,78
20	122,93	19	0,50	123,43	85,00	38,43
19	123,43	18	0,72	124,15	85,20	38,95
18	124,15	17	4,64	128,79	86,20	42,59
17	128,79	16	0,97	129,76	85,90	43,86
16	129,76	15	4,93	134,69	87,30	47,39
15	134,69	13	1,88	136,57	87,50	49,07
13	136,57	14	0,42	136,15	86,50	49,65
17	128,79	8	9,44	138,23	83,00	55,23
8	138,23	7	0,09	138,32	88,00	50,32
8	138,23	6	5,68	143,91	82,50	61,41
8	138,23	5	4,36	133,87	86,00	47,87
5	133,87	3	4,35	138,22	88,90	49,32
3	138,22	4	0,07	138,29	88,60	49,69

Таблиця 2.14 – Визначення п'єзометричних позначок та вільних натисків у вузлах мережі для варіанта 4б, м

Вихідний вузол		Вузол, що розглядається				
№ вузла	П, м	№ вузла	Втрати напору	П, м	Позначка землі, м	Вільний напір
11	191,36	10	1,13	190,23	89,40	100,83
11	191,36	12	50,73	140,63	84,70	55,93
10	190,23	9	39,73	150,50	90,00	60,50
9	150,50	2	6,77	143,73	89,90	53,83
9	150,50	13	15,84	134,66	87,50	47,16
13	134,66	14	0,74	133,92	86,50	47,42
14	133,92	16	7,25	126,67	85,90	40,77
13	134,66	15	2,05	132,61	87,30	45,31
15	132,61	7	5,22	137,83	88,00	49,83
7	137,83	8	0,17	137,66	83,00	54,66
8	137,66	5	1,64	136,02	86,00	50,02
5	136,02	3	1,95	137,97	88,90	49,07
3	137,97	1	0,05	138,02	89,70	48,32
12	140,63	31	2,43	138,20	84,30	53,90
31	138,20	22	19,96	118,24	84,00	34,24
22	118,24	21	0,36	118,60	84,40	34,20
22	118,24	30	0,65	117,59	84,20	33,39
30	117,59	29	0,01	117,58	84,50	33,08
29	117,58	20	0,45	118,03	84,60	33,43
20	118,03	19	0,51	118,54	85,00	33,54
19	118,54	18	1,05	119,59	85,20	34,39
18	119,59	17	5,98	125,57	86,20	39,37
22	118,24	26	9,81	108,43	83,80	24,63
26	108,43	25	1,73	106,70	83,50	23,20
25	106,70	24	2,13	104,57	83,00	21,57
24	104,57	23	0,97	105,54	83,00	22,54
22	118,24	27	1,68	119,92	83,70	36,22
22	118,24	28	0,02	118,26	83,70	34,56
27	119,92	32	16,00	135,92	82,70	53,22
3	137,97	4	0,04	138,01	88,60	49,41
8	137,66	6	5,72	143,38	82,50	60,88

2.6 Розрахунок площі зон недостатніх напорів для різних варіантів живлення мережі

Зони недостатнього натиску для різних варіантів визначаються за попередніми розрахунками. Вузлами мережі з недостатнім натиском для всіх варіантів живлення мережі при зміні водовідбору є вузли 23, 24, 25, 26, в яких не дотримується умова $H_{\text{факт}} \geq H_{\text{вл.н.}}(26 \text{ м})$ [29].

Зони недостатнього напору для варіантів досліджень показані на рис.А.17 (додаток А). Площа зони недостатнього напору визначається як площа геометричної фігури, вершинами якої є вузли з напором, що дорівнює або менше $H_{\text{вл.н.}}$. Невідомі довжини ділянок мережі (сторон багатокутника) визначені за допомогою інтерполяції залежно від напорів у досліджуваних вузлах мережі. Результат визначення площі зон для різних варіантів наведено в табл.2.15.

При зіставленні витрат в умовах зниження напорів визначається коефіцієнт:

$$K_F = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{F_2}{F_1}, \quad (2.7)$$

де F_1 – площа території водовідбору до зниження тиску, га; за рис.А.17 та табл.2.23 маємо, що $F_1 = 3,79$ га;

F_2 – площа території водовідбору з урахуванням зони недостатнього тиску, га;

Q_1, Q_2 – витрата води відповідно до і після зниження напору, м³/год.

Значення витрати після зниження напору визначається за такою формулою:

$$Q_3 = Q_{\text{р.з.}} \cdot \sqrt{\frac{H_i}{H_{\text{св.тр.}}}}, \quad (2.8)$$

де $Q_{\text{р.з.}}$ – розрахункова витрата, що припадає на зону недостатнього, м³/год;

H_i – мінімальний напір в зоні недостатнього напору, м.

Розрахункова витрата, що припадає на зону недостатнього напору:

$$Q_{p.z.} = q_{пит} \cdot \rho \cdot F \cdot K_{год} \cdot K_{доб} / 24, \quad (2.9)$$

де $q_{пит}$ – питома норма водопостачання, л/доб×люд; $q_{пит} = 160$ л/доб×люд;

ρ – густина населення, чел/га; $\rho = 280$ чел/га;

$K_{год}$ – коефіцієнт годинної нерівномірності водовідбору; $K_{год} = 1,4$;

$K_{доб}$ – коефіцієнт добової нерівномірності; $K_{доб} = 1,2$.

Зниження водовідбору визначається за такою формулою:

$$Q'_p = Q_p - \Delta Q, \quad (2.10)$$

де Q_p – розрахункова витрата для вихідного варіанту, м³/год;

ΔQ – зміна витрати, що припадає на зону недостатньої

напору, після зниження напору, м³/год:

$$\Delta Q = Q_{p.z.} - Q_z \quad (2.11)$$

Розрахунок зміни водовідбору представлений у табл.2.16.

Таблиця 2.15 – Визначення площі зони недостатнього напору для різних варіантів дослідження

№ вар.	Вузлові тиски, м							Довжини ділянок, м										Фзони, га
	22	23	24	25	26	А	Б	Б-22	Б-23	А-Б	А-22	А-26	22-23	22-26	25-26	24-25	23-24	
16	33,73	22,01	21,04	22,64	24,06	26,0	26,0	251	129	110	272	166	68	380	340	100	110	2,46
26	34,00	22,28	21,29	22,89	24,31	26,0	26,0	259	121	113	281	162	59	380	340	100	110	2,36
36	33,79	22,06	21,08	22,67	24,09	26,0	26,0	252	128	108	273	165	67	380	340	100	110	2,42
46	34,24	22,54	21,57	23,20	24,63	26,0	26,0	268	112	115	292	159	48	380	340	100	110	2,24

2.7 Порівняльна характеристика зміни напорів у мережі

При зміні водовідбору, кількості та розміщення водоживильників на ділянках мережі відбувається зміна витрати води, швидкості та втрат напору, що призводить до зміни тисків у вузлах мережі.

Зведена характеристика зміни тисків у всіх вузлах мережі для різних варіантів дослідження наведена в табл. 2.17.

Таблиця 2.16 – Оцінка зміни водовідбору

№ варіанта	F, га	K _F	Q _{р.з.} , м ³ /год	Q _{з.} , м ³ /год	ΔQ, м ³ /год	Q _р , м ³ /год	Q _р ['] , м ³ /год
1б	2,46	0,65	7,70	6,93	0,77	11,89	11,12
2б	2,36	0,62	7,40	6,69	0,70	11,89	11,19
3б	2,42	0,64	7,60	6,85	0,76	11,89	11,14
4б	2,24	0,59	7,03	6,40	0,63	11,89	11,27

Таблиця 2.17 – П'єзометричні позначки та вільні тиски у вузлах мережі для різних варіантів

Номер вузла	Позначка землі	Н _{вільн.}	Варіант 1а		Варіант 1б		Варіант 2а		Варіант 2б	
			П'єзометрична позначки	Вільний напір	П'єзометрична позначки	Вільний напір	П'єзометрична позначки	Вільний напір	П'єзометрична позначки	Вільний напір
1	89,70	26,00	172,73	83,03	172,73	83,03	156,20	66,50	156,62	66,92
2	89,90	26,00	153,17	63,27	152,33	62,43	142,64	52,74	142,00	52,10
3	88,90	26,00	164,23	75,33	164,80	75,90	156,05	67,15	156,61	67,71
4	88,60	26,00	164,30	75,70	164,87	76,27	156,09	67,49	156,61	68,01
5	86,00	26,00	152,96	66,96	154,24	68,24	154,07	68,07	156,51	70,51
6	82,50	26,00	154,14	71,64	154,03	71,53	160,36	77,86	160,39	77,89
7	88,00	26,00	166,91	78,91	166,87	78,87	156,77	68,77	157,09	69,09
8	83,00	26,00	154,13	71,13	154,01	71,01	160,96	77,96	160,96	77,96
9	90,00	26,00	135,44	45,44	133,81	43,81	130,60	40,60	128,97	38,97
10	89,40	26,00	130,76	41,36	128,63	39,23	127,23	37,83	125,12	35,72
11	88,70	26,00	130,65	41,95	128,51	39,81	127,15	38,45	125,03	36,33
12	84,70	26,00	126,69	41,99	123,19	38,49	124,88	40,18	121,63	36,93
13	87,50	26,00	131,37	43,87	128,49	40,99	128,56	41,06	125,81	38,31
14	86,50	26,00	127,56	41,06	123,89	37,39	125,96	39,46	122,63	36,13
15	87,30	26,00	131,34	44,04	128,42	41,12	128,57	41,27	125,80	38,50
16	85,90	26,00	127,64	41,74	123,89	37,99	126,47	40,57	122,93	37,03
17	86,20	26,00	127,74	41,54	123,93	37,73	127,06	40,86	123,36	37,16

18	85,20	26,00	123,60	38,40	118,53	33,33	123,29	38,09	118,46	33,26
19	85,00	26,00	122,99	37,99	117,63	32,63	122,76	37,76	117,67	32,67
20	84,60	26,00	122,61	38,01	117,24	32,64	122,46	37,86	117,38	32,78
21	84,40	26,00	122,84	38,44	117,80	33,40	122,69	38,29	117,99	33,59
22	84,00	26,00	122,64	38,64	117,73	33,73	122,65	38,65	118,00	34,00
23	83,00	26,00	109,97	26,97	105,01	22,01	109,97	26,97	105,28	22,28
24	83,00	26,00	109,00	26,00	104,04	21,04	109,00	26,00	104,29	21,29
25	83,50	26,00	111,16	27,66	106,14	22,64	111,15	27,65	106,39	22,89
26	83,80	26,00	112,91	29,11	107,86	24,06	112,89	29,09	108,11	24,31
27	83,70	26,00	125,40	41,70	120,93	37,23	126,04	42,34	121,81	38,11
28	83,70	26,00	122,67	38,97	117,77	34,07	122,69	38,99	118,05	34,35
29	84,50	26,00	122,19	37,69	116,88	32,38	122,10	37,60	117,06	32,56
30	84,20	26,00	122,09	37,89	117,00	32,80	122,07	37,87	117,26	33,06
31	84,30	26,00	126,19	41,89	122,54	38,24	124,59	40,29	121,18	36,88
32	82,70	26,00	151,44	68,74	150,95	68,25	157,78	75,08	157,43	74,73

Продовження табл. 2.17

Номер вузла	Позначка землі	Н _{віл.н.}	Варіант 3а		Варіант 3б		Варіант 4а		Варіант 4б	
			П'езометрична позначка	Вільний напір	П'езометрична позначка	Вільний напір	П'езометрична позначка	Вільний напір	П'езометрична позначка	Вільний напір
1	89,70	26,00	160,73	71,03	160,73	71,03	138,43	48,73	138,02	48,32
2	89,90	26,00	145,52	55,62	144,59	54,69	143,92	54,02	143,73	53,83
3	88,90	26,00	158,62	69,72	159,02	70,12	138,22	49,32	137,97	49,07
4	88,60	26,00	158,66	70,06	159,04	70,44	138,29	49,69	138,01	49,41
5	86,00	26,00	154,37	68,37	157,11	71,11	113,87	27,87	136,02	50,02
6	82,50	26,00	158,61	76,11	158,62	76,12	143,91	61,41	143,38	60,88
7	88,00	26,00	159,81	71,81	159,80	71,80	138,32	50,32	137,83	49,83
8	83,00	26,00	158,81	75,81	158,77	75,77	138,23	55,23	137,66	54,66
9	90,00	26,00	131,93	41,93	130,12	40,12	150,45	60,45	150,50	60,50
10	89,40	26,00	128,20	38,80	125,92	36,52	190,22	100,82	190,23	100,83
11	88,70	26,00	128,11	39,41	125,82	37,12	191,36	102,66	191,36	102,66
12	84,70	26,00	125,39	40,69	121,94	37,24	142,91	58,21	140,63	55,93
13	87,50	26,00	129,31	41,81	126,41	38,91	136,57	49,07	134,66	47,16
14	86,50	26,00	126,39	39,89	122,88	36,38	136,15	49,65	133,92	47,42
15	87,30	26,00	129,32	42,02	126,39	39,09	134,69	47,39	132,61	45,31
16	85,90	26,00	126,79	40,89	123,04	37,14	129,76	43,86	126,67	40,77
17	86,20	26,00	127,20	41,00	123,33	37,13	128,79	42,59	125,57	39,37

18	85,20	26,00	123,34	38,14	118,30	33,10	124,15	38,95	119,59	34,39
19	85,00	26,00	122,79	37,79	117,49	32,49	123,43	38,43	118,54	33,54
20	84,60	26,00	122,47	37,87	117,18	32,58	122,93	38,33	118,03	33,43
21	84,40	26,00	122,70	38,30	117,77	33,37	123,18	38,78	118,60	34,20
22	84,00	26,00	122,65	38,65	117,79	33,79	122,60	38,60	118,24	34,24
23	83,00	26,00	109,97	26,97	105,06	22,06	109,96	26,96	105,54	22,54
24	83,00	26,00	109,00	26,00	104,08	21,08	109,00	26,00	104,57	21,57
25	83,50	26,00	111,14	27,64	106,17	22,67	111,19	27,69	106,70	23,20
26	83,80	26,00	112,88	29,08	107,89	24,09	112,95	29,15	108,43	24,63
27	83,70	26,00	125,84	42,14	121,41	37,71	123,95	40,25	119,92	36,22
28	83,70	26,00	122,69	38,99	117,83	34,13	122,62	38,92	118,26	34,56
29	84,50	26,00	122,10	37,60	116,85	32,35	122,41	37,91	117,58	33,08
30	84,20	26,00	122,05	37,85	117,03	32,83	122,12	37,92	117,59	33,39
31	84,30	26,00	125,04	40,74	121,43	37,13	140,70	56,40	138,20	53,90
32	82,70	26,00	155,77	73,07	155,36	72,66	136,77	54,07	135,92	53,22

РОЗДІЛ 3 ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЩОДО ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ РІЗНИХ ВАРІАНТАХ РОЗМІЩЕННЯ ВОДОПОЖИВАЧІВ

Подача води в мережу здійснюється за допомогою насосів, встановлених на насосній станції другого підйому. Ситуаційний план розміщення насосної станції та водопровідної мережі наведено в графічній частині.

Розрахункова витрата кожного з напірних водоводів:

$$Q_{\text{н.в.}} = Q_{\text{max.н.с.}} / n_{\text{н}}, \quad (3.1)$$

де $Q_{\text{max.н.с.}}$ – максимальна витрата води, що подається в мережу, м³/год;

$$Q_{\text{max.н.с.}} = 275 \text{ л/с} = 0,275 \text{ м}^3/\text{с};$$

$n_{\text{н}}$ – кількість напірних водоводів; приймається $n_{\text{н}} = 2$ [2, п.7.6].

$$Q_{\text{н.в.}} = 0,275 / 2 = 0,138 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Діаметр напірного водоводу визначається за такою формулою:

$$d_{\text{н}} = \sqrt{4 \cdot Q_{\text{н.в.}} / \pi \cdot v_{\text{н}}}, \quad (3.2)$$

де $v_{\text{н}}$ – швидкість руху води в напірному водоводі, м/с, приймається $v_{\text{н}} = 1,3$ м/с [2, п.7.9].

$$d_{\text{н}} = \sqrt{4 \cdot 0,138 / 3,14 \cdot 1,3} = 0,37 \text{ м} \approx 350 \text{ мм}.$$

Для напірних водоводів при $Q_{\text{н.в.}} = 138$ л/с та діаметрі $d_{\text{н}} = 350$ мм приймається $v_{\text{н}} = 1,33$ м/с, $1000i = 7,10$ [11].

Необхідний напір насосів обчислюється за такою формулою:

$$H_{\text{п}} = H_{\text{Г}} + h_{\text{к}} + h_{\text{в}} + h_{\text{з}}, \quad (3.3)$$

де H_r – геометрична висота підйому, м;

h_k – сумарні втрати напору у всмоктуючих та напірних комунікаціях насосної станції, м; прийняті $h_k = 1,5$ м [10];

h_b – втрати напору у водоводах при максимальній подачі насосної станції, м;

h_z – запас на вилив з напірного трубопроводу, рівний 1,0 м [10].

Геометрична висота підйому визначається за такою формулою:

$$H_r = \Pi_i - Z, \quad (3.4)$$

де Π_i – п'єзометрична позначка в точці підключення водоводів від насосної станції до мережі для різних варіантів, м;

Z – відмітка найнижчого рівня води в РЧВ, м; $Z = 77$ м.

Геометрична висота підйому для різних варіантів складе: для варіанта 1а,б при $\Pi_1 = 172,73$ м (по табл.2.7)

$$H_{1r} = 172,73 - 77 = 95,73 \text{ м};$$

- для варіанта 2а,б при $\Pi_8 = 160,96$ м (по табл.2.12)

$$H_{8r} = 160,96 - 77 = 83,96 \text{ м};$$

- для варіанта 3а,б при $\Pi_1 = 160,73$ м; $\Pi_8 = 158,81$ м (по табл.2.17)

$$H_{1r} = 160,73 - 77 = 83,73 \text{ м};$$

$$H_{8r} = 158,81 - 77 = 81,81 \text{ м};$$

- для варіанта 4а,б при $\Pi_{11} = 191,36 \text{ м}$; $\Pi_6 = 143,91 \text{ м}$ (по табл.2.22)

$$H_{11r} = 191,36 - 77 = 114,36 \text{ м};$$

$$H_{6r} = 143,91 - 77 = 66,91 \text{ м}.$$

Втрати напору у водоводах за максимального водоспоживання:

$$h_b = 1,1 \cdot i \cdot \lambda, \quad (3.5)$$

де i – питомі втрати напору;

λ – довжина водоводу, м; визначається за ситуаційним планом для різних варіантів. Втрати напору у водоводах становитимуть:

для варіанта 1а, б при $\lambda_1 = 2200 \text{ м}$

$$h_{b1} = (1,1 \cdot 7,10 : 1000) \cdot 2200 = 17,18 \text{ м};$$

- для варіанта 2а, б при $\lambda_8 = 2200 \text{ м}$

$$h_{b8} = (1,1 \cdot 7,10 : 1000) \cdot 2200 = 17,18 \text{ м};$$

- для варіанта 3а, б при $\lambda_1 = 2200 \text{ м}$; $\lambda_8 = 2200 \text{ м}$

$$h_{b1} = (1,1 \cdot 7,10 : 1000) \cdot 2200 = 17,18 \text{ м};$$

$$h_{B8} = (1,1 \cdot 7,10 : 1000) \cdot 2200 = 17,18 \text{ м};$$

- для варіанта 4а, б при $\lambda_{11} = 1100 \text{ м}$; $\lambda_6 = 2700 \text{ м}$

$$h_{B11} = (1,1 \cdot 7,10 : 1000) \cdot 1100 = 8,59 \text{ м};$$

$$h_{B6} = (1,1 \cdot 7,10 : 1000) \cdot 2700 = 21,09 \text{ м}.$$

Необхідний напір насосів для варіантів складе: для варіанта 1а, б

$$H_{p1} = 95,73 + 1,5 + 17,18 + 1,0 = 115,41 \text{ м};$$

- для варіанта 2а, б

$$H_{p8} = 83,96 + 1,5 + 17,18 + 1,0 = 103,64 \text{ м};$$

- для варіанта 3а, б

$$H_{p1} = 83,73 + 1,5 + 17,18 + 1,0 = 103,41 \text{ м};$$

$$H_{p8} = 81,81 + 1,5 + 17,18 + 1,0 = 101,49 \text{ м};$$

- для варіанта 4а,б

$$H_{p11} = 114,36 + 1,5 + 8,59 + 1,0 = 125,45 \text{ м};$$

$$H_{p6} = 66,91 + 1,5 + 21,09 + 1,0 = 90,50 \text{ м.}$$

Кількість активної електроенергії, що витрачається на підйом і транспортування води протягом року визначається за формулою, кВт·год:

$$E = \frac{2,72 \cdot Q \cdot H}{\eta_1 \cdot \eta_2}, \quad (3.6)$$

де 2,72 – питома витрата електроенергії, що витрачається на підйом 1000 м³ води на 1 м;

Q – кількість води, що перекачується за рік, тис. м³;

H – напір насоса, м;

η_1 – коефіцієнт корисної дії насосів; $\eta_1 = 0,78$ [10];

η_2 – коефіцієнт корисної дії для двигунів, $\eta_2 = 0,92$ [10].

Кількість води, що перекачується протягом року, визначається за формулою:

$$Q = q \cdot T, \quad (3.7)$$

де q – витрата води, що надходить до міської водопровідної мережі, м³/добу; за характеристикою вихідних даних для досліджень

$$q = 275,0 \text{ л/с} = 990,0 \text{ м}^3/\text{год} = 23760 \text{ м}^3/\text{добу};$$

T – кількість днів на рік; T = 365 днів

$$Q = 23760 \cdot 365 = 8672400 \text{ м}^3/\text{год} = 8672,4 \text{ тис.м}^3/\text{рік.}$$

З урахуванням формули (3.6) кількість активної електроенергії для різних варіантів становитиме:

$$E_1 = \frac{2,72 \cdot 8672,4 \cdot 115,41}{0,78 \cdot 0,92} = 3793754 \text{ кВт}\cdot\text{год};$$

$$E_2 = \frac{2,72 \cdot 8672,4 \cdot 103,64}{0,78 \cdot 0,92} = 3406851 \text{ кВт}\cdot\text{год};$$

$$E_3 = \frac{2,72 \cdot 4336,2 \cdot 103,41}{0,78 \cdot 0,92} + \frac{2,72 \cdot 4336,2 \cdot 101,49}{0,78 \cdot 0,92} = 3367734 \text{ кВт}\cdot\text{год};$$

$$E_4 = \frac{2,72 \cdot 4336,2 \cdot 125,45}{0,78 \cdot 0,92} + \frac{2,72 \cdot 4336,2 \cdot 90,50}{0,78 \cdot 0,92} = 3549351 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

Витрати на електроенергію протягом року визначаються за формулою:

$$C_3 = E_2 \cdot C_3, \quad (3.8)$$

де E_r – річна витрата електроенергії, кВт·год;

C_e – ціна 1 кВт·год, грн.; $C_3 = 6,8$ грн.

З урахуванням формул (3.6) та (3.8) витрати на електроенергію складуть:

$$C_1 = 3793754 \times 6,8 = 25793754 \text{ грн./рік};$$

$$C_2 = 3406851 \times 6,8 = 23166587 \text{ грн./рік};$$

$$C_3 = 3793754 \times 6,8 = 22900591,2 \text{ грн./рік};$$

$$C_4 = 3549351 \times 6,8 = 24135587 \text{ грн./рік};$$

ВИСНОВКИ

Отже, з урахуванням витрат за електроенергію, необхідну подачі води до досліджувану мережу міста, найвигіднішим є варіант 3, тобто. коли два водоживильники розміщені у вузлах 1 та 8.

В результаті дослідження впливу розміщення водоживильників на гідравлічні характеристики мережі можуть бути зроблені такі висновки:

1. При зміні водовідбору та зміні опору магістралей у вузлах водопровідної мережі утворюється зона недостатніх тисків, місце розташування якої для всіх варіантів дослідження залишається незмінним.

2. Показники зміни витрат води у зоні недостатніх тисків щодо різноманітних варіантів розташування водоживильників незначно відрізняються, тобто. практично рівні. Площа зони недостатніх тисків становлять ≈ 2 га.

3. З урахуванням витрат електроенергії при різному розташуванні та кількості водоживильників найбільш прийнятним є той варіант, при якому тиск у вузлу підключення водоживильника найменший. У результаті досліджень встановлено, що ця умова виконується при розташуванні двох водоживильників у вузлах 1 і 8. Необхідний напір насосів – 103,4 м.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технічний стан систем централізованого водопостачання та водовідведення. URL: <https://tinyurl.com/3pr8nmk8>
2. Добровольська О.Г., Бражний Д.В. Про відбудову об'єктів критичної інфраструктури в Україні. *Геостратегічні трансформації та траєкторія національної безпеки в контексті відбудови і сталого розвитку України*: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції (Запоріжжя, 25-26 травня 2023). Запоріжжя :ЗНУ, 2023. С.563-565.
3. Добровольська О.Г., Каведяєв О.С., Бражний Д.В. Аналіз гідравлічних режимів роботи мережі транспортування води.. *Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України*: тези доповідей III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців (Запоріжжя, 17-20 жовтня 2023). Запоріжжя :ЗНУ, 2023. С. 190-191.
4. Хоружий П.Д. Ресурсозберігаючі технології водопостачання [Текст]/ П.Д. Хоружий, Т.П. Хомутецька, В.П. Хоружий, 2008. – К.: Аграрна наука. – 534 с.
5. Новохатній В.Г. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання [Текст]: автореф. дис. докт. техн. наук./ В.Г. Новохатній – К.: КНУБА, 2012 – 32 с/
6. Ткачук О.А. Шадура В.О. Водопровідні мережі : навчальний посібник. Рівне : НУВПП, 2010. 148 с. URL : <http://ep3.nuwm.edu.ua/5163/1/V83.pdf>.
- 7.Ткачук О.А. Міські інженерні мережі : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2015. 412 с. URL: <https://tinyurl.com/vtkxvbsf>
8. Ткачук О.А. Удосконалення систем подачі та розподілення води населених пунктів: *Монографія*. – Рівне: НУВГП, 2008. – 301 с.
9. Добровольська О.Г., Водопровідні мережі : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2022.

10. Деркач І.Л. Експлуатація інженерних мереж : конспект лекцій. Харків : ХНАМГ, 2013. 180 с. URL: <https://tinyurl.com/5dt4c22k>
11. Добровольська О. Визначення впливу структури мережі на розподіл вузлових напорів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2019. № 12. С. 51-58. <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/issue/view/21/21>.
12. Душкін С.С. Коваленко . О.М., Благодарна Г.І. Експлуатація і ремонт водопровідно-каналізаційних систем : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 165 с. URL: <https://core.ac.uk/reader/132273091>.
13. Душкін С.С. Надійність водопровідно-каналізаційних систем : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 115 с. URL: <https://core.ac.uk/download/33757983.pdf>
14. Добровольська О. Оцінка ефективності використання пластмасових трубопроводів для реконструкції міських водопровідних мереж. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2022. № 17. С. 131-139. URL: <file:///C:/Users/user/Downloads/114-133-PB.pdf>.
15. Лушкін В.А., Абраменко І.Г., Барбашов І.В. Загальна характеристика та розрахунок режимів розподільних мереж : навчальний посібник. Харків : ХНАМГ, 2013. 193 с. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/28603/1/2011%20%D0%BF%D0%B5%D1%87%20%D0%9D.pdf>.
16. Добровольська О. Development of procedure to control flow distribution in water supply networks in real time. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 6/8(96). С. 17-24. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/147656>.
17. Кліментьєв І.М. Сучасний стан водопостачання населення та основні проблеми заходів щодо його оптимізації. Водопостачання та водовідведення, Буча, 2011. Вип.3. С. 57 – 58.
18. Корвер Арно, Еверс Лоренц, Ф'юстер Ерік, Галбрейт Деклан. Посібник з технологій водопостачання в умовах надзвичайних ситуацій. Берлін

: Buch- und Offsetdruckerei. 2020 227 с. . URL: https://www.emergency-wash.org/water/images/pdf/Water_Compendium_Ukraine.pdf

19. Tchorzewska-Cieslak, B. Crisis situation management issues in urban areas water supply. Journal of Polish Safety and Reliability Association Summer Safety and Reliability Seminars, 2015, Vol.2. P.135 – 145.

20. PI Core. URL: <https://digitap.com.ua/company-products/pi-core/>

21. Шлюз даних SCADA. URL: <https://tinyurl.com/5n7j8auf>

22. Tchorzewska-Cieslak, B. Water supply of urban agglomeration in crisis situation. Journal of Polish Safety and Reliability Association. 2014. Vol.5. P. 143-155.

23. Віддалений термінал MOSCAD URL:

https://www.motorolasolutions.com/ru_ru/products/scada-systems/yesterdays-products/moscad.html#tabproductinfo

24. Роїк М.В., Присяжнюк О.І., Денисюк В.О. Огляд програмних засобів статистичного аналізу даних. URL:

<http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5676>.

25. Датчики тиску. URL: <https://geonorma.com.ua/ua/g338155-datchiki-davleniya>

26. Датчики тиску МБТА URL:https://kip-elektro.com.ua/datchiki_davleniya_mida_mida-da-13p_mida-di-13p_mida-dv-13p_mida-div-13p_uk

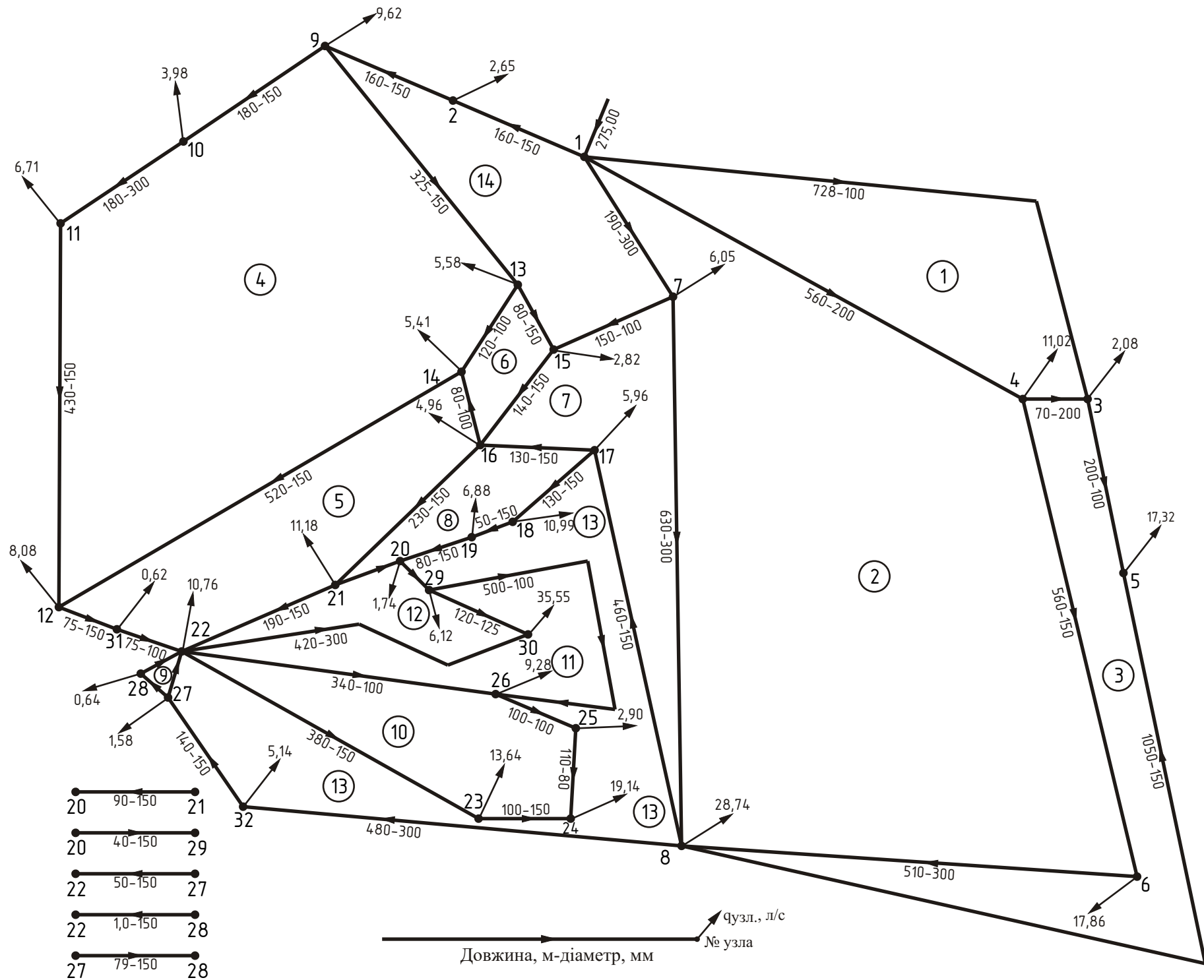
27. Діфманометри ДМ 3583 М. URL: <https://tinyurl.com/h93v4895>

28. Ультразвуковий лічильник рідини УВР-011. URL:

<http://energo.kh.ua/products/ultrasonic-liquid-meter-uvr-011/>

29. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 172 с. URL:

<http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi72/0052303.pdf>.



20	90-150	21
20	40-150	29
22	50-150	27
22	1,0-150	28
27	79-150	28

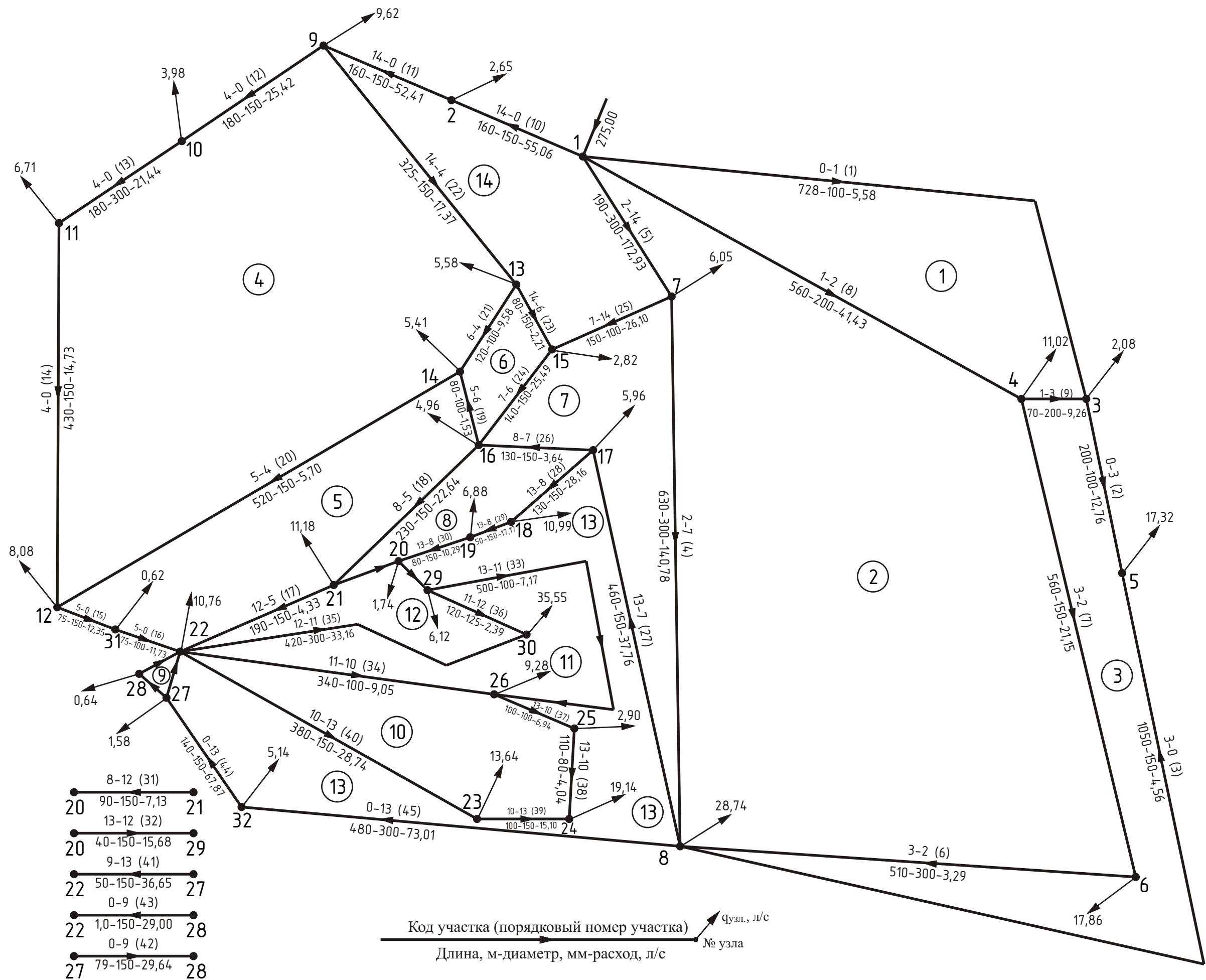


Рис.А.1 - Початковий потікорозподіл для схеми з одним підживлювачем без зміни водовідбору (варіант 1а)

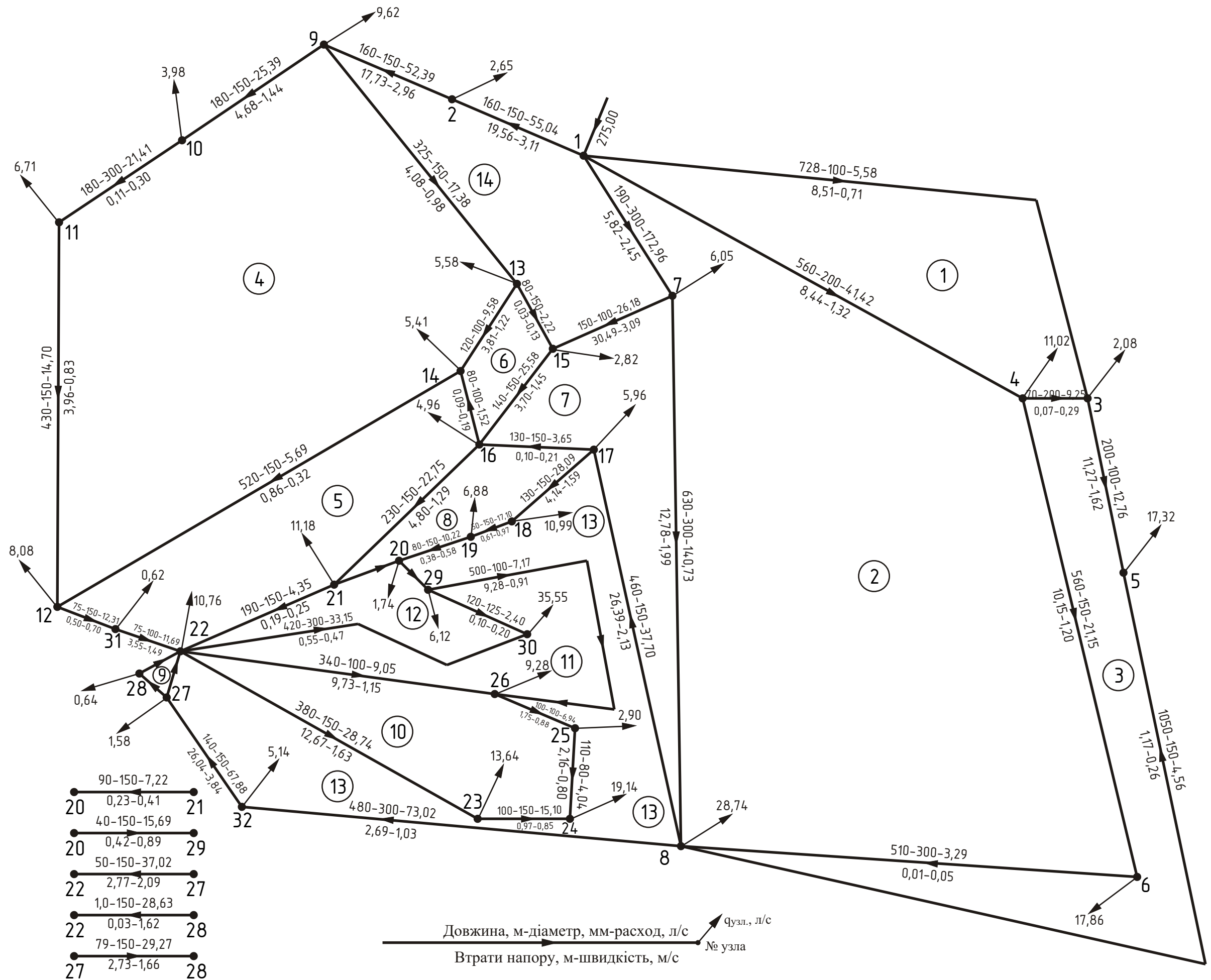


Рис.А.2 - Результати розрахунку для схеми з одним підживлювачем без зміни водовідбору (варіант 1а)

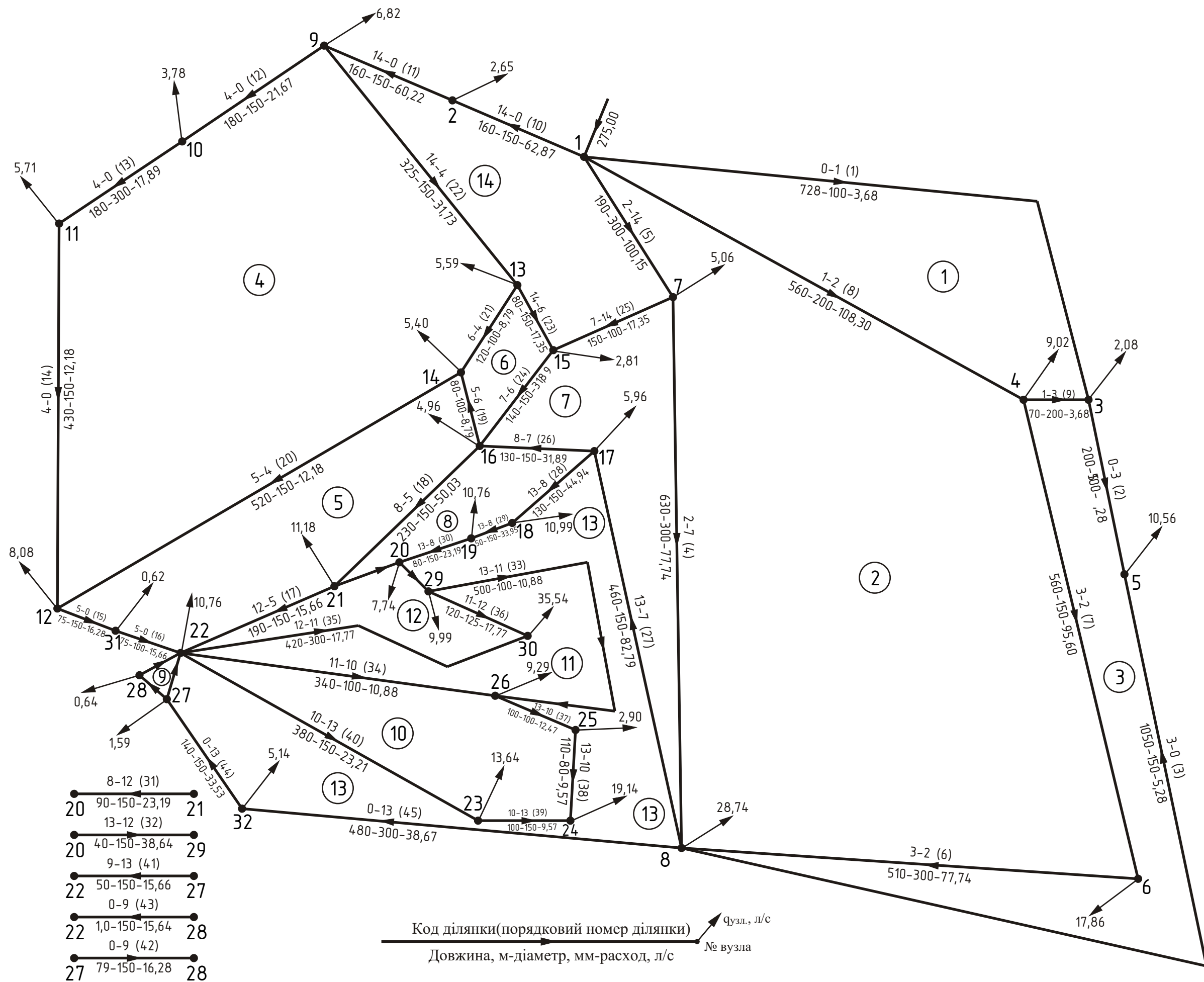


Рис.А.3 - Початковий потікорозподіл для схеми з одним підживлювачем зі зміною водовідбору (варіант

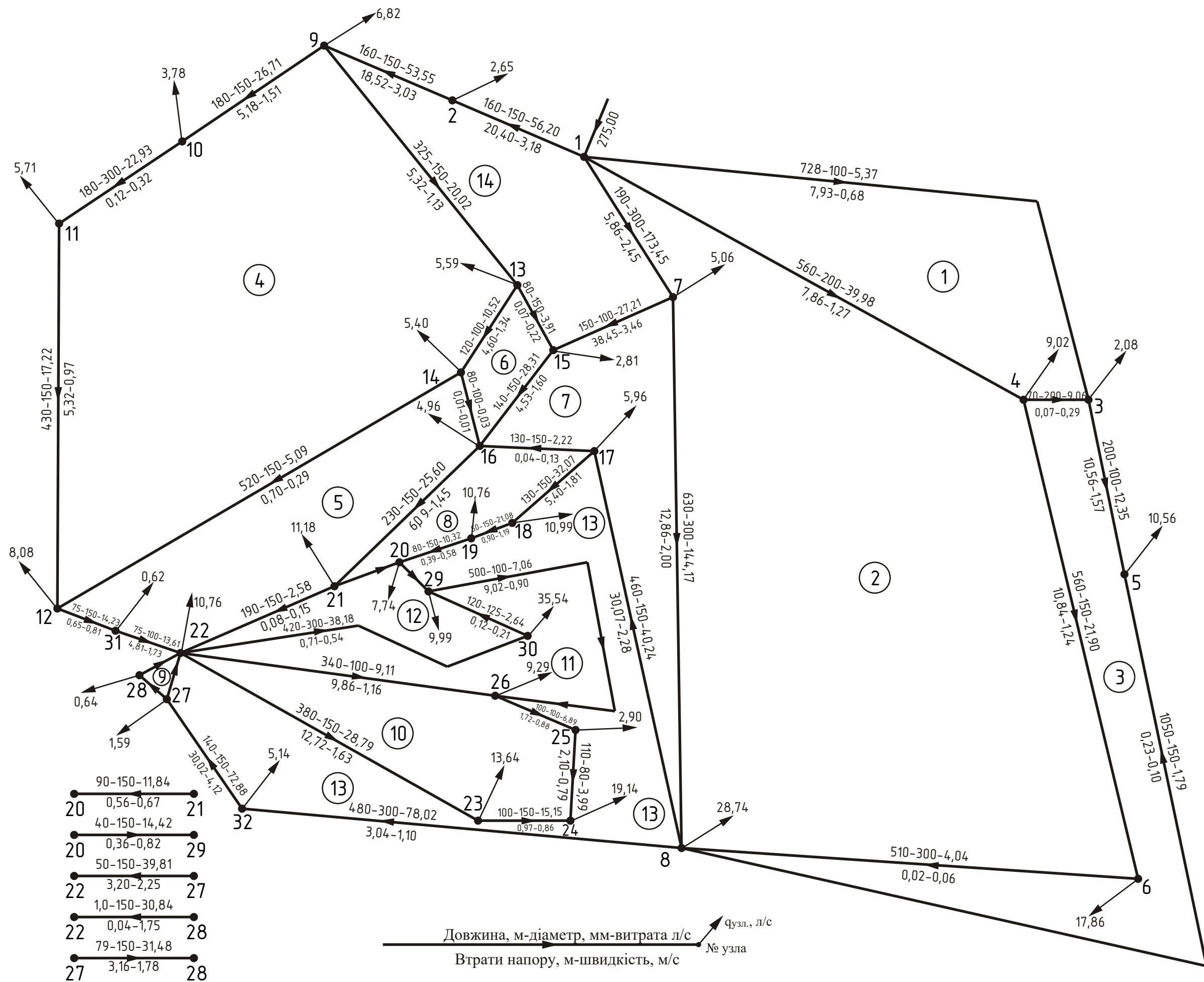


Рис.А.4 - Результати розрахунку для схеми з одним підживлювачем при зміні водовідбору (варіант 1б)

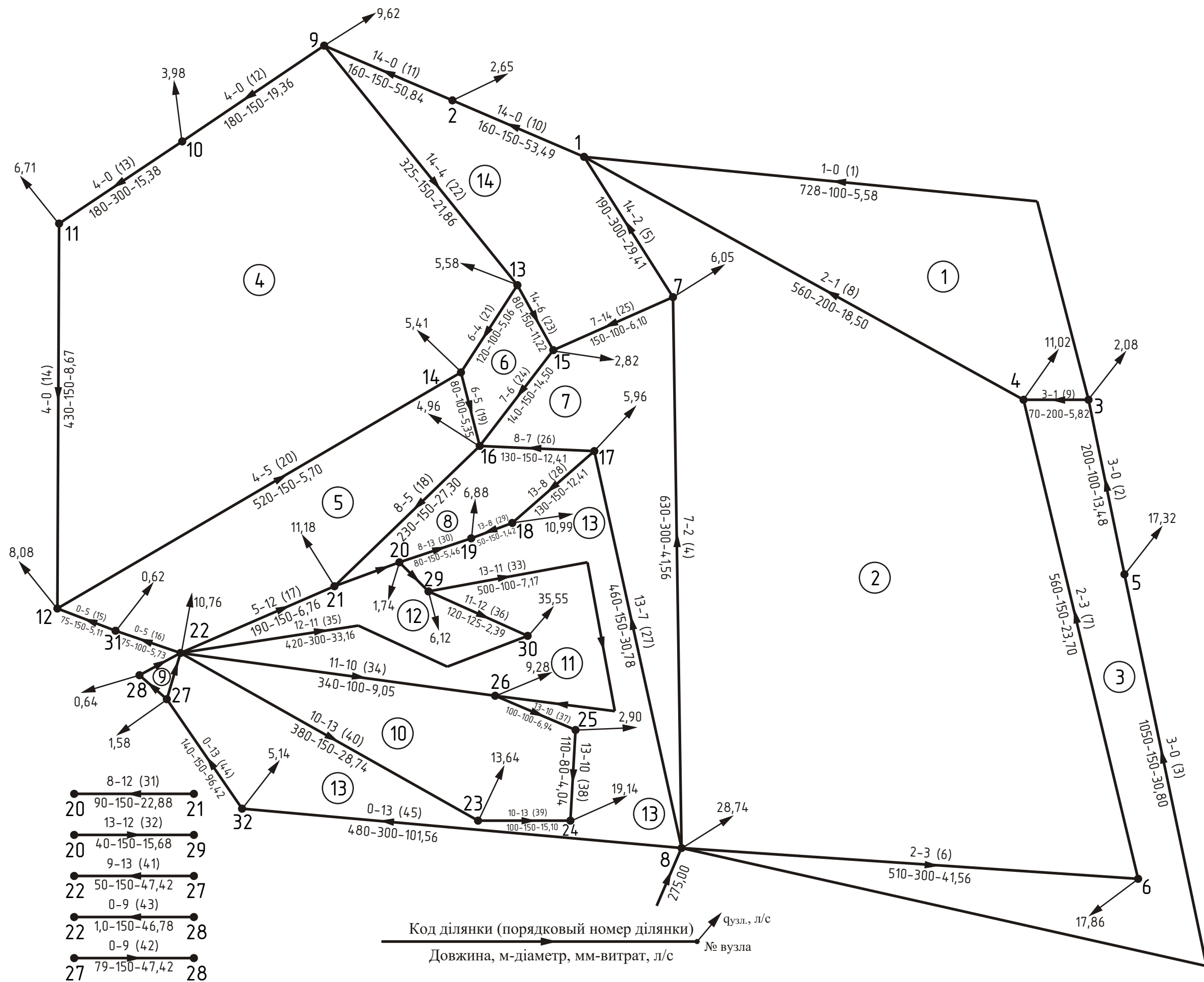


Рис.А.5 - Початковий потікорозподіл для схеми мережі зі зміною розташування підживлювача без зміни водовідбору (варіант 2а)

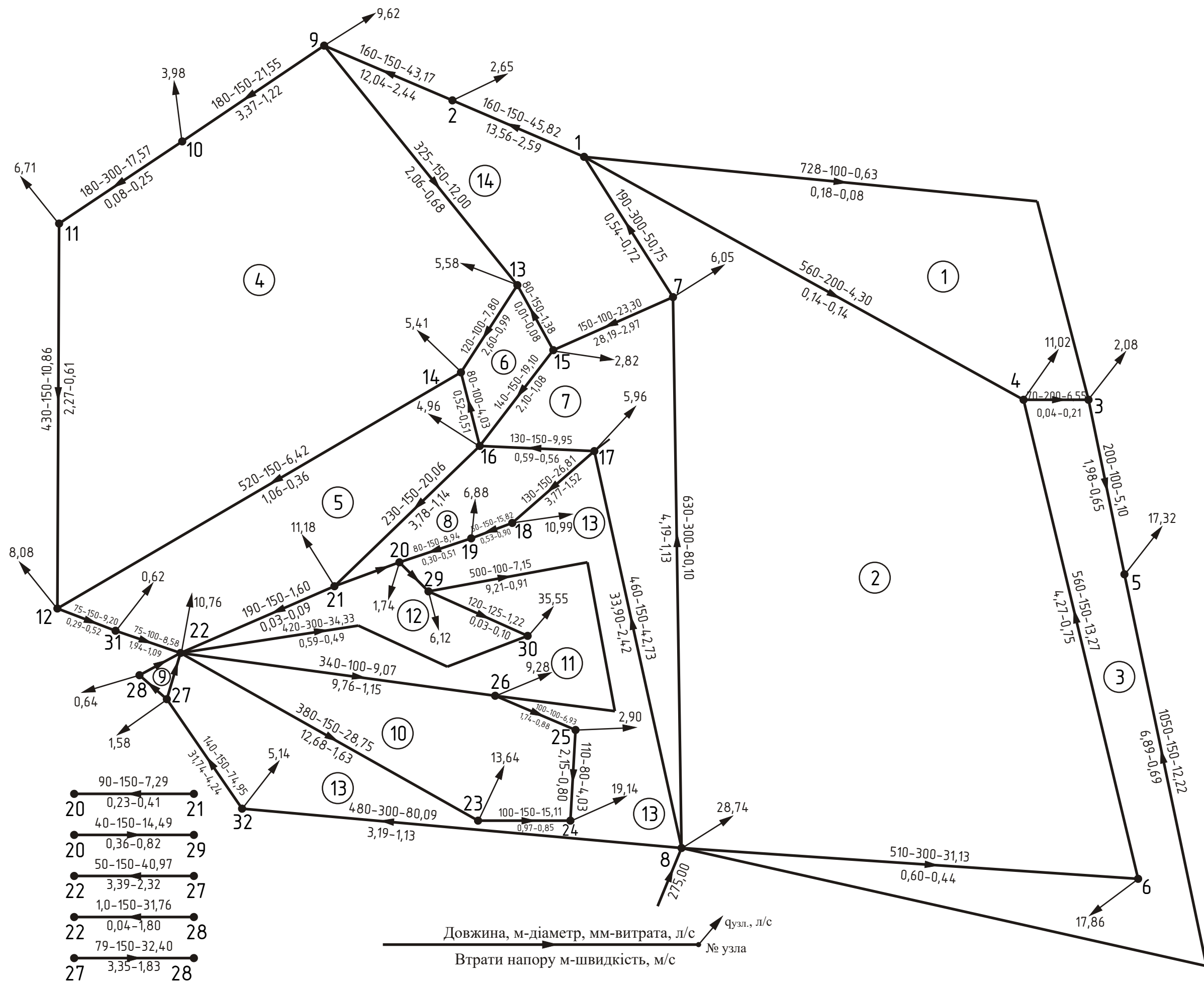


Рис.А.6 - Результати розрахунку для схеми зі зміною розташування підживлювача без зміни водовідбору (варіант 2а)

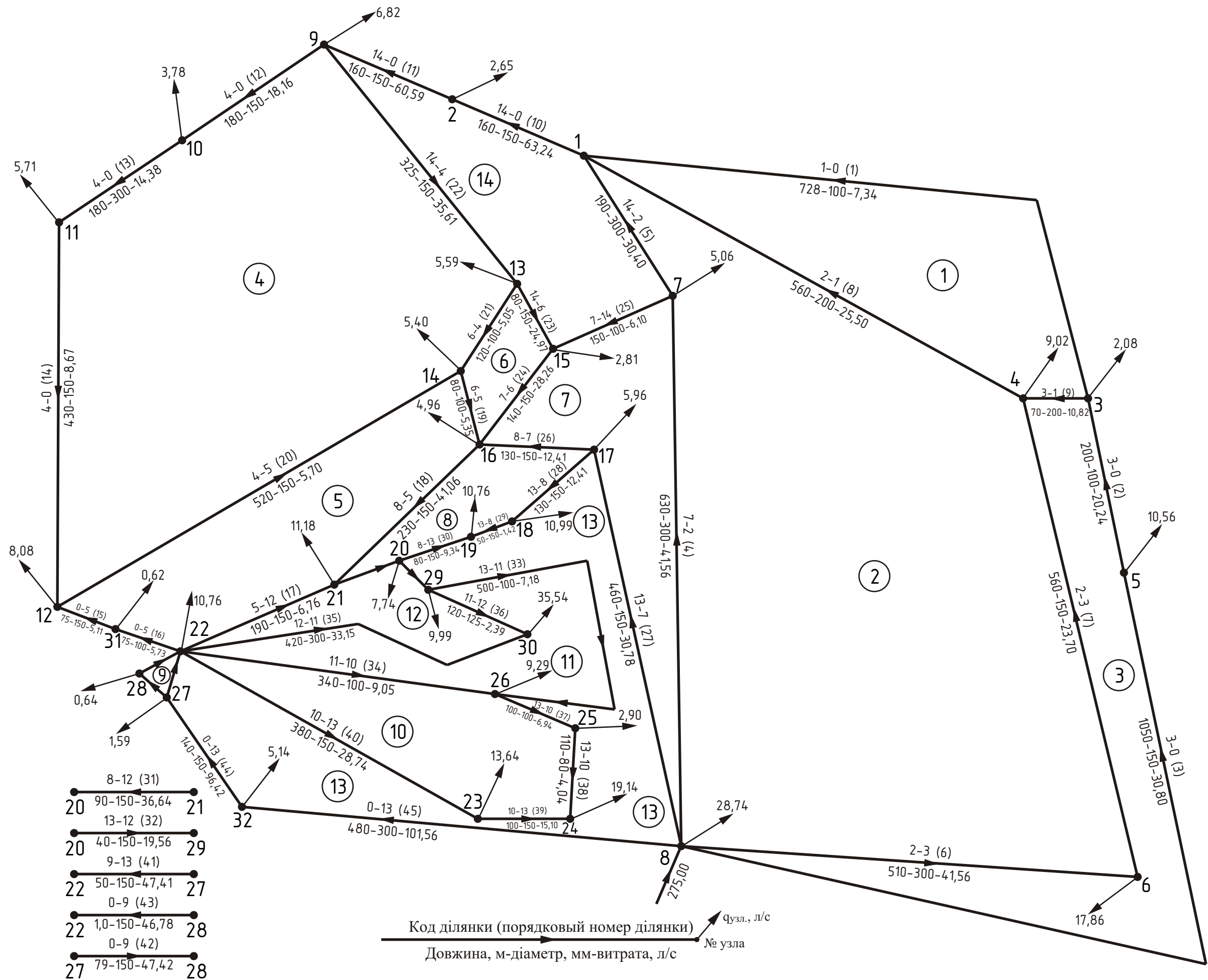


Рис.А.7 - Початковий потікорозподіл для схеми зі зміною розташування підживлювача зі зміною водовідбору (варіант 2б)

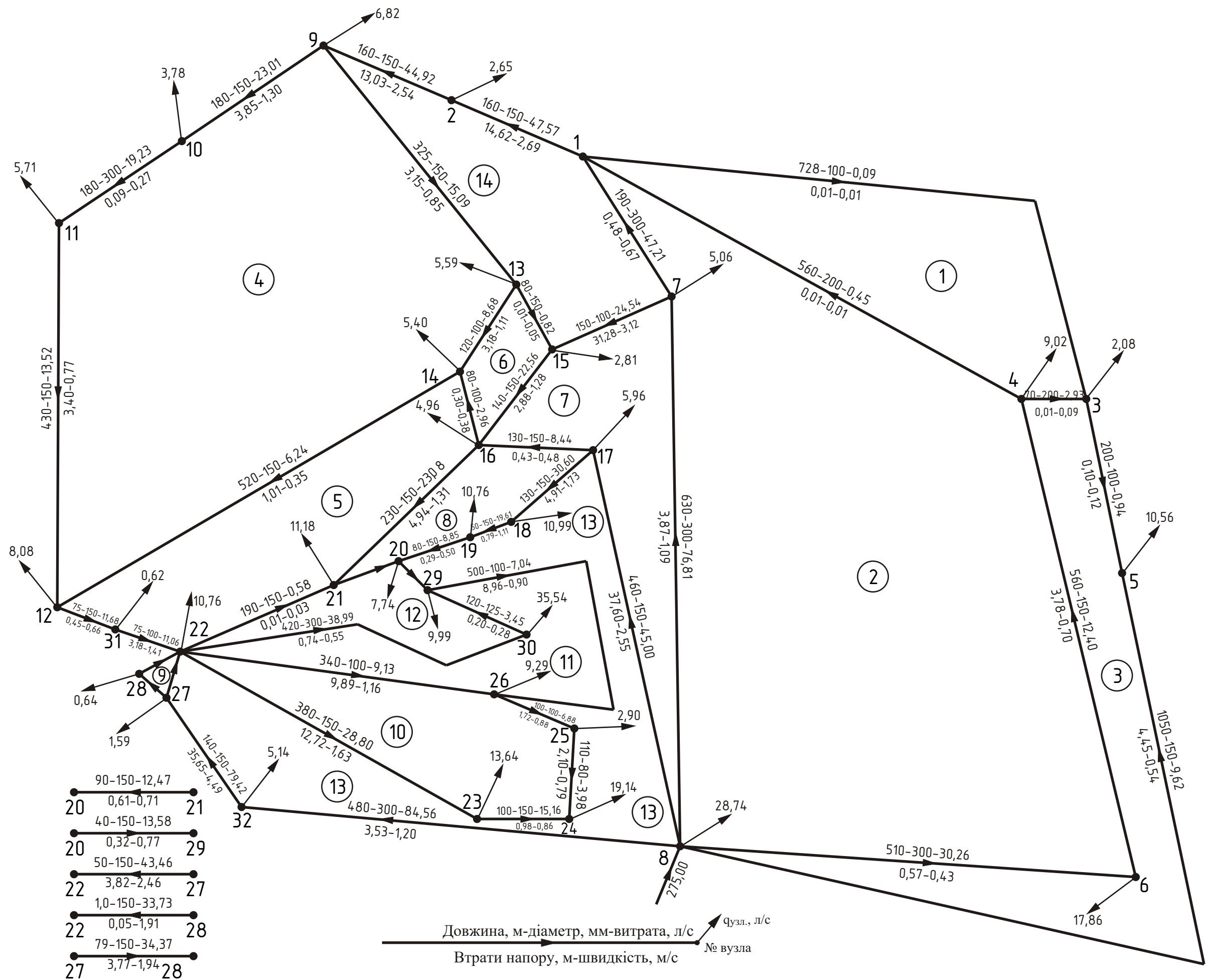


Рис.А.8 - Результати розрахунку для схеми зі зміною розташування підживлювача при зміні водовідбру (варіант 2б)

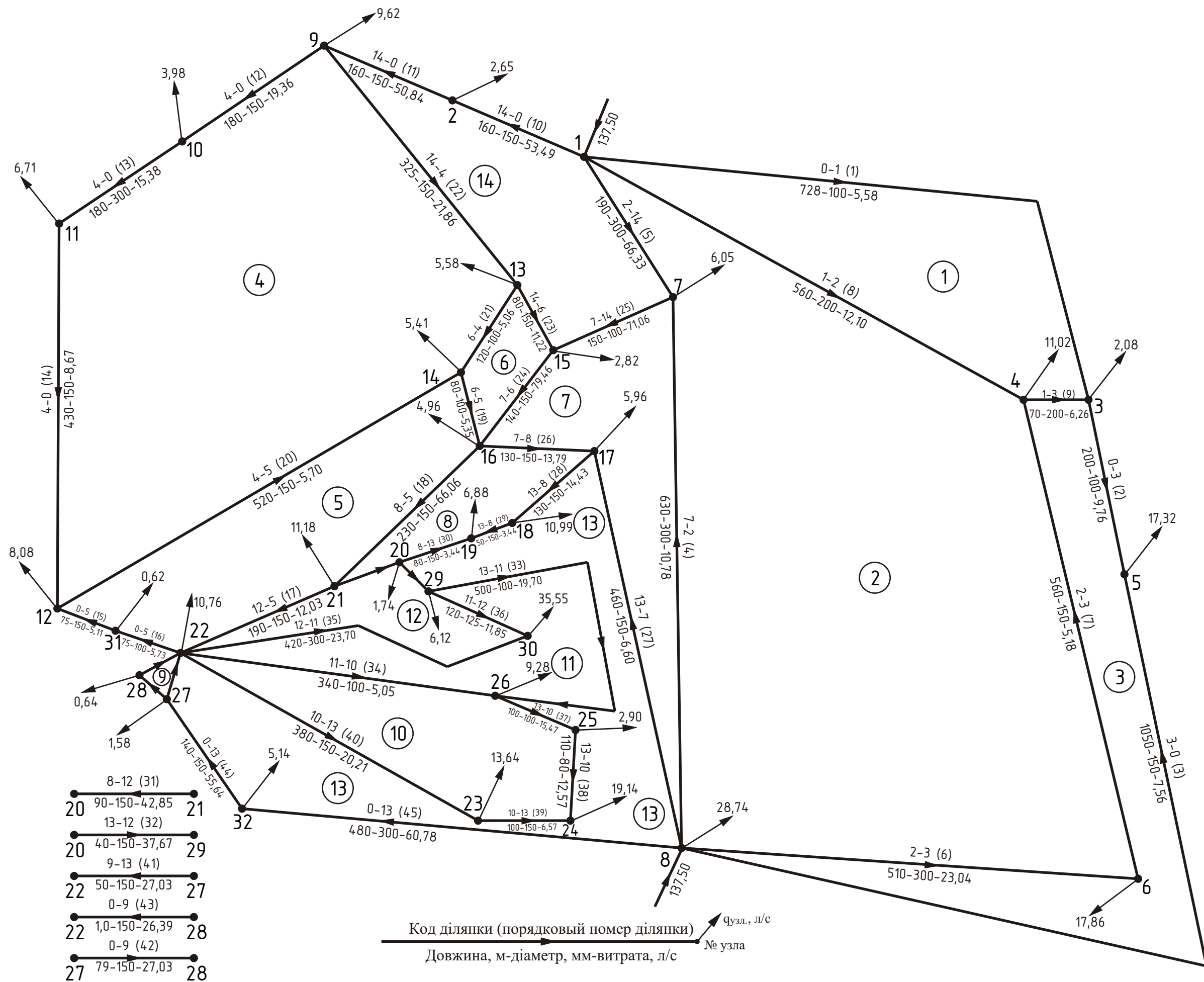


Рис.А.9 - Початковий потікорозподіл для схеми зі зміною кількості підживлювачів без зміни водовідбору (варіант 3а)

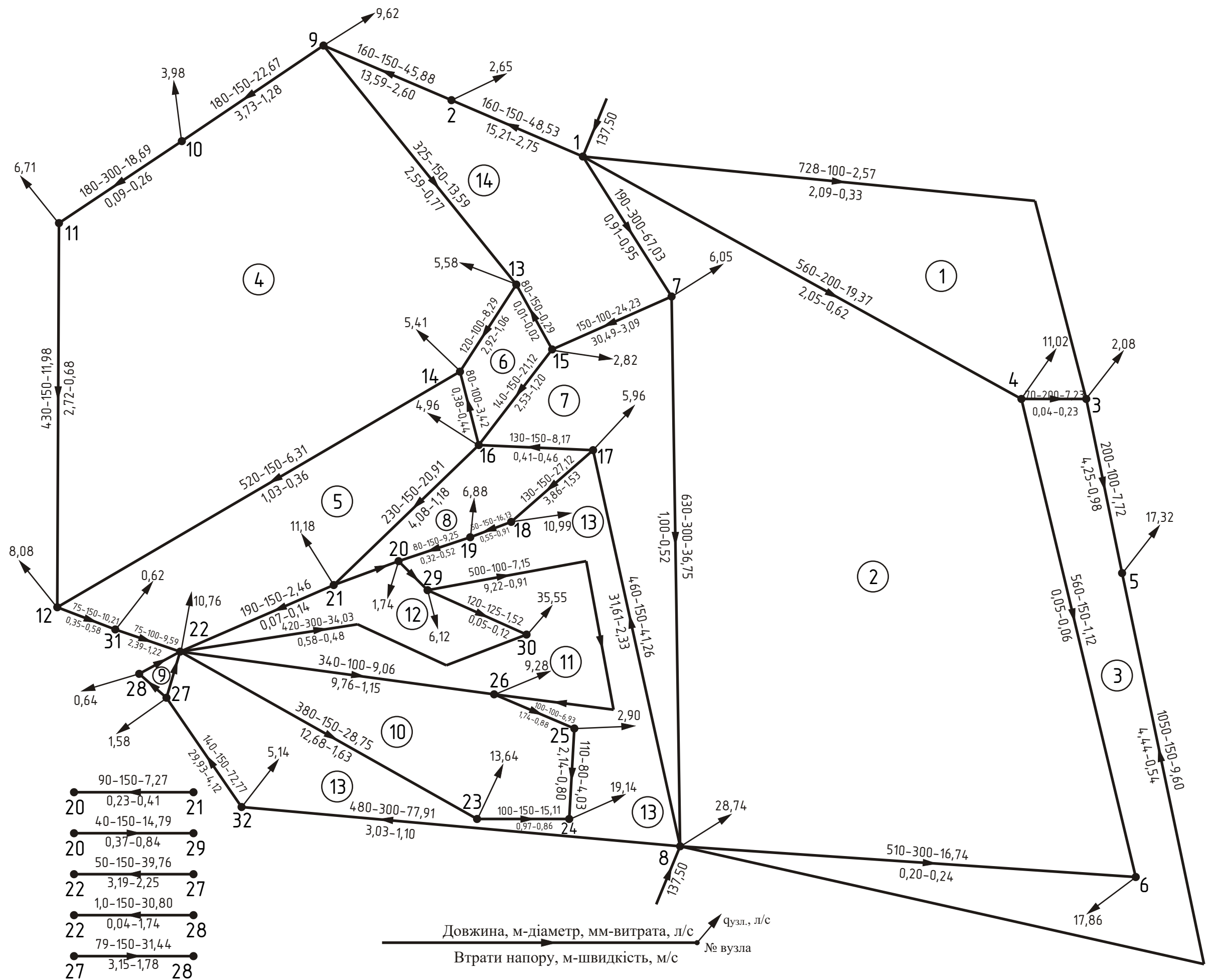


Рис.А.10 - Результати розрахунку для схеми зі зміною кількості підживлювачів без зміни водовідбору (варіант 3а)

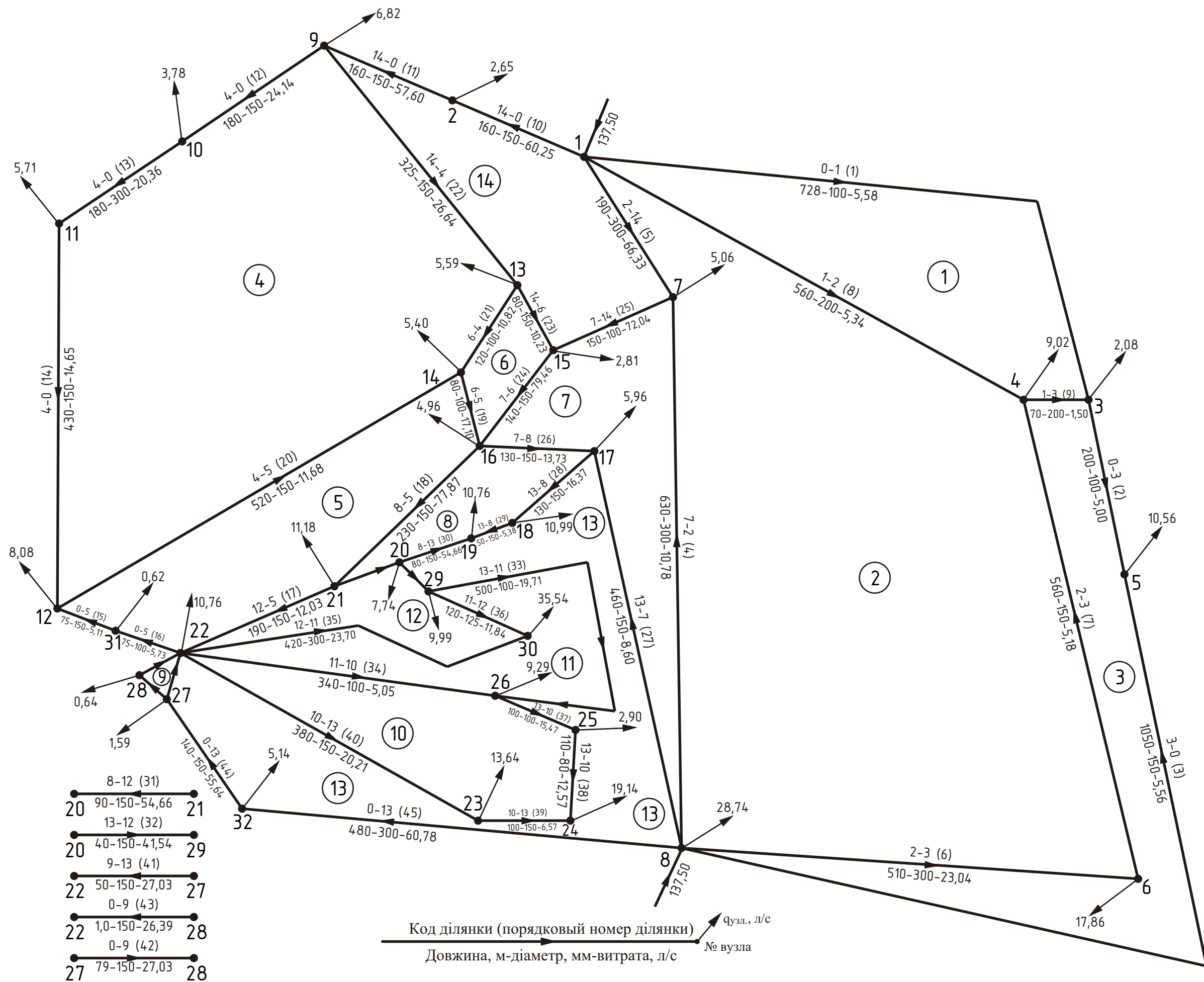


Рис.А.11 - Початковий потікорозподіл для схеми зі зміною кількості підживлювачів при зміні водовідбору (варіант 3б)

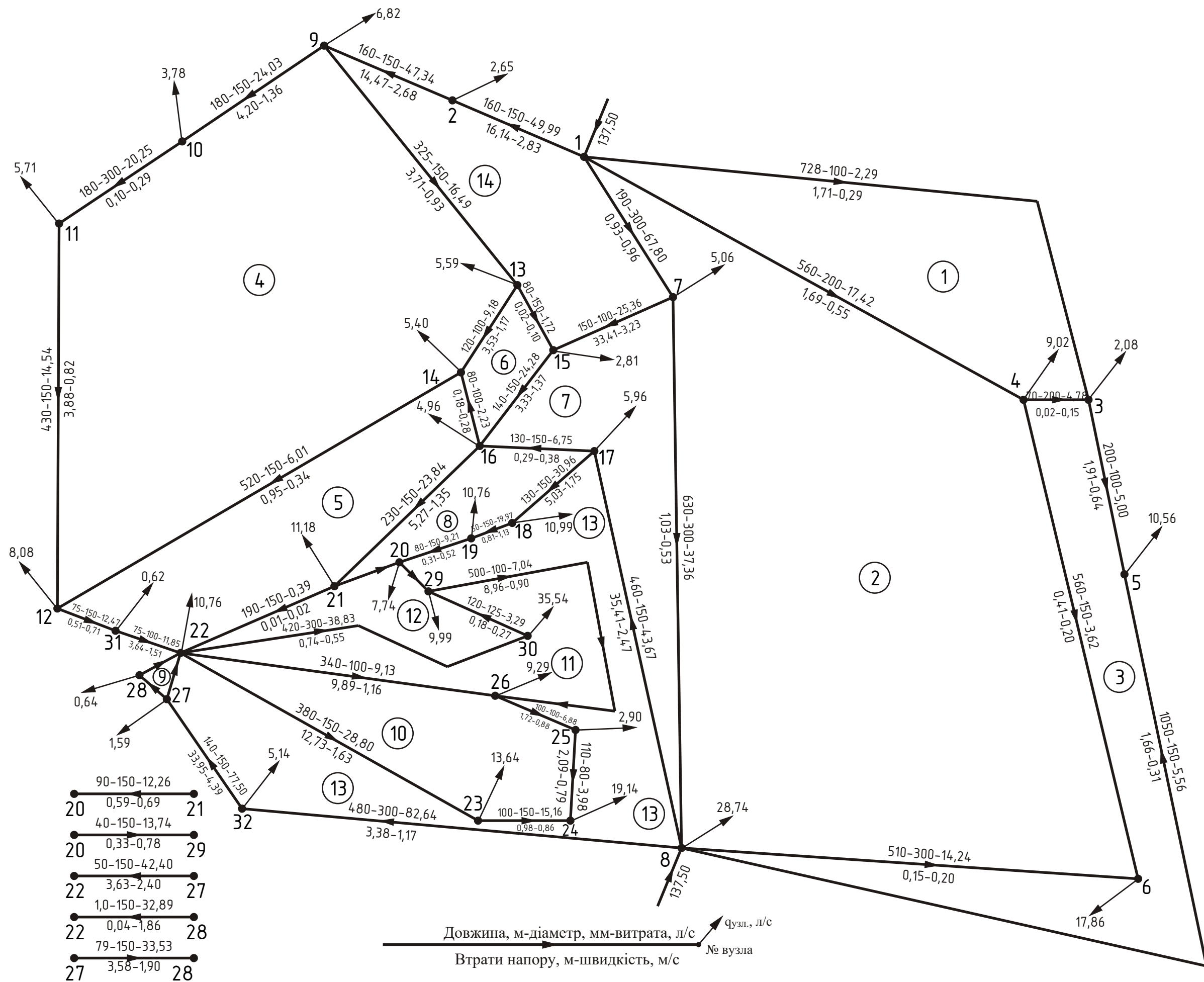


Рис.А.12 - Результати розрахунку для схеми зі зміною кількості підживлювачів при зміні водовідбору (варіант 3б)

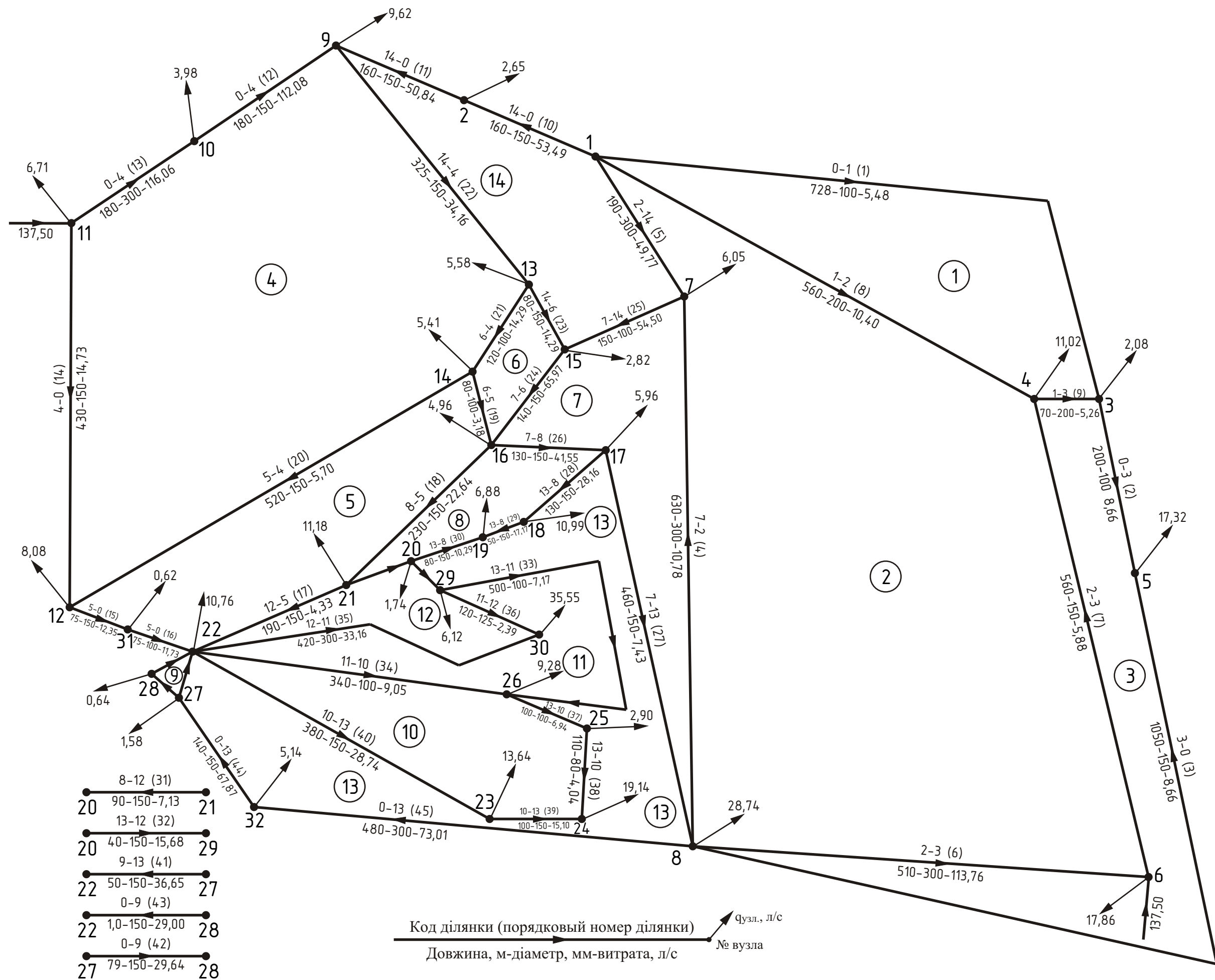


Рис.А.13 - Початковий потікорозподіл для схеми зі зміною кількості та розміщення підживлювачів без зміни водовідбору (варіант 4а)

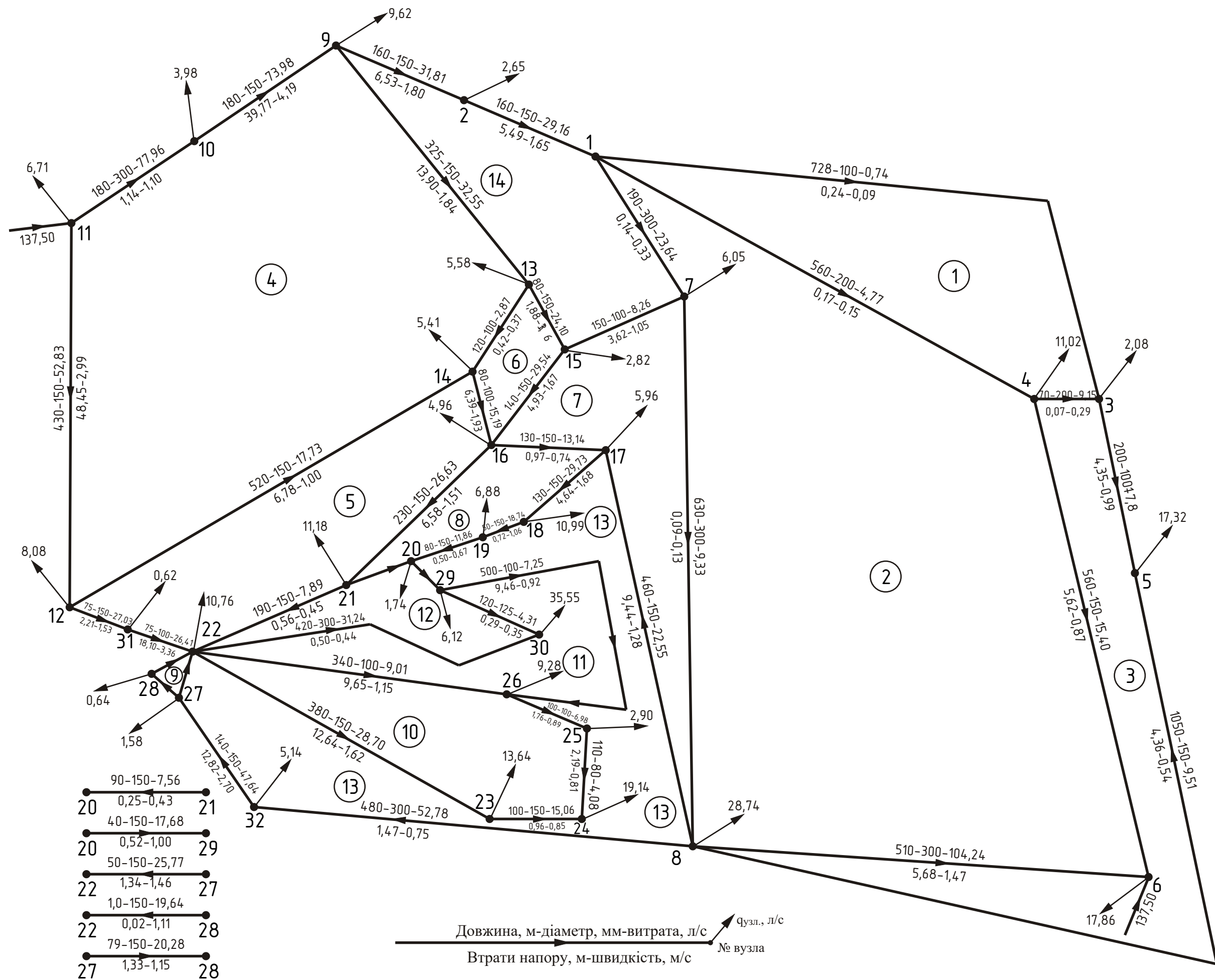


Рис.А.14 - Результати розрахунку для схеми зі зміною кількості та розміщення підживлювачів без зміни водовідбору (варіант 4а)

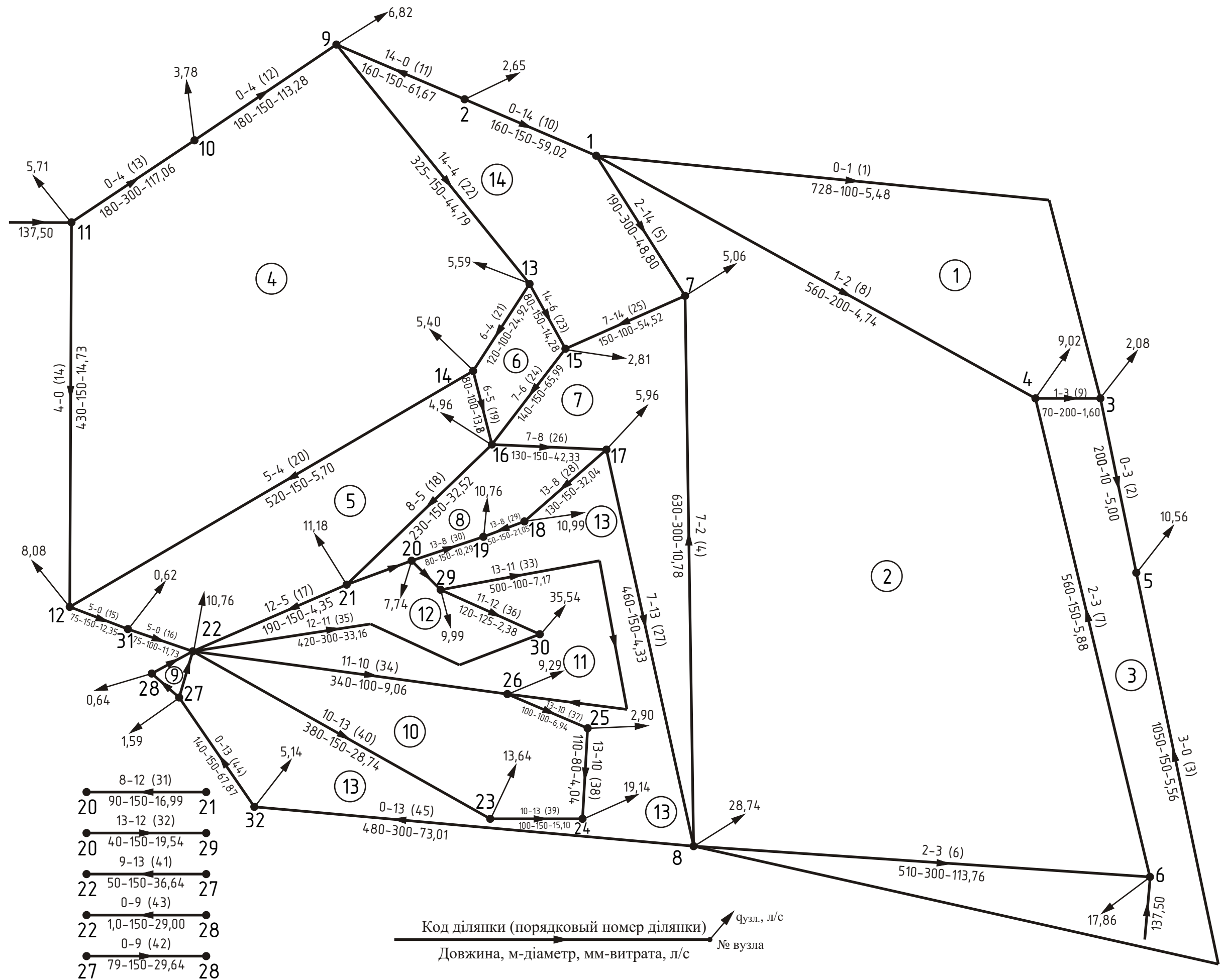


Рис.А.15 - Початковий потікорозподіл для схеми зі зміною кількості та розміщення підживлювачів при зміні водовідбору (варіант 4б)

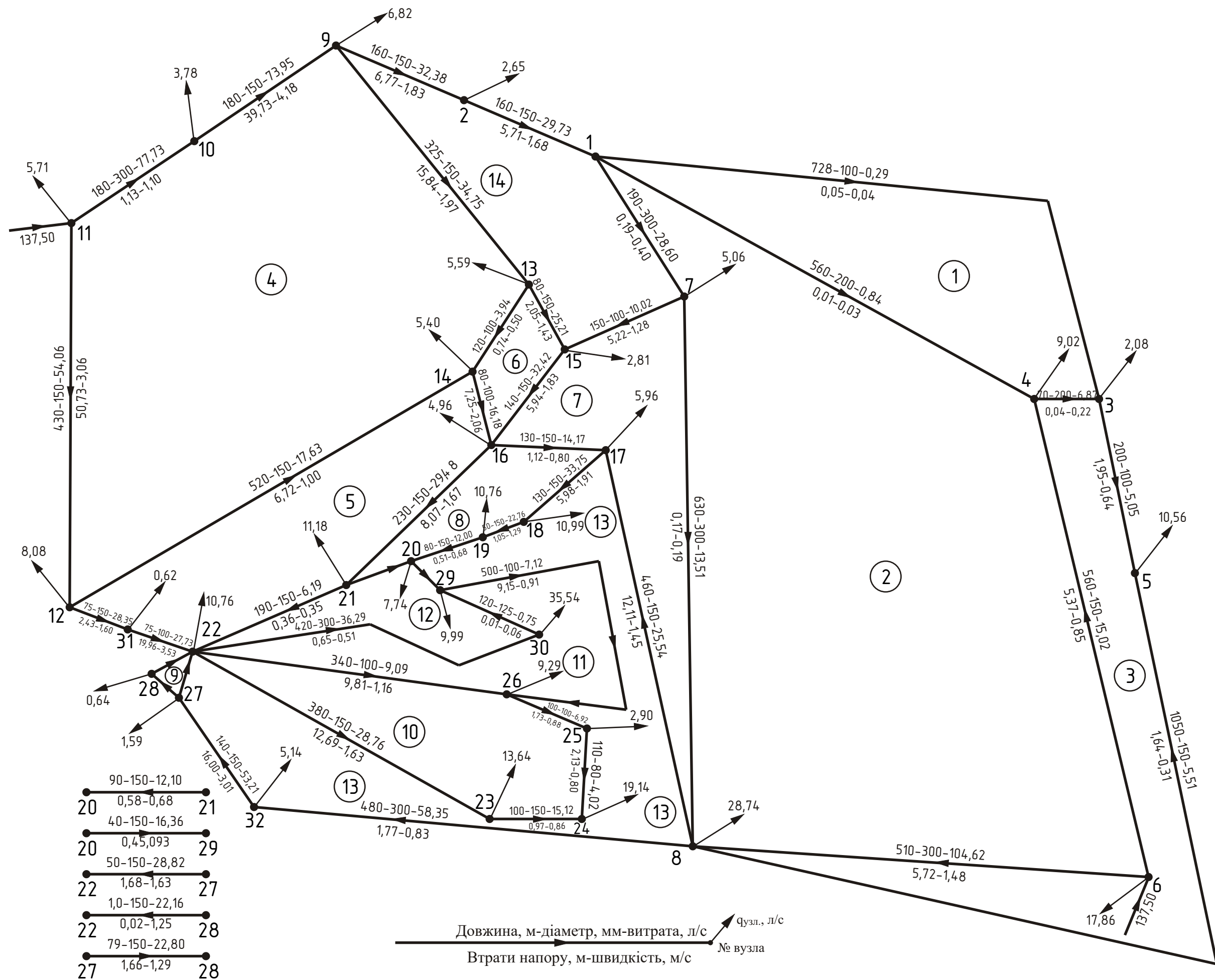



Рис.А.16 - Результати розрахунку для схеми зі зміною кількості та розташування підживлювачів при зміні водовідбору (варіант 4б)

Декларація
академічної доброчесності
здобувача ступеня вищої освіти ЗНУ

Я, Бражний Денис Вікторович, магістрант 2 курсу, заочної форми здобуття освіти, спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньої програми «Водопостачання та водовідведення», адреса електронної пошти den2858@ukr.net, підтверджую, що виконана мною кваліфікаційна робота на тему: «ОЦІНКА ВПЛИВУ УМОВ ВОДОСПОЖИВАННЯ НА ДИНАМІКУ ВУЗЛОВИХ НАПОРІВ» відповідає вимогам академічної доброчесності та не містить порушень, що визначені у ст. 42 Закону України «Про освіту», зі змістом яких ознайомлений(на);

- заявляю, що надана мною для перевірки електронна версія роботи є ідентичною її друкованій версії;

- згоден(на) на перевірку моєї роботи на відповідність критеріям академічної доброчесності у будь-який спосіб, у тому числі за допомогою інтернет-системи, а також на архівування моєї роботи в базі даних цієї системи.



підпис



підпис

Бражний Д.В
П.І.П. здобувача

Савін В.О.
П.І.П. керівника

ВІДГУК

керівника кваліфікаційної роботи (проєкту)
другого (магістерського) рівня вищої освіти,

виконаної на тему «**ОЦІНКА ВПЛИВУ УМОВ ВОДОСПОЖИВАННЯ НА
ДИНАМІКУ ВУЗЛОВИХ НАПОРІВ**» здобувачем групи 8.1922-вв-3

Бражним Денисом Вікторовичем

Представлена кваліфікаційна робота магістра присвячена розробці методики визначення тисків у вузлах водопровідної мережі з урахуванням умов живлення мережі та вузлових витрат, розробці рекомендацій стосовно регулювання тиску в мережі транспортування води. В умовах війни, питання енергоефективності інженерних систем стають актуальними, і для багатьох комунальних підприємств України виникають серйозні виклики. Це обумовлено проведенням бойових дій та інтенсивними обстрілами, які часто призводять до повного або часткового руйнування міської інфраструктури. Аварії на водопровідних мережах стають неабиякою проблемою для комунальних підприємств у багатьох країнах. Керування тиском у водопровідних мережах дозволяє зменшувати втрати води, особливо в разі довготривалої експлуатації мереж.

Виконана кваліфікаційна робота повністю відповідає поставленому завданню.

Автором представлена застосована ефективна методика дослідження, відповідно до якої в роботі виконано моделювання умов водоспоживання шляхом зміни вузлових витрат, кількості та розміщення підживлювачів, виконані гідравлічні розрахунки, за результатами яких визначені зони розташування недостатніх тисків, визначені економічні показники та розроблені рекомендації стосовно управління розподілом потоків на ділянках.

Під час виконання кваліфікаційної роботи здобувач продемонстрував застосування отриманих знань у галузі наукових досліджень, проявив опановані вміння та навички виконання необхідних розрахунків та представлення їх результатів. Це містить здатність аналізувати критично сучасний стан питань

стосовно тематики роботи, готувати наукові публікації та брати участь у наукових конференціях.

Матеріал у головних розділах викладено послідовно, з обґрунтуванням, і всі структурні компоненти кваліфікаційної роботи логічно взаємопов'язані, а висновки відповідають поставленим завданням.

Під час виконання роботи автор продемонстрував здатність самостійно розв'язувати поставлені завдання.

Якість підготовки здобувача вищої освіти Бражного Д.В. відповідає вимогам освітньо-професійної програми «Водопостачання та водовідведення» другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія галузі знань 19 Архітектура та будівництво, що дає можливість присвоєння йому кваліфікації магістра з будівництва та цивільної інженерії.

Елементи плагіату (копіляції) у кваліфікаційній роботі не виявлені.

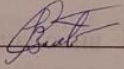
Кваліфікаційна робота другого (магістерського) рівня вищої освіти виконана у повному обсязі, відповідає встановленим вимогам і заслуговує позитивної оцінки, а її автору, **Бражному Денису Вікторовичу** може бути присвоєна кваліфікація магістра з будівництва та цивільної інженерії.

Кількість балів за шкалою ECTS 95

(відмінно)

A

Керівник кваліфікаційної роботи

Кандидат технічних наук, доцент  В.О. Савін

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти,
виконаної на тему «Розробка системи водопостачання міста з
дослідженням ефективності роботи очисних споруд»
здобувачем групи 8.1922-вв-з
Горностаєвою Ганною Сергіївною

Актуальність дослідження. Актуальність розробки елементів системи водопостачання та дослідження стосовно ефективності їх роботи пояснюється процесами, пов'язаними з відбудовою критичної інфраструктури в умовах сучасних викликів. Останні роки в Україні спрямовані на оновлення водопровідних станцій та удосконалення технологічних процесів очищення води. Ці заходи визнаються як важливі для підвищення якості питної води, підвищення ефективності технологічних процесів та забезпечення надійності роботи систем водопостачання, а також для раціонального використання матеріальних та енергетичних ресурсів.

Обґрунтованості висновків та пропозицій. Кваліфікаційна робота вирізняється високим ступенем виконання, що включає докладне дослідження обраної проблеми та врахування різних її аспектів. У роботі використані загальнонаукові методи дослідження, також вона містить елементи наукової новизни. Висновки детально обґрунтовані та логічно послідовні, відображають основні результати даної кваліфікаційної роботи в належний спосіб.

Використання наукових методів дослідження. При виконанні роботи аналізувалися наукові статті відомих фахівців, які були опубліковані у наукових журналах, збірках тез доповідей науково-практичних конференцій, а також ресурсах інтернет-бібліотек.

Вміння студента чітко, грамотно та аргументовано викладати матеріал, правильно оформлювати його.

Кваліфікаційна робота виконана в систематичному порядку, всі поставлені завдання вирішені в повному обсязі, розділи взаємозв'язані між собою, інформаційно-комп'ютерні технології використовуються грамотно. Представлений матеріал характеризується докладною деталізацією та відповідає науковому стилю, а його оформлення відповідає стандартам технічної грамотності.

Участі студента у проведених дослідженнях, теоретичній та аналітичній обробці отриманих результатів. Магістрантка Горностаєва Ганна Сергіївна активно брала участь у проведенні досліджень та виконала теоретичні та аналітичні аналізи результатів у своїй кваліфікаційній роботі. Науково-практичні рішення мають відповідне обґрунтування, тема роботи повністю розкрита, а наведені аргументи відповідають ефективності використаної методики дослідження.

Якість виконання. Кваліфікаційна робота викладена послідовно, всі розділи логічно взаємопов'язані між собою та підтверджені аргументованими матеріалами. Кожен розділ має чітко визначені завдання та допомагає досягти загальної мети дослідження. Висновки є послідовними та аргументованими, відображають основні дослідження та результати кваліфікаційної роботи.

Не виявлені (виявлені) в роботі елементів плагіату та компіляції. Елементи плагіату у кваліфікаційній роботі не виявлені.

Можливості впровадження результатів роботи. Висновки даної роботи є практично значущими, відповідають високому рівню реальності, представлені пропозиції мають перспективний характер. За темою роботи опубліковані тези доповіді у науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів та викладачів.

Недоліки роботи. Бажано було б розширити інформацію щодо особливостей утворення зон надмірних тисків. Але це зауваження суттєво не впливає на загальну якість виконання кваліфікаційної роботи.

Оцінки кваліфікаційної роботи і можливості присвоєння здобувачу вищої освіти відповідної кваліфікації.

Кваліфікаційна робота здобувача другого рівня вищої освіти Бражного Дениса Вікторовича на тему: «Оцінка впливу умов водоспоживання на динаміку вузлових напорів» за актуальністю, обсягом виконаних теоретичних досліджень, змістом, рівнем новизни та практичним значенням відповідає спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія (галузь знань 19 Архітектура та будівництво) та вимогам ОПП «Водопостачання та водовідведення».

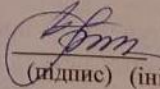
Кваліфікаційна робота виконана на високому рівні і заслуговує оцінки відмінно.

Кваліфікаційна робота виконана у повному обсязі, відповідає встановленим вимогам і заслуговує позитивної оцінки, а її автору Бражному Денису Вікторовичу, може бути присвоєна кваліфікація магістра з будівництва та цивільної інженерії.

Елементи плагіату у кваліфікаційній роботі не виявлені.

Кількість балів за шкалою ECTS 95 (відмінно) A

Рецензент кваліфікаційної роботи
професор кафедри промислового
та цивільного будівництва, докт. техн. наук
(науковий ступінь, посада)


В. А. Банах
(підпис) (ініціали, прізвище)