

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра геодезії та картографії

На правах рукопису
УДК 528.94 : [628 +532.5]

КАРТОГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Галузь знань 10 – «Природничі науки»
Спеціальність 103 – «Науки про Землю»
Освітня програма «Картографія»

Випускна кваліфікаційна робота магістра
студентки 2 курсу магістратури
Демиденко Анни Вікторівни

Науковий керівник –
кандидат географічних наук, доцент
Курач Тамара Миколаївна

Допущено до захисту:
Протокол засідання кафедри № ____ від “ ____ ” _____ 2021 року
Завідувач кафедри _____ проф. Даценко Л. М.

Київ – 2021

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| РЕФЕРАТ | 3 |
| ВСТУП | 4 |
| РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД РОЗВИТКУ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ОСНОВНИХ ПОНЯТЬ ГІДРАВЛІКИ | 6 |
| 1.1. Розвиток житлово-комунального господарства в Україні | 6 |
| 1.2. Історія становлення гідравліки як науки, її основні поняття та визначення: гідростатика та гідродинаміка | 9 |
| 1.3. Гідравлічний розрахунок напірних трубопроводів | 13 |
| РОЗДІЛ 2. ІНЖЕНЕРНІ ВОДОПРОВІДНІ МЕРЕЖІ МІКРОРАЙОНІВ М. МАРІУПОЛЯ | 19 |
| 2.1. Аналіз території мікрорайону, основні характеристики місцевості | 19 |
| 2.2. Опис структури системи водопостачання | 23 |
| 2.3. Функціонування активів водопровідної мережі окремих житлових кварталів | 25 |
| РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ | 33 |
| 3.1. Формування структури вихідної бази даних | 33 |
| 3.2. Методика математико-картографічного моделювання гідравлічного розрахунку мережі водопостачання | 40 |
| 3.3. Сценарій пожежогасіння з використанням водогону | 46 |
| 3.4. Створення карт аварійних ділянок водопровідної мережі | 49 |
| ВИСНОВКИ | 54 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 56 |
| ДОДАТКИ | 58 |

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи магістра

Тема роботи: «Картографічне моделювання інженерних мереж».

Об'єкт дослідження: інженерні водопровідні мережі.

Предмет дослідження: способи та методи математико-картографічного моделювання імітації стану і зміни гідравлічного режиму водопровідної мережі в умовах штатних або аварійних впливів на мережу.

Мета роботи полягає в математико-картографічному моделюванні інженерної водопровідної мережі за допомогою гідравлічного розрахунку на основі бази даних системи водопостачання мікрорайонів міста Маріуполя та створення карти аварійних ситуацій.

Методи дослідження – порівняльний, системний, математико-картографічного моделювання.

За результатами дослідження встановлено, що на основі розробленої бази даних об'єктів підземної водопровідної мережі та проведеного математико-картографічного моделювання є можливість здійснення гідравлічного розрахунку з метою виявлення проблемних ділянок мережі і відповідно покращення ефективної діяльності та економічного рівня водопровідного господарства шляхом моніторингу за станом технічного трубопроводного обладнання мікрорайонів «24-й квартал», «25-й квартал», «26-й квартал», «27-й квартал» міста Маріуполя.

Одержані результати можуть бути використані в практичній діяльності об'єктів господарювання та забезпечення безперебійною подачею води суб'єктів користування, а також обслуговування водопровідного господарства міста Маріуполя, оскільки їх впровадження є перспективним та в майбутньому економічно вигідним для галузі.

Ключові слова: водопровідні мережі, математико-картографічне моделювання, геоінформаційна система, гідравлічний розрахунок.

ВСТУП

Актуальність теми. Сьогодні у житлово-комунальному господарстві країни існують серйозні проблеми. Неефективність матеріальних ресурсів, ірраціональні рішення та застарілі підходи роблять галузь другорядною в економіці країни. Поступовий занепад простежується майже у всіх складових житлово-комунального господарства, в деяких – помітна сталість у розвитку.

Одним із найважливіших невирішених питань житлово-комунального господарства є проблеми у сфері водопостачання. Обґрунтованої розробки потребують стратегії управління водними ресурсами великих міст. Виснажене технічне забезпечення призводить до величезних втрат води, які вкрай складно поррахувати для міста-мільйонника.

За останнє десятиліття було розроблено велику кількість програмного забезпечення, що спрощує процес гідравлічного розрахунку. На основі представлених в електронному вигляді підземних мереж із коректною інформацією про стан всіх елементів трубопроводу, гідравлічний розрахунок здійснюється протягом 5 хвилин.

Але формування такої бази даних, достовірність спостережень, перевірка деталей, керування цієї базою на етапі розробки, а згодом їх використання для визначення існуючих проблем та передбачення нових – процес довготривалий, але цілком реальний.

Створення бази даних та введення її в реалізацію з метою зменшення втрат води у водогоні сприяють економічному зростанню не лише водопровідної галузі, а й усього житлово-комунального господарства.

Метою кваліфікаційної роботи є математико-картографічне моделювання інженерної водопровідної мережі за допомогою гідравлічного розрахунку на основі бази даних системи водопостачання мікрорайонів міста Маріуполя та створення карти аварійних ситуацій.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання:**

- 1) розглянути основні поняття, що стосуються водопровідної мережі, зокрема на обраній території та висвітлити теоретичні аспекти гідравліки;
- 2) створити та розробити головні стратегії формування бази даних;
- 3) дослідити методику проведення гідравлічного розрахунку;
- 4) провести аналіз результатів математико-картографічного моделювання;
- 5) розглянути можливий сценарій пожежогасіння;
- 6) скласти карти аварійних ділянок водопровідної мережі.

Об'єктом дослідження є інженерні водопровідні мережі.

Предметом дослідження є способи та методи математико-картографічного моделювання імітації стану і зміни гідравлічного режиму водопровідної мережі в умовах штатних або аварійних впливів на мережу.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань застосовувалися такі методи, як порівняльний, системний, математико-картографічного моделювання.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД РОЗВИТКУ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ОСНОВНИХ ПОНЯТЬ ГІДРАВЛІКИ

1.1. Розвиток житлово-комунального господарства в Україні

На початку ХХ століття житлово-комунальне господарство (далі – ЖКГ) України було досить відсталим. Житлові будинки і приміщення навіть у великих містах будувались головним чином одноповерховими і дерев'яними переважно з тесовою і солом'яною покрівлею. В 1916 р. з 1084 міст лише 200 мали водопровід, який обслуговував переважно заможну частину населення. У Російській Імперії споживання води на добу в середньому складало 25 літрів на одного мешканця [20].

Становлення і розвиток підприємств житлово-комунального господарства України відбувалися після Другої Світової війни, в якій економіка понесла величезні матеріальні втрати. Покращувалася якість житла та інженерне обладнання будинків. Централізоване водопостачання, сучасне електрообладнання, газифікація, благоустрій і озеленення стали нормою.

Усі ці позитивні досягнення – результат переважно екстенсивного розвитку в умовах централізованого розподілу ресурсів.

Аналіз розвитку галузі свідчить, що через формування ставлення до потреб ЖКГ, як другорядної галузі виникли постійні диспропорції між зростаючими завданнями галузі і техніко-економічними можливостями їхнього вирішення. Це призвело до низької якості послуг, неефективності експлуатаційно-господарської та виробничої діяльності [21].

Під тиском необхідності, щодо посилення науково-технічного забезпечення і подальшого удосконалення обслуговування населення, наприкінці 70 – на початку 80-х років було розроблено наступні напрями підвищення ефективності роботи підприємств житлово-комунального господарства:

- підвищення рівня механізації праці;

- створення автоматизованих систем управління;
- забезпечення раціонального та ефективного використання води;
- поліпшення якості обслуговування населення;
- впровадження розробок, спрямованих на продовження терміну експлуатації мереж водопостачання.

Технічна недоозброєність підприємств комунального господарства спричиняла до значних економічних збитків. Враховані невиробничі втрати води у багатьох містах досягали 8-9 %, а не враховані – 20-30% і більше. Все це суттєво впливало на якість житлово-комунального обслуговування та вартість послуг із надання водопостачання до споживача [12].

У 21 столітті суттєво посилилось економічне і соціальне значення галузі, чого не можна не враховувати при з'ясуванні стану, в якому опинилась житлово-комунальна сфера. Сьогодні сукупність підприємств ЖКГ виконують функції та завдання для забезпечення комфортного існування людини.

Житлово-комунальне господарство – це складна багатоелементна та багаторівнева економіко-соціальна та техніко-організаційна система, яка об'єднує понад 20 різнорідних галузей, нараховує значну кількість підприємств і організацій, що перебувають у різних формах власності і повинні задовольняти повсякденні комунальні, побутові, матеріальні і соціально-культурні потреби населення.

Водопровідно-каналізаційне господарство. Здійснює водопостачання та водовідведення. Оплата за надані послуги здійснюється мешканцями будинків відповідно до встановлених нормативів витрачання води на кожного мешканця або за лічильниками. Бюджет міста передбачає фінансування робіт із хлорування води, установки техніки, тощо яке здійснюється на основі укладеної угоди з виконавцем робіт. Крім цього, міськвиконком укладає з водоканалом угоду на обслуговування роботи фонтанів (вода, електроенергія тощо), які є власністю міста.

Важливою особливістю ЖКГ є його комплексний характер. Комплексність надання послуг та обслуговування, виконання робіт і

виробництва продукції надають підприємствам і організаціям ЖКГ особливого статусу, що визначає пріоритетне значення ЖКГ у розбудові економіки України [20].

ЖКГ є технічно найвідсталішою галуззю економіки з багатьма проблемами, які останнім часом особливо загострилися. За роки, що минули після утворення незалежної України, ситуація не змінилася на краще, навпаки вона погіршилася через відсталі заходи “шокової терапії”, залишковий принцип фінансування стратегічних об’єктів галузі, пов’язаних з еколого-економічною безпекою, недоліки у системі управління та загальну ситуацію, що склалася в економіці не на користь житлово-комунальної системи.

Державний комітет України з питань житлово-комунального господарства як центральний орган виконавчої влади у цій сфері виконує здебільшого утриманські функції. Зафіксовано, що основними заходами соціального забезпечення та захисту підприємств ЖКГ є:

- удосконалення законодавчої та іншої нормативно-правової й методичної бази для реформування житлово-комунального комплексу;
- державна підтримка науково-технічних програм, державних програм розвитку житлово-комунального господарства, його модернізації, створення високоефективного вітчизняного обладнання та механізмів.

При розробці Програми реформування й розвитку ЖКГ залишився поза увагою блок проблем, пов’язаний з розробкою та реалізацією державної науково-технічної політики у сфері ЖКГ. Саме з цієї причини Програму можна вважати недосконалою, яка до того ж, суттєво змінюється на конкретних прикладах проблем водоканалів [20].

Для вирішення встановленої проблеми необхідно зробити облік об’єктів різних галузей житлово-комунального господарства, створити детальну базу даних для зручного перерахунку матеріальних потужностей, щоб в першу чергу оцінити масштаб проблеми, а згодом використовувати створену мережу представлену у вигляді геоінформаційної системи для моніторингу об’єктів житлово-комунального господарства.

1.2. Історія становлення гідравліки як науки, її основні поняття та визначення: гідростатика та гідродинаміка

Гідравліка – наука, що вивчає закони рівноваги і руху рідин та розглядає прикладні способи цих законів до розв’язку конкретних практичних задач. Гідравліка є основою багатьох інженерних розрахунків при конструюванні спеціальних споруд (дамб, мереж, відстійників, фільтрів).

Початок розвитку гідравліки відноситься до античного періоду. Трактат Архімеда «Про плаваючі тіла», в якому було сформульовано закон про взаємодію води на тіло, що в неї занурюють, був написаний за 250 років до нашої ери.

Значного розвитку гідравліка як наука отримала у XV- XVII ст. Леонардо да Вінчі написав працю «Про рух і вимірювання води». У 1612 році Галілео Галілей теоретично підтвердив закон Архімеда. У 1643 році Єванджеліста Торрічеллі визначив формулу для визначення швидкості витікання рідини отвору у тонкій стінці відкритої посудини. У 1650 році Блез Паскаль сформував закон про передавання тиску рідиною. У 1687 році Ісаак Ньютон запропонував гіпотезу про закон внутрішнього тертя в рідині, що рухається, і сформулював поняття про в’язкість рідини [8].

Подальший розвиток гідравліки пов'язаний з іменами вчених – Михайла Ломоносова, Даніеля Бернуллі та Леонарда Ейлера, які встановили основні закони гідродинаміки. Інженерне застосування теоретичних основ гідродинаміки отримало відображення в роботах таких вчених як Антуан Шезі (рух рідини у каналах і трубах), Джованні Вентурі (витікання із отворів), Анрі Дарсі (напірний рух води у трубах), Осборн Рейнольдс (режими руху рідини у трубах).

Широко відомі роботи Миколи Жуковського, який створив теорію гідравлічного удару у водопроводі, Миколи Петрова про гідродинамічну теорію змашування, Іполіта Громеки – вивів рівняння вихрового руху рідини.

Великий внесок у розвиток гідравліки внесли радянські учені: Микола Павловський, Андрій Колмогоров, Сергій Христианович, Михайло Великанов, Олександр Милович [13].

Розв'язання інженерних задач для розрахунку геометричних і гідравлічних параметрів напірних трубопроводів порівняно важко провести лише за основними формулами, що безпосередньо стосуються гідравліки. Над вдосконаленням і спрощенням прийомів розрахунку працювали такі вчені-гідравліки, як Йосиф Агроскін та Володимир Журін.

Історично гідравліка поділилася на дві складові:

1) Теоретична, в якій розглядаються найважливіші положення та вчення про рівновагу та рух рідин (гідростатика, гідродинаміка, кінематична гідравліка).

2) Практична, в якій безпосередньо застосовують напрацювання теоретичної гідравліки для вирішення окремих питань інженерної справи (гідравліка трубопроводів, динаміка руслових потоків, витікання рідини через водозливи, гідравлічна теорія фільтрації, гідравліка споруд) [6].

На сьогодні існує ряд спеціального програмного забезпечення для проведення гідравлічного розрахунку на основі підготовленої карти мереж та повною інтеграцією з ГІС-пакетами.

Програми надають можливість прорахувати втрати напору водопроводу на одиницю довжини трубопроводу (гідравлічний ухил). А також ідентифікувати місця стикових з'єднань гідравлічного опору в напірних трубопроводах, та дозволяє врахувати окремі параметри матеріалу з якого виготовлений трубопровід.

Гідравліка як прикладна інженерна наука необхідна для розрахунків при проектуванні мережі і споруд системи водопостачання, каналізації, осушення і зрошення, гідротехнічних споруд, мостів, для транспортування будівельних розчинів по трубах, конструювання насосів, компресорів [5].

Детально розглянемо основні фізичні властивості рідин.

На відміну від твердого тіла рідина характеризується меншим зчепленням між частками, і внаслідок цього має текучість і набуває форму посудини, до якої її поміщують.

Рідини поділяють на два види: крапельні і газоподібні. Крапельні (вода, бензин, гас, нафта, ртуть) мають великий опір до стискання, а у газоподібних (всі гази) – опір до стискання майже повністю відсутній. Гідравліка займається вивченням крапельних рідин. При розв'язанні практичних задач гідравліки часто використовують поняття «ідеальної рідини» – середовище, що не стискається і не має внутрішнього тертя між окремими частинками.

До основних фізичних властивостей рідини відносять питому вагу, щільність, стисливість, в'язкість, температурне розширення.

Питома вага рідини – це відношення одиниці ваги до її об'єму.

Густина (щільність) рідини – це відношення одиниці маси до її об'єму. Вимірюють в $\text{кг}/\text{м}^3$.

Стисливість рідини та її властивість змінювати об'єм при зміні тиску. Ця властивість рідини характеризується коефіцієнтом об'ємного стискання, що показує відносне зменшення об'єму рідини при збільшенні тиску на одиницю. Коефіцієнтом об'ємного стискання води при зміні тиску від 0,1 до 50 МПа практично не змінюється. У зв'язку з цим при розв'язанні більшості практичних завдань стисливістю рідини зазвичай нехтують.

Модуль пружності – це величина обернено пропорційна коефіцієнту об'ємного стискання.

Температурне розширення рідини при її нагріванні характеризується коефіцієнтом температурного розширення, що показує відносне збільшення об'єму рідини при зміні температури на 1°C . На відміну від інших тіл об'єм води при її нагріванні від 0 до 4°C зменшується. При 4°C вода має найбільшу щільність і найбільшу питому вагу; при подальшому нагріванні її об'єм збільшується.

Коефіцієнт температурного розширення води збільшується із зростанням тиску при підвищенні її температури від 0 до 50°C і зменшується із зростанням

тиску при підвищенні її температури. У розрахунках багатьох споруд при незначній зміні температури води і тиску зміною коефіцієнта можна знехтувати.

В'язкість рідини – це її властивість чинити опір відносно руху часток рідини. Сили, що виникають у результаті ковзання шарів часток рідини, називають силами внутрішнього тертя чи силами в'язкості.

Сили в'язкості діють при русі реальної рідини, якщо рідина знаходиться у спокої, то її в'язкість прирівнюють до нуля.

Ще на початку XVIII столітті Ісаак Ньютон запропонував гіпотезу про те, що сили внутрішнього тертя між частками рідини прямо пропорційна швидкості відносно руху і площі поверхні шарів, що взаємно дотикаються.

Одиниця динамічної в'язкості за системою СІ – Па·с (паскаль-секунда). За одиницю в'язкості було прийнято пуаз.

Для розв'язання практичних завдань використовують кінематичну в'язкість рідини – відношення динамічної в'язкості до щільності рідини.

За одиницю кінематичної в'язкості прийнято $\text{м}^2/\text{с}$ – за системою СІ.

Із збільшенням температури в'язкість рідини швидко зменшується, залишаючись при цьому майже сталою із зміною тиску. Вимірюють в'язкість рідини спеціальними приборами – віскозиметрами [8].

Гідростатика та гідродинаміка є основними розділами гідравліки.

Гідростатика є розділом фізики конденсованого середовища, що займаються вивченням рівноваги рідин, зокрема в полі тяжіння. Фактично гідростатика – це фундаментальна теорія поведінки рідини, що перебуває у стані спокою і є нерухомою.

Закон Паскаля – це закон гідростатики про тиск. Він полягає в тому, що тиск на рідину в стані теплової рівноваги діє однаково в усіх можливих напрямках.

Основний закон гідростатики демонструє залежність тиску рідини від глибини для рідини, що не стискається саме в однорідному полі тяжіння.

Закон Архімеда – не менш важливий закон гідростатики, оскільки доведення закону свідчить про те, що при зануренні тіла у воду (чи газ) на нього діє сила Архімеда – сила виштовхування, що є векторно зворотньою силою прикладеної до центру мас. На неї впливають густина рідини та боєм зануреного тіла [8].

Гідродинаміка є розділом фізики конденсованого середовища, а також гідроаеродинаміки, та вивчає основні закони руху ідеальних та реально існуючих рідин, газів та взаємодію їхніх сил із твердим тілом при їх відносному русі.

Для поставлених завдань практичної гідродинаміки є вкрай важливим перехід від «ідеальних» абстрактних умов фізичних задач до реального середовища з фактичними показниками, тому фундаментом для експериментальної гідродинаміки є теорія подібності та розмірностей.

Розрахунок гідродинамічного опору дозволяє розрахувати опір рідини на рух тіла в цій рідині чи опір стінок внутрішнього діаметру трубопроводу. Для цього слід визначити гідродинамічні тиски – величина тиску рідини, що рухається.

Основний закон гідростатики – це закон Бернуллі, який встановлює залежності між швидкістю руху рідини та тиском рідини і висотою точки на певній висоті. Саме рівняння Бернуллі є логічним наслідком закону про збереження енергії, особливо про не ідеальності рідини, коли її механічна енергія розпоршується і відповідно тиск, що діє на протяжність усього трубопроводу, по якому ця рідина протікає, знижується. Для реальних в'язких рідин завжди враховують величину втрати тиску на гідравлічний опір руху рідини [8].

1.3. Гідравлічний розрахунок напірних трубопроводів.

Для задоволення потреби населення у воді необхідно розрахувати її витрати на основі середньодобового споживання. Норма споживання води в

цивілізованих країнах залежить в першу чергу від ступеня благоустрою будівель і споруд.

Технічне забезпечення, що необхідне для побудови водопроводів та забезпечення безперебійних водозаборів та подачі води до споживачів повинно бути на відповідному рівні, а саме труби, які є основним елементом водопровідної мережі, повинні пропускати задані витрати води, витримувати максимальний робочий тиск, забезпечувати тривалу експлуатацію до капітального ремонту, мати невеликий гідравлічний опір, незначну масу і вартість, не впливати на якість води.

Розглянемо призначення і класифікації трубопроводів.

Для переміщення рідин і газів застосовують трубопроводи, які виготовляються з різних матеріалів (сталі, чавуну, залізобетону, азбестоцементу, поліетилену, поліпропілену) [22].

Окрім матеріалу виготовлення трубопроводи також поділяються на :

- напірні та безнапірні (перші – рухають рідину під дією насосу);
- короткі і довгі;
- прості і складні.

Пропускна здатність напірних трубопроводів суттєво залежить від втрат напору по довжині трубопроводу і в місцевих напорах (стики запірної арматури і труби).

Короткі трубопроводи – це трубопроводи малої довжини і з більшими втратами напору (перевищують 10% втрат напору по довжині (комунікації насосних станцій, лабораторій, нафтопроводи).

До довгих в свою чергу стосуються трубопроводи значної протяжності, для яких втрати напору на подолання місцевих напорів незначні (не більше 10% втрат напору по довжині).

Прості трубопроводи – це трубопроводи з труб одного або декількох діаметрів без розгалужень і майже без втрати напору вздовж руху рідини.

Складні трубопроводи – це трубопроводи з мережі труб різного діаметру у поєднанні з магістральними лініями та з тупиковими чи кільцевими розгалуженнями.

Водонапірна мережа повинна забезпечувати подачу води до всіх точок її споживання з невеликим вільним напором, що вимірюється висотою стовпчика (в метрах) над поверхнею землі.

Мінімальний вільний напір в мережі водопроводу населеного пункту при максимальному господарсько-питному водоспоживанні на ввід в будівлі повинен прийматися про одноповерховій забудові не менше 10 м. вод. ст., при більшій кількості поверхів – на кожен поверх додається 4 м. вод. ст..

Для окремих висотних будівель чи груп будівель для яких напору в 60 м. вод. ст. недостатньо, застосовують місцеві установки, що підвищують напір до необхідного рівня. Вільний напір в мережі водорозбірних колонок повинен складати не менше 10 м. вод. ст [4].

Максимальний вільний напір в мережі об'єднаного водопроводу (господарсько-питного і протипожежного) у споживача не повинен перевищувати 60 м. вод. ст. У випадку перевищення цього тиску для окремих будівель, споруд чи зон, встановлюються регулятори тиску чи застосовується зонування систем водопроводу. Для промислових підприємств мінімальний вільний напір береться за даними технологів підприємства в залежності від технології виробництва і характеру обладнання.

Для систем пожежогасіння низького тиску, що рекомендовані для населених пунктів, мінімальний вільний напір у пожежних гідрантів, встановлених на мережі, повинен бути не менше 10 м. вод. ст. У випадках проектування пожежного водопроводу високого тиску вільний напір повинен забезпечувати висоту компактного струменю висотою не менше 10 метрів на рівні найвищої точки найвищої будівлі при подачі води.

Улаштування даних систем та їх окремих елементів характеризується високим ступенем складності: великим розмаїттям схем, використання приладів для регулювання і контролю їх роботи.

Гідравлічний розрахунок внутрішньої водопровідної мережі та мереж внутрішньої каналізації є найважливішою частиною розрахунку при проектуванні систем життєзабезпечення всього міста.

Ефективність системи водопостачання, її техніко-економічні характеристики, багато в чому, залежать не тільки від прийнятих схем, правильного монтажу, наладки та експлуатації, але й від обраної методики розрахунку та достовірності проведених розрахунків [7].

Гідравлічний розрахунок трубопроводів дозволяє вирішувати 3 головні завдання:

- 1) визначати необхідний напір для пропуску відомого розподілу води при заданому діаметрі труб;
- 2) визначати пропускну здатність труб заданого діаметра при відомих втратах напорі;
- 3) визначати перетин трубопроводів при заданих витратах води і втрати напорі.

Основні формули для гідравлічного розрахунку трубопроводів:

Діаметр трубопроводу при відомій витраті рідини знаходиться за допомогою рівняння нерозривності потоку $Q = \omega V$, якщо в нього підставити значення площі поперечного перерізу $\omega = \pi d^2 / 4$, то отримаємо:

$$d = 0,13 \sqrt{\frac{Q_p}{V_e}},$$

де Q_p – розрахункова витрата рідини на цій ділянці трубопроводу; V_e – економічно доцільна швидкість руху рідини.

З великими швидкостями руху транспортувати рідини економічно недоцільно, оскільки будуть великі втрати напорі. Наприклад, у водопостачанні $V_e = 0,7 \dots 1,5$ м/с.

Витрата рідини при відомому діаметрі трубопроводу також знаходиться за допомогою рівняння нерозривності потоку:

$$Q = \omega V = \frac{\pi d^2}{4} V_e,$$

де d – діаметр трубопроводу.

Необхідний напір на початку трубопроводу $H_{пт}$, при якому забезпечуватиметься подача рідини споживачам, знаходиться за залежністю:

$$H_{пт} = H_r + h_b,$$

де H_r – геометрична висота підняття рідини; h_b – втрати напору в трубопроводі.

Таблиця після отримання результатів гідравлічного розрахунку має містити наступні параметри:

- Назва вузла;
- Діаметр, мм;
- Довжина, м;
- Витрата, м³/год;
- Витрата, л/с;
- Напір, м;
- Тиск, м;
- Відмітка, м;
- Втрати напору, м;
- Питомі втрати напору, м/км;
- Швидкість, м/с.

За цими параметрами та залежностями між ними можна прослідкувати слабкі місця у загальній мережі підземного водопроводу та передбачити можливі негативні наслідки гідравлічного удару в трубах.

В напірному трубопроводі при раптовій зміні швидкості руху рідини (миттєва зупинка або різкий наплив води) виникає гідравлічний удар, що супроводжується різким підвищенням і пониженням тиску. Наприклад, при миттєвій зупинці руху води, коли кінетична енергія переходить в роботу сили

тиску, тоді виникає удар безпосередньо на трубопроводі. Хвиля удару поширюється по рідині з поступовим сповільненням коливань [11].

Надлишковий тиск всередині трубопроводу може привести до розриву з'єднання арматури, стінок трубопроводу на стиках, що в свою чергу спричиняє підземну аварійну ситуацію, яка призводить до таких наслідків, як підтоплення ґрунту чи навіть руйнування асфальтованого покриття.

Для запобігання труб від наслідків гідравлічного удару необхідно вживати наступні заходи:

- не допускати великих швидкостей руху рідин по трубах;
- встановлювати запобіжні клапани, які спрацьовують при збільшенні тиску більше допустимо граничного;
- встановлювати на трубопроводах повітряні спуски;
- використовувати запірну арматуру з повільним закриттям клапана.

РОЗДІЛ 2. ІНЖЕНЕРНІ ВОДОПРОВІДНІ МЕРЕЖІ МІКРОРАЙОНІВ М. МАРІУПОЛЯ

2.1. Аналіз території мікрорайону, основні характеристики місцевості

Місто Маріуполь – місто в Донецькій області на березі Азовського моря.
Місто поділене на чотири адміністративні райони:

- Центральний район;
- Кальміуський район;
- Лівобережний район;
- Приморський район.

Об'єктом дослідження є інженерні водопровідні мережі, які територіально розташовані у Кальміуському районі міста Маріуполя в мікрорайонах, що представлені на рисунку 2.1: з півночі на південь: «24-й квартал», «25-й квартал», «26-й квартал», «27-й квартал»).



Рис. 2.1 Мікрорайони «24-й квартал», «25-й квартал», «26-й квартал», «27-й квартал» на знімку з аерофотозйомки.

Територія чотирьох мікрорайонів об'єднана відповідно у чотири квартали, загальна площа цієї території – 27 гектарів. Загальний полігон всіх мікрорайонів обмежений: на півночі – вулицею Прожекторною, на півдні – вулицею Покришкіна, на заході – вулицею Глінки, на сході – вулицею Карпінського. Окрім цього площу обраної ділянки перетинають вулиці Блажевича, Квартальна та Гастелло. Розвинена мережа вулиць із широкими пішохідними зонами та алеєю.

Аналіз висотних відміток місцевості показує, що Донецька область має горбисто-рівнинний рельєф. Її південна частина розташована в межах Приазовської височини. Типові ландшафти міста Маріуполя – це переважно розчленовані балками рівнини та височини, що переходять у заплавні ландшафти річкових долин (річки Кальчик і Кальміус), а також лиманні рівнини на узбережжі Азовського моря. Висота центру міста Маріуполя – 67 метрів, а середня висота міста – 22 метри відносно рівня Балтійського моря.

Всі елементи (запірна арматура, початок трубопроводу, гідрант) в межах одного вузла повинні мати однакову висотну відмітку.

Проаналізувавши карту висот можна визначити, що територія, яка досліджується знаходиться у межах зеленого прямокутника (рис. 2.2).

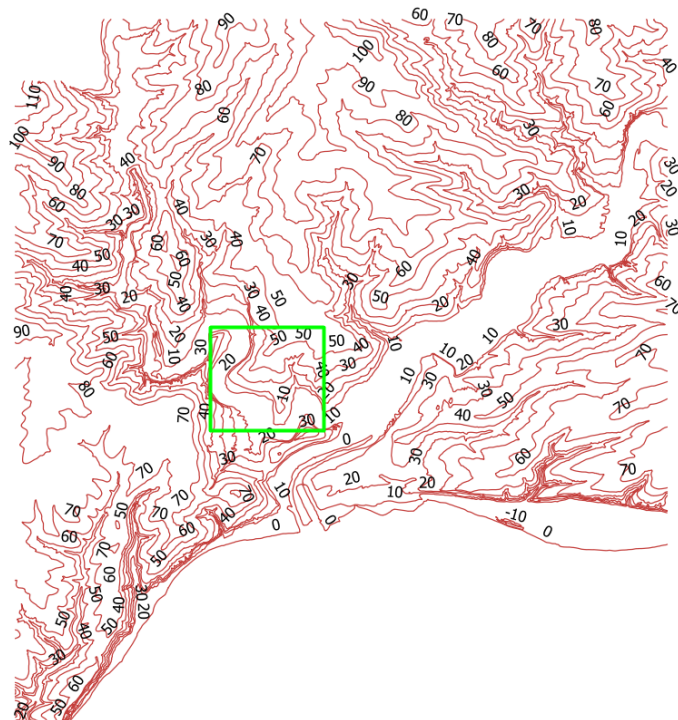


Рис. 2.2 Карта висот на територію м. Маріуполя

З рисунку 2.3 можна зробити висновок, що територія мікрорайонів розташована на висотах приблизно від 20 до 45 метрів.



Рис. 2.3 Карта висот на територію мікрорайонів «24-й квартал», «25-й квартал», «26-й квартал», «27-й квартал»

Споживач питної води – це юридична та/або фізична особа, що використовує питну воду для забезпечення питних, фізіологічних, санітарно-гігієнічних, побутових та господарських потреб.

Абонентська база налічує 94 водоспоживачі (рис. 2.4), із них:

- фізичних осіб – 71 споживач;
- юридичних осіб – 2 споживачі;
- фізичних/юридичних осіб – 21 споживач.

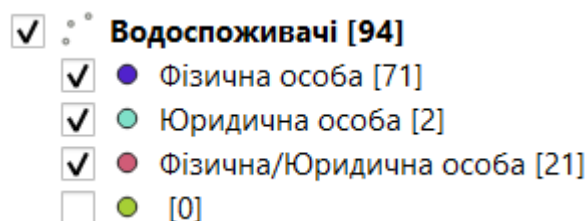


Рис. 2.4 Класифікація водоспоживачів за поділом фізична/юридична особа

Після отримання інформації про зняття показників лічильників з контрольних точок (кожної будівлі) впродовж однієї доби отримуємо можливість зробити графік споживання для даних мікрорайонів.

Абоненти Кальміуського району м. Маріуполя отримують водопостачання з ВНС. Для кожного абонента як фізичного, так і юридичного які отримують водопостачання в Кальміуського району м. Маріуполя задаються витрати згідно з даними абонентського відділу водоканалу.

У будівлях, що експлуатуються, норма водоспоживання часто завищена, через використання неефективних методів проектування і використання застарілої запірної арматури, що веде до перевитрати водних ресурсів міста. Тому необхідно проектувати сучасні системи водопостачання, які здатні зменшити втрати води в водогоні та водопровідній мережі, та дозволяють раціонально використовувати наявні запаси води окремих районів [2].

Проектування мережі водопостачання міста виконується на основі архітектурно-будівельного і технологічного завдання. До архітектурно-будівельного завдання прикладаються генеральний план ділянки будівництва з інженерними мережами, плани поверхів, підвалів.

В технологічному завданні повинні бути вказані такі дані: кількість споживачів води (для підприємства додатково вказується кількість людей, що працюють у цехах), максимальні годинні та секундні витрати води від технологічного обладнання, режим роботи технологічного обладнання, фізико-хімічний склад виробничих стічних вод, категорія виробництва по вибуховій, вибухопожежній та пожежній безпеці [18].

За допомогою математично-картографічної моделі інженерної мережі можна виявити наступні недоліки у мережі, що стосуються абонентської бази:

- споживачі із недостатнім тиском;
- споживачі із помірним тиском;
- споживачі із надмірним тиском.

2.2. Опис структури системи водопостачання

Джерело водопостачання мікрорайонів є магістральний кільцевий водогін діаметром від 300 до 500 мм, що подають воду для обслуговування потреб населення. Середнє водоспоживання води за добу складає приблизно 10000 м³.

У Водопровідній Насосній Станції, що подає воду на кільцевий магістральний водогін встановлено:

- 2 насосні агрегати типу 350Д90 продуктивністю 1080 м³/год і тиском 40 м вод. ст;

- 1 насосний агрегат типу KSB 317-4AB продуктивністю 1900 м³/год і тиском 90 м вод. ст.

Оскільки системи водопостачання класифікуються за переліком ознак, проаналізуємо, які можливі варіанти даної класифікації стосуються ділянки дослідження:

1. За родом об'єктів, що обслуговуються – водопостачання населених пунктів (міське, селищне), виробниче і промислове водопостачання, сільськогосподарське, залізничне.

2. За призначенням – господарське, призначене для задоволення питних і господарсько-побутових потреб населення; виробниче – для постачання води на підприємства; протипожежне – для гасіння пожеж; об'єднана система слугує для одночасного забезпечення декількох споживачів (наприклад, господарсько-промислова, промислово-протипожежна, чи господарсько-промислова-протипожежна).

3. За родом джерел – системи з поверхневих (річки – р. Кальчик, озера, водосховища) і підземних (трубчасті і шахтні колодязі, інфільтраційні водозбори, водозабори) джерел.

4. За взаємним зв'язком окремих систем водопостачання – суміщені, де всі елементи слугують для господарського, виробничого і протипожежного водоводу (такі системи застосовуються в тому випадку, коли вимоги до води господарського-питного і виробничого водопроводу співпадають чи витрати

питної води на виробничі потреби незначні); окремі системи, де всі елементи є самостійними, і складають як господарсько-питну, так і виробничу систему; напів окремі системи мають ряд загальних елементів для міського і виробничого водопостачання, наприклад вододжерела і водозабірні споруди.

5. За кількістю об'єктів, що обслуговуються – місцеві системи для окремого об'єкта, групові – для ряду об'єктів, що іноді розташовані в межах відносно великої території.

6. За способом подачі води – напірні, в яких вода подається до споживача насосами, самопливні – в гірських районах.

7. За терміном експлуатації – постійні і тимчасові (під час планових реконструкцій чи на момент усунення аварійних ситуацій основних діючих трубопроводів).

8. За розміщенням водопровідних споруд, пристроїв і трубопроводів відносно споживачів зовнішні і внутрішні (наземні і підземні відповідно).

Окрім наведеного розподілу в протипожежному водопроводі (самостійного чи суміжного) розрізняються системи низького тиску, в яких необхідний для гасіння пожеж напір створюється пересувними засобами (мотопомпи, автоматичні насоси); системи високого тиску, в якому під час пожежі напір забезпечується насосами стаціонарно встановленими на насосній станції; системи постійного високого тиску, в яких напір у мережі, необхідний для гасіння мережі, підтримується постійно [11].

Перелічену вище інформацію можна отримати із технічної документації систем водопостачання і каналізації будівель, яка повинна мати такі матеріали, як: генеральний план ділянки будівництва з інженерними мережами і спорудами на них, у масштабі 1:500 чи 1:1000, аксонометричні схеми систем водопостачання, каналізації і водостоків з розташуванням всіх приладів, арматури і значення діаметрів, ухилів, висотних відміток характерних точок та місць перетину з будівельними конструкціями, профілі підземних мереж з відмітками поверхні землі, детальні креслення окремих вузлів, пояснювальну записку з описом та розрахунками інженерних систем та споруд.

2.3. Загальна оцінка активів водопровідної мережі окремих житлових кварталів

Підземний трубопровід – це трубопровід та інженерне обладнання, призначені для забезпечення подачі води від зовнішніх мереж водопроводу до всіх внутрішніх водозбірних приладів, технологічного обладнання та пожежних гідрантів. Системи водопостачання повинні забезпечувати споживачів водою заданої якості, в потрібній кількості та під необхідним напором.

Системи внутрішнього водопроводу у мікрорайоні розрізняють за:

- призначенням (господарсько-питні, протипожежні);
- сферою обслуговування (об'єднані);
- забезпеченням напору з урахуванням встановленого обладнання;
- способом використання води (прямоточні).

Господарсько-питні системи водопостачання подають воду для пиття, приготування їжі та проведення санітарно-гігієнічних процедур. Вода в цій системі повинна бути питної якості.

Протипожежні системи водопостачання призначені для гасіння пожежі або локалізації вогню. Вода в протипожежних водопроводах може бути і не питної якості [24].

За розташуванням магістральних ліній розрізняють схеми: тупикові, кільцеві, комбіновані, з нижнім і верхнім розведенням труб, зонні [14].

На основі векторних шарів із попередньо оцифрованою інформацією про мережі (споживачі, вузли, трубопроводи) та заповненою таблицею атрибутів до кожного типу об'єктів можна проаналізувати кількісні та якісні характеристики груп об'єктів для детального розуміння ситуації стану активів водопостачання у мікрорайонах. Попередній аналіз векторних шарів карти виконується у геоінформаційній системі QGIS.

В мікрорайонах була проведена паспортизація та інвентаризація 131 водопровідного колодязя. Всього у обраних мікрорайонах 215 вузлів (рис. 2.5).

- Вузли для гідромоделювання [215]**
 - Колодязь [115]
 - Вимірювальний колодязь [7]
 - Пожежний колодязь [9]
 - Розгалуження [83]
 - Перехід [1]

Рис. 2.5 Класифікація вузлів за типом призначення

До підземної трубопровідної мережі мікрорайонів належать 325 водопровідних труб, що належать до таких типів мережі, як магістральна, районна, квартальна та абонентська. Загальна кількість вказана у квадратних дужках на рис. 2.6.

- Трубопроводи [325]**
 - Магістральна [81]
 - Районна [19]
 - Квартальна [123]
 - Абонентська [102]

Рис. 2.6 Класифікація трубопроводів за типом мережі

В свою чергу трубопроводи можуть бути умовно поділені на магістральні (транзитні), районні (розвідні), квартальні та абонентські.

Транзитні мережі обслуговують місто та окремі його райони чи промислові підприємства. Діаметри трубопроводів транзитних мереж більші, ніж розвідних. Розвідні мережі забезпечують квартали і групи будинків. Вони є необхідними підземними спорудами кожної вулиці міста. Квартальні обслуговують окремі будівлі, розміщені в кварталі. Їх прокладають в межах території кварталу чи двору. Абонентські трубопроводи ведуть безпосередньо до водоспоживача – мають ввід в окрему будівлю чи споруду [17].

За матеріалами виготовлення труби поділяються на металеві (можливо сплави), полімерні (поліетилен), із комбінованих матеріалів та на основі бетону.

За наведеними даними проведемо класифікацію за моделлю трубопроводу (в якій вказано матеріал та діаметр окремого категоріального показника), за матеріалами трубопроводів, за діаметрами трубопроводів.

1) Модель трубопроводу (рис. 2.7).

- ✓ Трубопроводи [325]
 - ✓ сталь 500 [1]
 - ✓ сталь 300 [80]
 - ✓ сталь 250 [23]
 - ✓ сталь 150 [11]
 - ✓ сталь 100 [33]
 - ✓ сталь 80 [18]
 - ✓ сталь 65 [4]
 - ✓ сталь 50 [13]
 - ✓ сталь 25 [63]
 - ✓ Чавун 300 [16]
 - ✓ Чавун 250 [7]
 - ✓ Чавун 150 [3]
 - ✓ Поліетилен (ПЕ-100) 63 [5]
 - ✓ Поліетилен (ПЕ-100) 53 [18]
 - ✓ Поліетилен (ПЕ-100) 42 [2]
 - ✓ Поліетилен (ПЕ-100) 26 [6]
 - ✓ Поліетилен (ПЕ-100) 25 [20]
 - ✓ Поліетилен (ПЕ-100) 21 [2]

Рис. 2.7 Класифікація трубопроводів за моделлю

За допомогою Калькулятора поля у таблиці атрибутів, як показано на рис. 2.8, розрахуємо протяжність кожної ділянки трубопроводу.

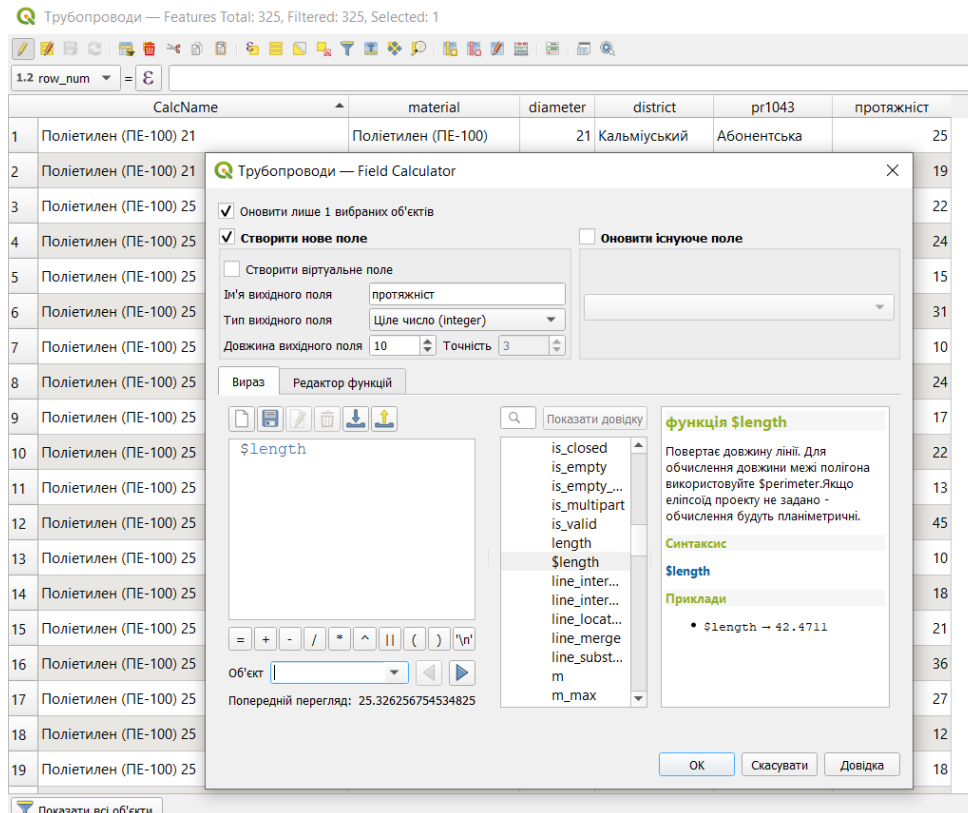


Рис. 2.8 Застосування калькулятора поля для визначення протяжності трубопроводів

Розрахуємо сумарну протяжність для всіх трубопроводів у метрах, як показано на рисунку 2.9. Загальна протяжність трубопроводів у обраних кварталах – 8344 м (8,344 км).

| Статистичний | Значення |
|--------------|----------|
| Кількість | 325 |
| Сума | 8344 |

Рис. 2.9 Сума значень протяжності трубопроводів у колонці «Значення»

Окрім цього прорахуємо загальну протяжність для кожної моделі трубопроводу, натиснувши на позначку «Тільки вибрані об'єкти» (рис. 2.10)

| Статистичний | Значення |
|-----------------|----------|
| Кількість | 16 |
| Сума | 273 |
| Середнє | 17.0625 |
| Медіана | 11.5 |
| St dev (pop) | 18.0951 |
| St dev (sample) | 18.6886 |
| Мінімум | 4 |
| Максимум | 77 |
| Діапазон | 73 |

| CalcName | material | diameter | district | pr1043 | протяжність |
|--------------|----------|----------|--------------|--------------|-------------|
| 1 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 15 |
| 2 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 9 |
| 3 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 17 |
| 4 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 6 |
| 5 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 14 |
| 6 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 17 |
| 7 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 5 |
| 8 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 5 |
| 9 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 5 |
| 10 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 4 |
| 11 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 26 |
| 12 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 7 |
| 13 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 6 |
| 14 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 20 |
| 15 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 40 |
| 16 Чавун 300 | Чавун | 300 | Кальміуський | Магістральна | 77 |
| 17 Чавун 250 | Чавун | 250 | Кальміуський | Магістральна | 55 |

Рис. 2.10 Розрахунок протяжності за кожної окремо взятою моделлю труби

Результати розрахунку протяжностей трубопроводів за моделлю наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Протяжність трубопроводів за моделлю

| № | Модель, матеріал та діаметр | Кількість труб, штуки | Протяжність, метри |
|--------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | Сталь 500 | 1 | 31 |
| 2 | Сталь 300 | 80 | 1933 |
| 3 | Сталь 250 | 23 | 250 |
| 4 | Сталь 150 | 11 | 324 |
| 5 | Сталь 100 | 33 | 975 |
| 6 | Сталь 80 | 18 | 522 |
| 7 | Сталь 65 | 4 | 128 |
| 8 | Сталь 50 | 13 | 323 |
| 9 | Сталь 25 | 63 | 1830 |
| 10 | Чавун 300 | 16 | 273 |
| 11 | Чавун 250 | 7 | 158 |
| 12 | Чавун 150 | 3 | 98 |
| 13 | Поліетилен 63 | 5 | 123 |
| 14 | Поліетилен 53 | 18 | 493 |
| 15 | Поліетилен 42 | 2 | 62 |
| 16 | Поліетилен 26 | 6 | 115 |
| 17 | Поліетилен 25 | 20 | 466 |
| 18 | Поліетилен 21 | 2 | 44 |
| Всього | | 325 | 8344 |

2) Класифікуємо трубопроводи за матеріалом (рис. 2.11), з якого вони виготовлені (без врахування діаметрів):

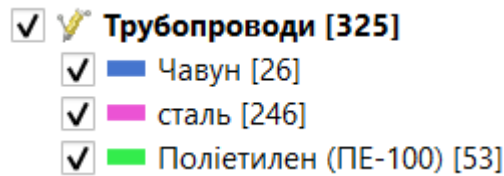


Рис. 2.11 Класифікація трубопроводів за матеріалом

Результати розрахунку протяжностей трубопроводів за матеріалами наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Протяжність трубопроводів за матеріалами

| № | Матеріал | Кількість труб, штуки | Протяжність, метри |
|--------|------------|--------------------------|-----------------------|
| 1 | Чавун | 26 | 529 |
| 2 | Сталь | 245 | 6512 |
| 3 | Поліетилен | 53 | 1303 |
| Всього | | 325 | 8344 |

3) Класифікуємо трубопроводи за діаметрами (без врахування матеріалів) (рис. 2.12).

Внутрішній діаметр є найважливішою характеристикою труби. На основі цього параметра виконуються всі необхідні розрахунки як при проектуванні об'єкта, так і при розрахунку витрат води вздовж трубопроводу.

Діаметри труб стандартизовані і умовно поділяються на такі групи за величиною:

- Великі – 508 мм і вище;
- Середні – від 114 до 530 мм;
- Малі – менше 114 мм.

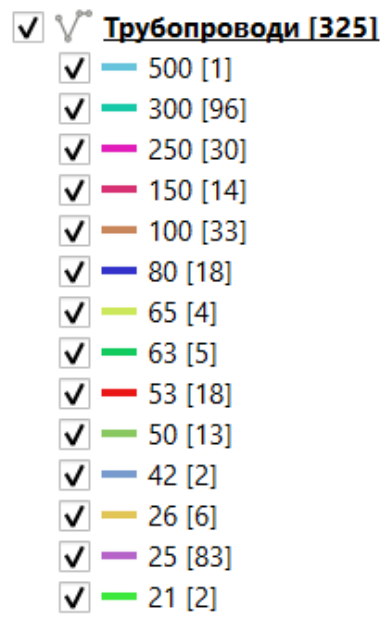


Рис. 2.12 Класифікація трубопроводів за діаметрами

Результати розрахунку протяжностей трубопроводів за діаметрами наведені у табл. 2.3:

Таблиця 2.3.

Протяжність трубопроводів за діаметрами

| № | Діаметр, мм | Кількість труб, штуки | Протяжність, метри |
|----|-------------|--------------------------|-----------------------|
| 1 | 500 | 1 | 31 |
| 2 | 300 | 96 | 2206 |
| 3 | 250 | 30 | 604 |
| 4 | 150 | 14 | 422 |
| 5 | 100 | 33 | 975 |
| 6 | 80 | 18 | 522 |
| 7 | 65 | 4 | 128 |
| 8 | 63 | 5 | 123 |
| 9 | 53 | 18 | 493 |
| 10 | 50 | 13 | 323 |
| 11 | 42 | 2 | 62 |
| 12 | 26 | 6 | 115 |

| | | | |
|--------|----|-----|------|
| 13 | 25 | 83 | 2296 |
| 14 | 21 | 2 | 44 |
| Всього | | 325 | 8344 |

Отже, висновками проведених розрахунків за трьома критеріями класифікації трубопроводів є:

- 1) За моделлю трубопроводу – найбільш поширеними є труби моделей «Сталь 300» та «Сталь 25».
- 2) За матеріалами трубопроводів – лідерами є труби виготовлені із сталі.
- 3) За діаметрами трубопроводів – в мікрорайонах прокладено трубопроводи діаметрами від 21 до 500 мм.

РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ

3.1. Формування структури вихідної бази даних

База даних (далі – БД) – це сукупність взаємозалежних даних, які спільно використовуються декількома прикладними програмами й зберігаються з мінімальною регульованою надлишковістю. Дані зберігаються таким чином, щоб вони, по можливості, не залежали від програм. Для оброблення даних застосовується загальний метод керування доступом.

Цільова функція системи бази даних полягає в наданні актуальної та надійної інформації, яка підтримує повсякденну діяльність водопровідного господарства та інформаційні потреби користувачів або інших інформаційних систем. База даних має багатоцільове використання (багато користувачів, множина форм документів і запитів одного користувача, використання в суміжних предметних сферах, тощо). В БД дані впорядковуються для полегшення ефективного доступу до них та виконання їх змін [16].

Система керування базами даних (далі – СКБД) – система, що ґрунтується на апаратних, програмних та мовних засобах для визначення, створення, введення-виведення, маніпулювання, контролювання, керування та використання даних. За призначенням СКБД забезпечує:

- централізоване керування даними;
- дотримання стандартів;
- безпеку та цілісність даних;
- скорочення надмірності даних;
- усунення суперечливості даних;
- мультидоступ до даних на рівні окремих записів;
- розподілене спільне використання даних;
- адміністрування та регламентування доступу;
- реплікацію даних.

Технологічно СКБД забезпечує підтримку процесів проектування, реалізації та маніпулювання базою даних.

Проектування – це процес побудови порожньої структури (нуль-бази даних), яка буде містити дані. Необхідно визначити такі речі, як тип даних (наприклад, число, текстовий рядок або дата), обмеження на можливі значення або домени та будь-які зв'язки між елементами у нашій базі даних. Реалізація бази даних – це процес наповнення визначеної структури даними [16].

Маніпулювання базою даних включає здатність СКБД вибирати інформацію (за SQL запитами) із бази даних або оновлювати значення.

СКБД повинна забезпечити ефективне, зручне і безпечне зберігання та доступ до великих обсягів сталих даних в багатокористувацькому режимі роботи.

Значна частка функцій більшості великих СКБД стосується резервного копіювання та відновлення. Окрім того, що СКБД здійснюють ефективне і регулярне резервне копіювання, вони також мають можливість керувати транзакціями – точки безпеки, в яких контролюється та забезпечується цілісність даних, а незавершена операція може бути відмінена з поверненням до останньої точки безпеки, якщо при зміні даних були виявлені помилки були технічні неполадки.

Наша база даних – це реляційна модель даних (РМД). Успішна імплементація об'єктно-орієнтованого підходу в більшості промислових реляційних СКБД дає підстави розглядати об'єктно-реляційну модель даних (ОРМД) як засіб реалізації сучасних баз геопросторових даних [16].

Основою реляційної моделі є поняття «відношення», яке дуже схоже з поняттям «таблиця». Для того щоб таблиця була відношенням у формальному сенсі, вона повинна задовольняти 5 умов:

1. Всі записи у певному стовпчику мають бути одного типу. Всі записи одного стовпчика мають бути, наприклад, числами, датами або текстовими рядками. В одному стовпчику не допускається змішування даних різних типів (числа, дати, тексти тощо).

2. Кожний стовпчик має унікальне ім'я, яке описує інформацію, що міститься у ньому, і це ім'я повинно бути унікальним в межах однієї таблиці (тобто, стовпчики можуть мати однакові імена в різних таблицях, але не в межах однієї таблиці).

3. Таблиця не повинна містити однакових рядків. Якщо два рядки таблиці мають повністю ідентичну інформацію у кожному зі стовпчиків, то вона не є відношенням.

4. Порядок стовпчиків не повинен впливати на інформаційний зміст таблиці, будь-яка перестановка стовпчиків не повинна змінювати інформацію.

5. Порядок рядків не повинен впливати на інформаційний зміст таблиці.

Між стовпчиками (атрибутами) однієї таблиці є певна залежність.

Функціональна залежність – це зв'язок між атрибутами одного відношення. Знаючи значення одного атрибута, можна однозначно визначити, підрахувати чи знайти значення іншого.

Існує кілька способів створення нової бази геоданих. Цей процес повинен завжди починатися з етапу проектування, але процес побудови бази геоданих від проектування до повної бази геоданих з класами об'єктів і доменами може мати кілька варіантів реалізації.

Принципово існує два способи створення бази геоданих: 1) імпорт існуючих даних в тому вигляді, в якому вони надаються, з наступним доповненням зв'язків, доменів та інших елементів; 2) створення бази даних з самого початку з усіма необхідними зв'язками та поведінкою класів, а потім імпорт або створення необхідних даних.

Процес створення завжди починається з етапу проектування і закінчується заповненням геоданими.

Три основні кроки від проекту бази даних до завершеної бази геоданих характеризуються таким чином:

1 крок: спочатку імпортуються будь-які існуючі дані в нову базу геоданих, щоб створити основні об'єкти таблиць бази даних. Ця базова

структура може бути вдосконалена шляхом доповнення взаємозв'язків та елементів поведінки.

2 крок: вручну створюється нуль-база геоданих, в якій реалізується вся структура майбутньої бази даних, а потім в цю нуль-базу завантажуються або реєструються дані за створеною схемою.

3 крок: розробляється проект структури бази геоданих, а потім застосовуються інструментальні засоби ESRI для автоматичного створення проектованої бази даних.

Покриття – це формат векторних даних. Цей формат зберігає просторову, атрибутивну і топологічну інформацію в дуальній архітектурі, тобто геореляційній структурі. Просторові дані зберігаються у бінарних файлах, а атрибути зберігаються у таблицях програми бази даних.

Покриття подає окремий набір однотипних географічних об'єктів, таких як дороги, земельні ділянки, ґрунти або лісові насадження. Воно є також мультиоб'єктним або поліморфним, тому що зберігає декілька різних класів просторових об'єктів, геометричні елементи яких утворюють одне покриття. Різні покриття будуть мати різні класи просторових об'єктів, залежно від того, що покриття має відобразити.

Застосування покриття забезпечило ретельний контроль над топологічним структуруванням просторових даних та високу швидкість виконання багатьох функцій просторового аналізу. Разом з цим, складність топологічної моделі даних покриття позначалася на ефективності простих операцій, таких як формування й відображення електронних карт.

Як і покриття, шейп-файл є векторним та геореляційним форматом. Просторові дані зберігаються у спеціальному бінарному форматі, а атрибути зберігаються у форматі файлів бази даних dBase з розширенням dbf. В одному шейп-файлі можна зберігати лише дані про об'єкти одного просторового типу (точка, лінія або полігон). Шейп-файл найбільш поширений формат просторових даних. Для спрощення зберігання просторових даних, шейп-файли не містять і не підтримують топологічних відношень [15].

База геоданих є сукупністю наборів класів просторових об'єктів (точки, лінії та полігони), таблиць, растрів і TIN-моделей. Усі просторові, атрибутивні, табличні й топологічні дані зберігаються в одній об'єктно-реляційній базі даних.

Типи поведінки, які можуть контролюватися в базі геоданих:

Доменні обмеження контролюють допустимі значення для атрибутів просторових об'єктів. Топологічні обмеження контролюють просторові відношення між об'єктами. Геометричні обмеження контролюють спосіб просторового структурування об'єктів. Обмеження у відношеннях: контролюють спосіб зв'язку об'єктів один з одним. Наприклад, коли ви вилучите або перемістите водопровід, усі вентиля, пов'язані з трубою також будуть вилучені або переміщені.

Детальне технічне завдання визначає основні вимоги до побудови векторної схеми інженерних мереж, проведення натурального обстеження та внесення подальших змін у векторну схему мережі. Також в ньому визначають вимоги до проведення гідравлічних розрахунків математично-картографічної моделі системи водопостачання.

Детальне технічне завдання за кожним етапом робіт, передбачених для успішного виконання поставлених задач визначає:

- необхідні вихідні дані;
- методологію виконання робіт;
- результат роботи.

База даних формується у наступній послідовності: спочатку створюється локація – тобто позначається місцезнаходження одного чи декількох активів. Потім в актив вноситься інформація щодо проведених ремонтних робіт. Кожне внесення інформації буде мати свій унікальний номер (ID), за яким можна буде знайти необхідну інформацію у базі даних [15].

У попередньому розділі ми проаналізували інформацію з векторних шарів на основі вже створених даних у програмному середовищі QGIS.

Програмний продукт QGIS створений для можливості формалізації, накопичення, візуалізації та аналізу даних щодо активів, які є на підприємствах водопровідно-каналізаційного господарства.

Варто зазначити, що термін «актив» використовується в іншому, ніж у бухгалтерському обліку, значенні. Актив (англ. *asset*) – це умовна назва одиниці основних засобів, що має дійсну чи потенційну цінність для компанії. Активами є будівлі, споруди, обладнання (або його окремі частини), мережі тощо [23].

Геоінформаційна система призначена для:

- відображення нанесених мереж на картографічних підосновах;
- нанесення та редагування місця розташування об'єктів мереж на картографічні підоснови;
- внесення та редагування інформації про об'єкти мереж;
- видалення інформації;
- створення технологічних схем до об'єктів.

Розглянемо детально, які саме шари та картографічні дані повинні потрапити до переліку таблиці змісту у геоінформаційній системі QGIS та деталізуємо важливі умови заповнення таблиці атрибутів, які є обов'язковими для проведення математико-картографічного моделювання мережі.

У таблиці змісту створюємо векторні шари:

1. «Водоспоживачі» – векторний шар (абонентська база).
2. «Вузли для гідромоделювання» – вузловий векторний шар (Камера, Колодязь, Пожежний колодязь, Вимірювальний колодязь, Перехід, Розгалуження);
3. «Трубопроводи» – векторний шар (трубопроводи);
4. «microdistrict» – векторний шар (кордони мікрорайонів)
5. «orto» – базова картографічна підоснова;
6. «OpenStreetMap» – базова картографічна підоснова;

Векторні шари, що містять інформацію про об'єкти водопровідної мережі, об'єднані в одну логічну мережу.

За типом геометрії «Водоспоживачі» і «Вузли для гідромодельювання» є точковими об'єктами, «Трубопроводи» – лінійними об'єктами, «microdistrict» – полігональними.

Основні топологічні правила, які є особливо актуальними для проведення коректного картографічного моделювання:

1. Зв'язність мережі перевіряти при оцифруванні вузлів і водоспоживачів дуже детально, не допускаючи випадки при яких зв'язність мережі порушена. Всі елементи мережі повинні бути зв'язані один з одним, лінійні об'єкти пов'язані з вузловими і навпаки.

2. Лінійні об'єкти починаються і закінчуються вузлами чи водоспоживачами, не підключаються ділянки трубопроводів із середини ділянок (ребра) без зв'язного елемента.

Після оцифрування об'єктів за результатами натурних обходів – проводиться детальне заповнення таких характеристик до таблиці атрибутів об'єктів.

Обов'язкові для заповнення поля для:

1) «Вузли для гідромодельювання» (Додаток А):

«Номер»,

«Тип об'єкта»,

«Стан»,

«Тип мережі»,

«Глибина закладання трубопроводу»,

«Матеріал».

2) «Водоспоживачі» (Додаток Б):

«Номер»;

«Адреса»,

«Тип особи»,

«Витрати води»,

«Район»,

«Тип мережі».

3) «Трубопроводи» (Додаток Б):

«Номер»,

«Модель»,

«Матеріал»,

«Діаметр»,

«Тип мережі»,

«Протяжність трубопроводу».

Інформація в геоінформаційній системі слугує вихідною для гідравлічного інструменту моделювання та СУА (системи управління активами). Зміни, що проводяться в геоінформаційній системі, повинні оперативно змінювати результати розрахунків гідравлічного інструменту моделювання та системи управління активами.

Для виконання гідравлічних розрахунків використовується програмний продукт із відкритим кодом EPANet – спеціалізоване програмне забезпечення для розрахунку потужностей напірних розподільчих водопровідних мереж на основі математично-картографічної моделі системи водопостачання.

3.2. Методика математико-картографічного моделювання гідравлічного розрахунку мережі водопостачання

Карта – це модель навколишнього світу, що відображає дані про будову природних і суспільних систем та об'єктів, явища і процеси, які в них відбуваються. Інформативне наповнення карт використовуються для вирішення різноманітних географічних, економічних, господарських, управлінських, освітніх та екологічних завдань.

Картографічний метод дослідження - це фундаментальний метод дослідження, що може обґрунтовувати використання карт та дозволяє проводити аналіз явищ відображених на карті. Картографічний метод дослідження неможливо уявити без картографічного моделювання, яке містить в собі створення, аналіз та трансформацію карт як моделей об'єктів та явищ з

метою систематизації вже створених карт та отримання нової інформації про актуальний стан зображених на карті процесів та явищ [9].

Математико-картографічне моделювання – це один із видів картографічного моделювання. Він полягає у побудові математичних моделей об'єктів реального світу за даними, що взяті з карт, та у створенні за цими моделями нових карт. Перетворення математичної моделі на картографічну дозволяє візуалізувати результати дослідження як за окремими етапами, так і в цілому, перевірити точність математичних перетворень та географічну коректність результату [10].

Карта в процесі математико-картографічного моделювання – це, перш за все, основа для відображення гідравлічних розрахунків для об'єктів мережі на картографічних підосновах. Калібрування водопровідної мережі – уточнення математичної моделі мережі по даним фізичних вимірів.

Моделювання реалізується шляхом візуального відображення отриманих розрахунків на мережі водопостачання. Візуалізація результатів моделювання здійснюється:

- кольоровою ідентифікацією об'єктів обраного параметра за відповідними діапазонами;
- відображенням розрахованих значень неподалік від об'єктів.

Зафарбовування трубопроводів і колодязів у відповідний колір ВНС – тобто на карті має бути показано кольорами від якої ВНС тече вода, (також можна розфарбовувати карту у напівпрозорі кольори зони впливу ВНС, а поверх цієї розфарбовки повинна бути намальована схема мереж).

Оцифрування об'єктів – це чітко визначений процес, що має встановлену послідовність дій. Об'єкти наносяться у порядку згідно їх нумерації. На початку вводу даних за результатами натурного обходу створено основну схему водопровідної мережі із нанесеними актуальними вузлами. За потреби схема коригується. Недопустимі кардинальні зміни та видалення окремих частин водоводу після завершення картографічного моделювання.

До таблиці атрибутів також вноситься:

1. Інформація про водопровідні колодязі (рік побудови, реконструкції, матеріал, розміри, огляд, проведення профілактики і ремонтів).
2. До колодязів обов'язковими є: номер ВК, геодезична відмітка, тип об'єкту, адреса, матеріал ВК, стан, глибина закладання трубопроводу, виявлені дефекти, примітки, опис аварії, рік побудови, розмір, опис ремонту та профілактики. В поля «Опис аварії» та «Опис ремонту та профілактики» вноситься відповідно інформація про аварію, ремонт та профілактику в короткому текстовому вигляді і слугує підказкою для наступного користувача карти.
3. Зазначити марку та тип трубопроводу, діаметр, тип запірної арматури, стан, матеріал, виявлені дефекти. Загальні дані про мережі (рік введення, матеріал, глибина, розрахунковий тиск матеріалу труб, балансова належність).
4. Внесення інформації про ремонти на водопровідних мережах (із зазначенням адрес та місць проведення робіт на водопровідних мережах) з можливістю складання звіту за визначений оператором період.
На карті є можливість зміни стану трубопроводу із категорії «безперебійна робота» на «аварійний» для відкритої або закритої частини мережі. Аварійна ділянка мережі відображається помаранчевим кольором, аварійний колодязь – червоним кольором.
5. За запитом користувача можна зібрати в окремий перелік всі види ремонтних, профілактичних та інших робіт, що вносились за заданий проміжок часу.
6. За запитом користувача повинні підсвічуватись інформація про понаднормові втрати тиску на ділянках трубопроводів в окремо виділеному районі.
7. Важливою є також надання інформації про кількість абонентів, що потрапляють в зону відключення ділянок водопровідних мереж із зазначенням їх характеру (житлові, нежитлові).

В даній роботі використана методика калібрування моделі векторної карти на розрахунковий час. Її мета – дотримання моделлю заміряних характеристик реальної системи водопостачання. При цьому використовувались статичні дані та перевірені реальні виміри по мережі водопостачання міста:

- дані про кількості включених насосних агрегатів;
- вільні напори та витрати насосних станцій;
- дані про рівні води в резервуарах;
- дані вільного напору перед насосними агрегатами.

Для того щоб водопровідна мережа виглядала більш реалістичною при динамічному моделюванні, ми створюємо динамічний шаблон, відповідно до якого вузлові витрати будуть змінюватися протягом доби. Для цього ми будемо використовувати шаблон з кроком 1 година. Таким чином, вузлові витрати змінюються кожну годину на добу (рис. 3.1). Тривалість моделювання 24 години/ Вводимо значення 0.5, 1.3, 1.0, 1.2 для періодів часу одна година, що в сумі складає значення за одну добу (24 години).

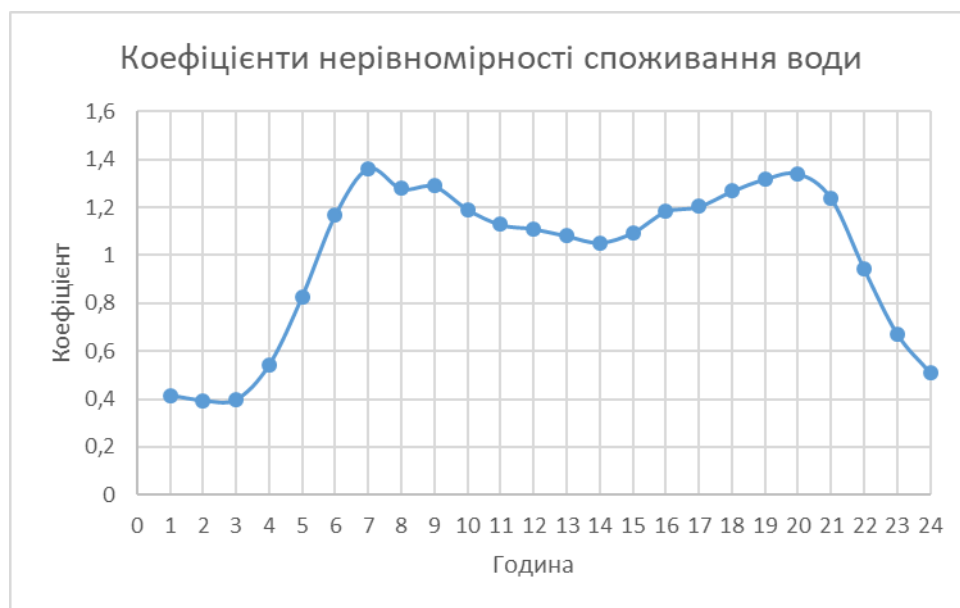


Рис. 3.1 Погодинні коефіцієнти

Першим кроком цього важливого етапу є визначення балансу витрати води ВНС з одного боку, і розрахунковими значеннями водоспоживання в режимах, близьких до пікових. Метою цього етапу є уточнення фактичного усередненого коефіцієнта добової нерівномірності і приведення миттєвих

навантажень в розрахунковій моделі до умов фактичних вимірювань. При цьому в отримане значення небалансу будуть складовою частиною входити і непродуктивні витрати, оскільки в умовах моделювання при відсутності вимірів витрат це єдиний спосіб приблизно оцінити їх величину [1].

Як показав чисельний експеримент на наданих даних, значення небалансу не перевищило 20%, що порівняно з середньостатистичними по аналогічних об'єктах значеннями фактичних питомих втрат в системах водопостачання. Це побічно свідчить про те, що вихідні дані по навантаженнях і добової нерівномірності були оцінені коректно.

Наступний крок процесу калібрування моделі – визначення інтегральної характеристики гідравлічного опору мереж. Оцінка цієї характеристики для цілей укрупненого моделювання здійснюється в цілому по системі водопостачання, без деталізації параметрів опору для кожного окремого трубопроводу. Практика показала, що найбільш адекватним способом оціночного опису інтегральної характеристики гідравлічного опору для водопровідних мереж є так званий «коефіцієнт заростання», вимірюваний у відсотках еквівалентного зменшення внутрішнього діаметру по відношенню до конструктивного. Такий коефіцієнт дозволяє укрупнено врахувати всі лінійні і місцеві гідравлічні опори, віднісши їх за рахунок «умовного» зменшення прохідного поперечного перерізу трубопроводів.

Для розрахунку лінійних втрат напору у напірних трубопроводах круглого перерізу використовуємо формулу Дарсі-Вейсбаха, яка теоретично найбільш коректна та використовується для усіх рідин у всьому діапазоні значень турбулентності потоку. Сама формула виглядає наступним чином:

$$h = \lambda \frac{l \overline{v^2}}{d 2g}$$

де h - лінійні втрати напору;

λ - коефіцієнт гідравлічного тертя;

l - довжина труби;

d - внутрішній діаметр труби;

v - середня швидкість потоку;

g - прискорення вільного падіння.

В залежності від режиму турбулентності у трубопроводі використовуємо різні методи розрахунку коефіцієнту тертя, тобто для ламінарної течії формулу Хагена-Пуазеля, перехідного режиму кубічна інтерполяція діаграми Муді, для турбулентного режиму формула Колбрука-Уайта.

Із посібника EPANet рекомендуються коефіцієнти шорсткості наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Коефіцієнти шорсткості

| Матеріал \ Одиниці виміру | Хазан-Вільямс | Дарсі-Вейсбах | Чезі-Маннінг |
|---------------------------------|---------------|---------------|--------------|
| | Безрозмірний | мл фут | Безрозмірний |
| Чавун | 130 - 140 | 0.85 | 0.012-0.015 |
| Бетон | 120 - 140 | 1.0 - 10 | 0.012-0.017 |
| Оцинкована сталь | 120 | 0.5 | 0.015-0.017 |
| Полімери | 140 - 150 | 0.005 | 0.011-0.015 |
| Сталь | 140 - 150 | 0.15 | 0.015-0.017 |
| Склопластик | 110 | - | 0.013-0.015 |

Для визначення еквівалентного коефіцієнта заростання по мережі в цілому було проведено ряд математичних розрахунків при різних значеннях цього коефіцієнта для однієї характеристичної години (з наявних архівів подач), з навантаженням, близькою до пікової.

Для проведення розрахунку потрібно задати певні параметри, наприклад формулу розрахунку втрат напору, систему одиниць вимірювань, тощо. Для цього у панелі меню потрібно натиснути на кнопку «Класи» та натиснути на «Документ розрахунку гідравлічної моделі» та створити новий чи редагувати/переглянути існуючий. Тобто у документі розрахунку вже наведені налаштування проведення гідравлічних розрахунків.

Нарешті, останній крок калібрування – порівняння результатів моделювання з даними замірів що дозволило уточнити топологію мережі, виявивши передбачувані невідповідності моделі, описаній за наданими матеріалами, фактичній структурі деяких вузлів мережі [11].

Основна мета проведення математико-картографічного моделювання – це рекомендувати найкращі варіанти оптимізації роботи мережі та підвищення ефективності діяльності насосних станцій, а також заходи щодо контролю тиску та зонування водопостачання, за допомогою карти, основна інформація якої базується на математичних результатах моделювання.

3.3. Сценарій пожежогасіння з використанням водогону

За призначенням всі водопроводи можна поділити на:

- господарсько-питні;
- виробничі;
- протипожежні.

Протипожежні водогони в залежності від напору поділяють на водогони високого і низького тиску.

У протипожежному водопроводі високого тиску зазвичай створено тиск, що необхідний для гасіння пожежі у будівлі з найбільшою кількістю поверхів у вибраному кварталі без застосування пожежних машин. Саме для цього в будівлях насосних станцій або інших окремих приміщеннях встановлюються стаціонарні пожежні насоси. Вони обслуговують не тільки окремі багатоповерхові будівлі, а й групу багатоповерхових будівель, які живляться за кільцевою схемою [3].

У водопроводах низького тиску під час моделювання пожежної ситуації, щоб створити необхідний тиск використовують пожежні насоси, які власне підключаються до пожежних гідрантів за допомогою усмоктувальних пожежних рукавів.

Отже, у водопроводах високого тиску вода до місця пожежі подається рукавними лініями безпосередньо від гідрантів під напором від стаціонарних пожежних насосів, встановлених в насосній станції, але переважно в містах з населенням понад 100 тисяч осіб використовують об'єднані господарсько-питні та протипожежні водогони низького тиску кільцевого типу [19].

Подача води для потреб пожежогасіння забезпечується пожежними автомобілями з гідрантів, що встановлені на водопровідній мережі. У великих містах (понад 100 тисяч осіб) пожежні витрати складають незначну частину водоспоживання, тому практично не впливають на режим роботи водопроводу.

Гідрант з пожежної колонкою є водозабірним пристроєм, що встановлюють на водопровідній мережі і має основане призначення – відбір води при гасінні пожежі.

Пожежні гідранти поділяються на підземні та надземні – це залежить від конструктивних особливостей і умов протипожежного захисту об'єктів, що знаходяться під охороною.

Підземні гідранти встановлюються в спеціальних колодязях, що накриваються кришкою люка. Надземні гідранти знаходяться вище поверхні землі із закріпленою на ньому колонкою. Пожежні гідранти встановлюються на кільцевих водопровідних мережах, але можливим є також встановлення пожежних гідрантів на тупикових лініях незалежно від витрати води на пожежогасіння за єдиної умови – їх довжина не має перевищувати 200 м [3].

Для проведення гідравлічного розрахунку пожежогасіння були задіяні всі пожежні гідранти із математично-картографічної моделі в кількості – 9 штук (рис.3.2).

Провівши розрахунок кілька разів і проаналізувавши пікові години всі приведені розрахунки, що проводяться на 9 годину ранку. Результати розрахунків наведені в табл. 3.2.

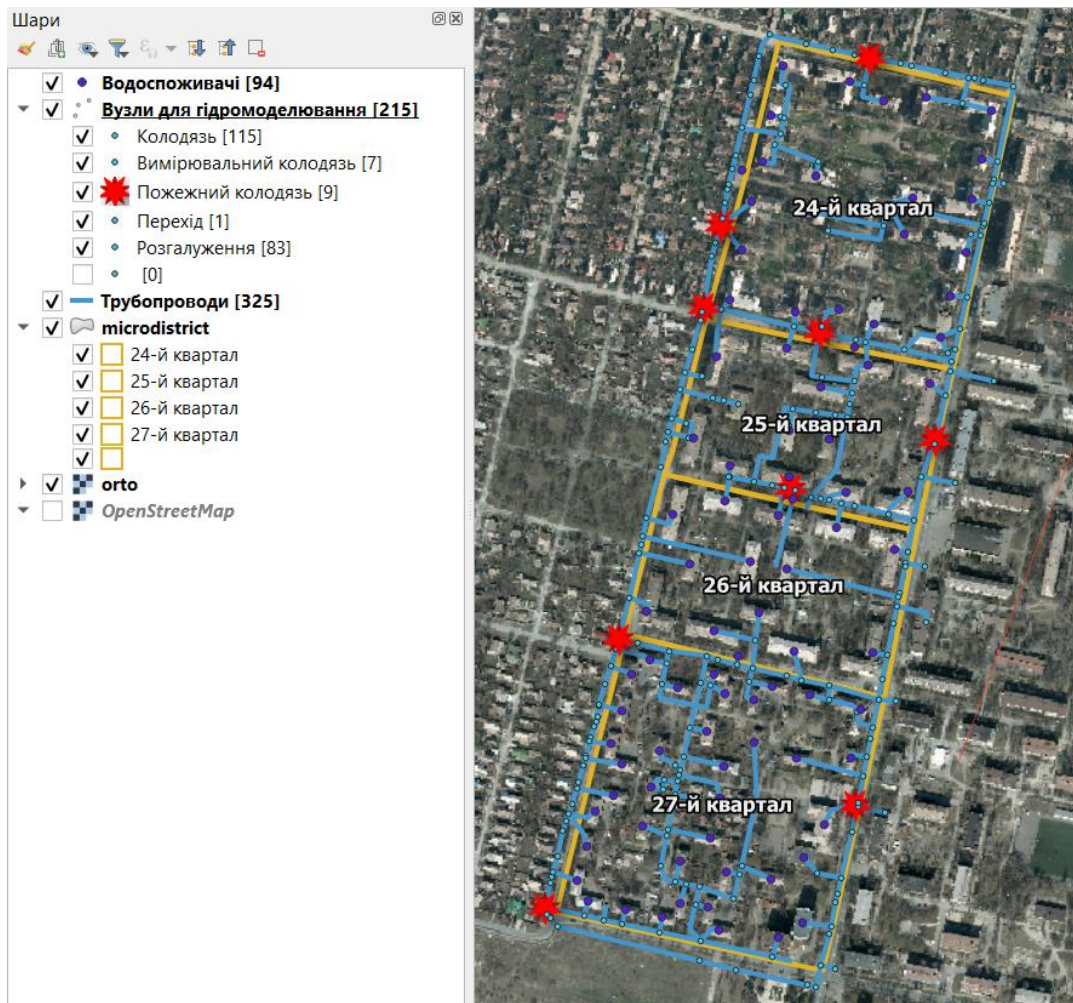


Рис. 3.2 Місця знаходження пожежних гідрантів

Таблиця 3.2

Розрахункові показники пожежних гідрантів

| № гідранту | X | Y | Висотна відмітка, м | Напір, м | Тиск, м водяного стовпчика |
|------------|-----------|-------------|---------------------|-------------|----------------------------|
| 1 | 4189786,5 | 5960143,317 | 32,37129211 | 63,95272446 | 21,58272552 |
| 2 | 4189768,4 | 5959931,995 | 33,31554413 | 63,94577026 | 19,62577057 |
| 3 | 4191265,9 | 5963394,13 | 28,70000076 | 59,90307999 | 31,20308113 |
| 4 | 4191540,3 | 5961640,237 | 38,26669312 | 65,34257507 | 17,07257462 |
| 5 | 4191214,5 | 5961510,319 | 39,79999924 | 65,00093079 | 15,20092964 |
| 6 | 4190065,1 | 5963262,53 | 19,7096138 | 56,08528137 | 36,37528229 |
| 7 | 4190157,7 | 5963241,629 | 20,3585434 | 56,11109543 | 35,75109482 |
| 8 | 4190222,9 | 5963509,457 | 13,56178856 | 59,89480591 | 46,33480835 |
| 9 | 4192362,6 | 5962117,713 | 26,38000107 | 73,37797546 | 26,99797249 |

Провівши розрахунок потужностей трубопроводів математично-картографічної моделі можна зробити висновок, що тиск у водопровідній мережі забезпечить необхідну витрату з пожежогасіння навіть в разі виникнення двох пожеж одночасно і забезпечить показник витрачання рідини в діапазоні від 10 л сек. до 30 л сек.

3.4. Створення карт аварійних ділянок

Аналізуючи стан водопровідної мережі впродовж доби, відзначаємо наступне:

- присутні абоненти з низьким тиском;
- присутні абоненти з високим тиском;
- присутні перепади тиску в мережі протягом доби;
- присутні занижені та високі швидкості проходження води по трубах (рис.3.3).

Провівши розрахунки декілька разів і проаналізувавши пікові години всі приведені розрахунки проводяться на 8 годину ранку. При проведенні розрахунків за допомогою інструменту гідравлічного моделювання виявлені абоненти з низьким тиском якого не достатньо для забезпечення водою абонентів.

Окрім цього, також виявлені абоненти з високим тиском (виділені жовтим та червоним кольором), якого забагато для приватного забезпечення водою абонентів.

Проаналізувавши причину високого тиску встановлено, що рельєф міста міняється від 50 м до 0 м, що приводить до високого тиску.

При проведенні розрахунку також виявлені занижені та високі швидкості проходження води по трубах.

Проаналізувавши причину занижених та високих швидкостей проходження води по трубах напряду залежить від споживання води абонентами.

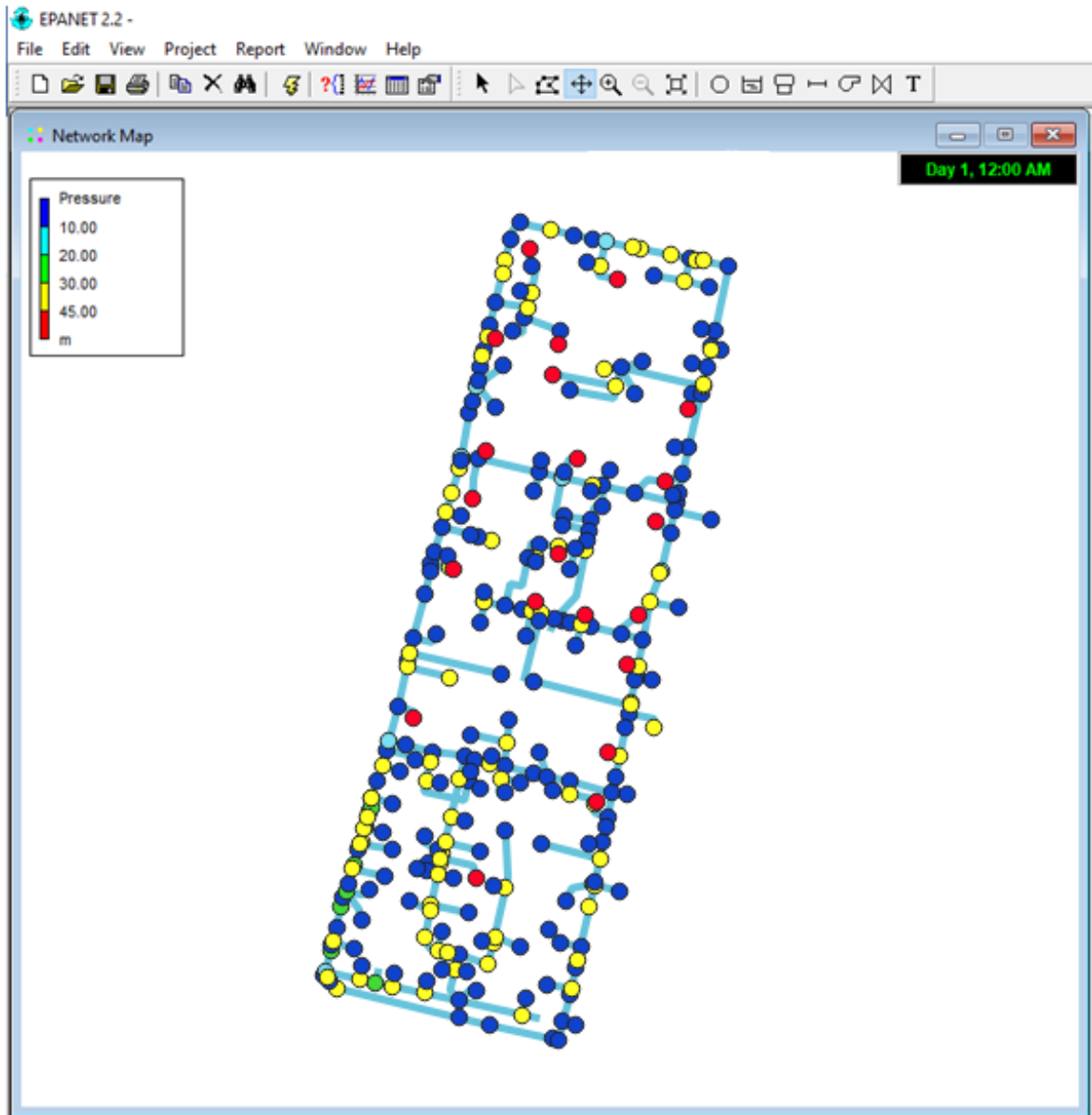


Рис. 3.3 Аналіз тиску у мережі

Таблиця під графіком має містити наступні параметри (рис.3.4):

- Назва вузла;
- Діаметр, мм;
- Довжина, м;
- Витрата, м³/год;
- Витрата, л/с;
- Напір, м;
- Тиск, м;

- Відмітка, м;
- Втрати напору, м;
- Питомі втрати напору, м/км;
- Швидкість, м/с.

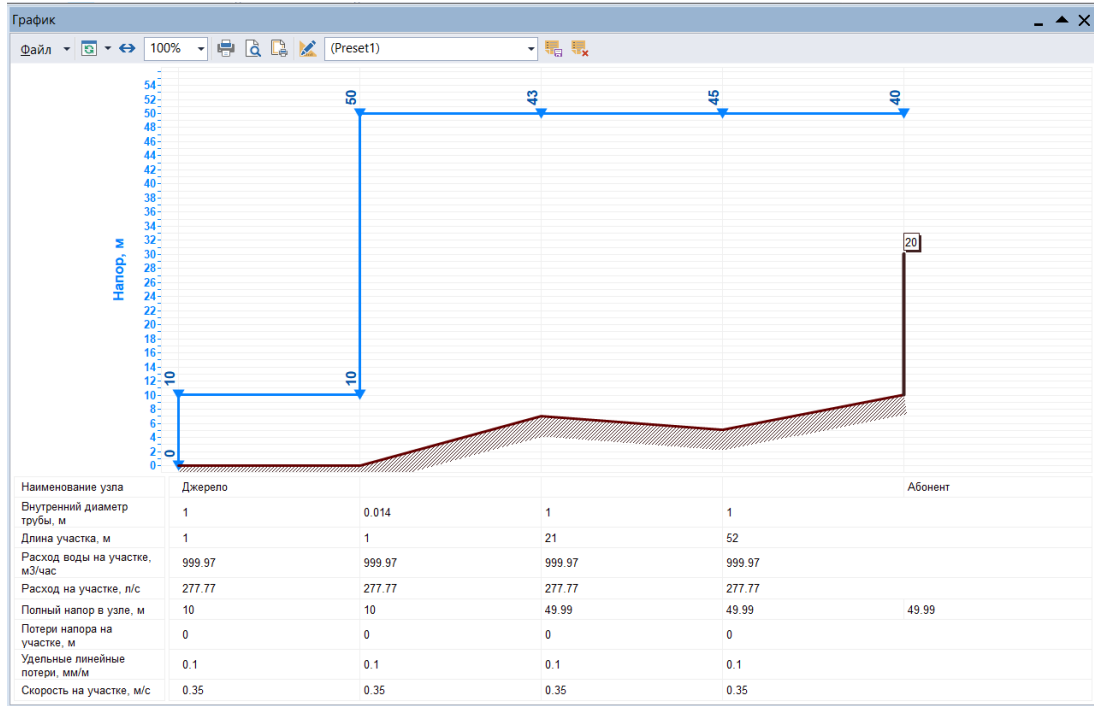


Рис. 3.4 Приклад п'єзометричного графіку побудованого у EPANet
У випадку, коли в траншеї більше ніж одна труба, то будується дві лінії на графіку (рис.3.5).

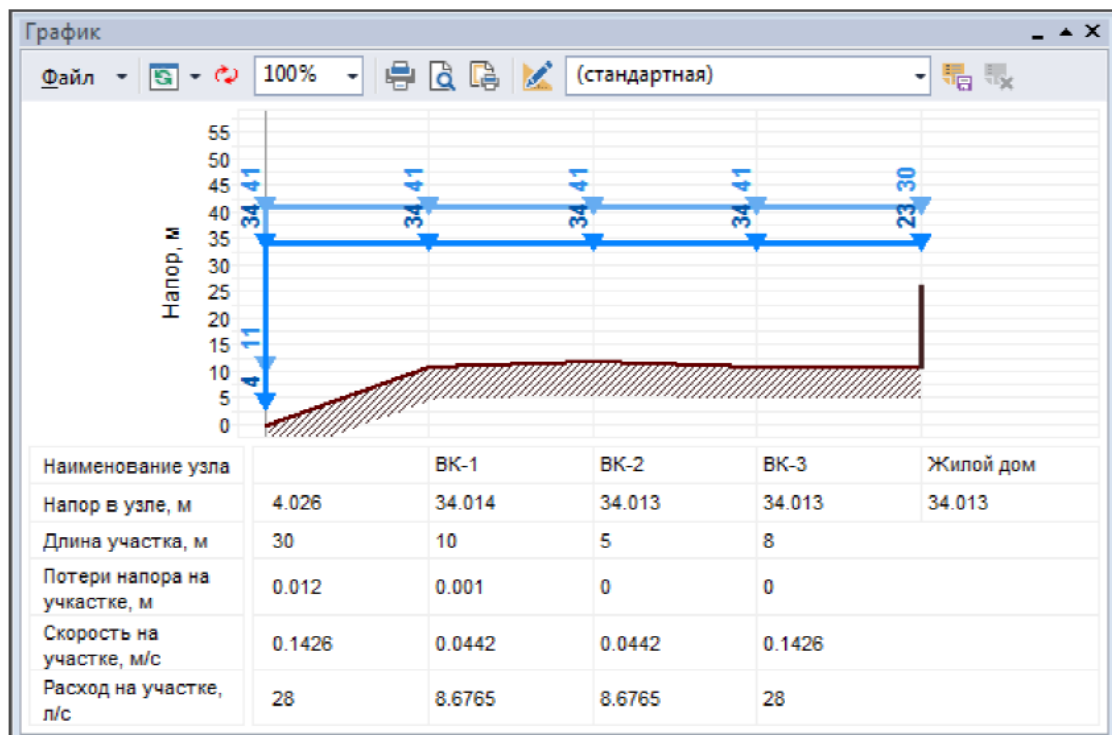


Рис. 3.5 П'єзометричний графік для двох труб

Під час виконання математико-картографічного моделювання виконано такі завдання:

- 1) Перевірку та аналіз коректності наданої моделі EPANet по водопровідній мережі та звіт у вигляді таблиці і графіків з переліком необхідних коригувань;
- 2) Калібрування водопровідної мережі на базі фактичних вимірювань тиску та витрати з детальний описом процесу калібрування (методологія) та переліком налаштувань (змін шорсткості, налаштувань частотних перетворювачів, змін ступеню відкриття регулюючих засувок), включаючи обґрунтування / пояснення різниці у даних моделі і розходження від фактичних значень вимірювання, а також опис припущень (закритий клапан, особлива велика втрата напору тощо) та аномалій.

Допуски калібрування:

- Слід враховувати загальну схему калібрувального профілю, а також окремі результати з кроком у годину. Усі розрахункові потоки та тиски моделі у порівнянні з відповідними фактичними вимірами повинні відповідати допускам, зазначеним у наступних підрозділах. Будь-які вимірювання за межами цих допусків повинні бути записані як аномалії у звіті про калібрування:

- Витрати: Прогнозована зміна значень витрати повинна бути в межах $\pm 5\%$ від зареєстрованої зміни витрати протягом калібрувального дня. 95% усіх передбачуваних значень повинні знаходитися в межах $\pm 10\%$ від абсолютного фактичного вимірюваного значення витрати.

- Тиск: Прогнозована зміна значень тиску повинна знаходитися в межах $\pm 1,0$ м від зареєстрованої зміни денного тиску протягом калібрувального дня. 95% усіх передбачуваних значень повинні знаходитися в межах $\pm 2,0$ м від абсолютного вимірюваного значення тиску.

- Виявлені споживачі із низьким тиском;

Параметри які виводяться біля труб:

- Довжина, м;

- Діаметр, мм;
- Витрата, м³/год;
- Швидкість, м/с;
- Втрати напору, м (у розробці);
- Питомі втрати напору, м/км.

На основі результатів математико-картографічного моделювання експортуємо шари з EPANet у форматі shp-файлу, завантажуюмо їх робочого простору QGIS та укладаємо карти аварійних ділянок мережі з використання Менеджера макетів у QGIS (рис. 3.6).

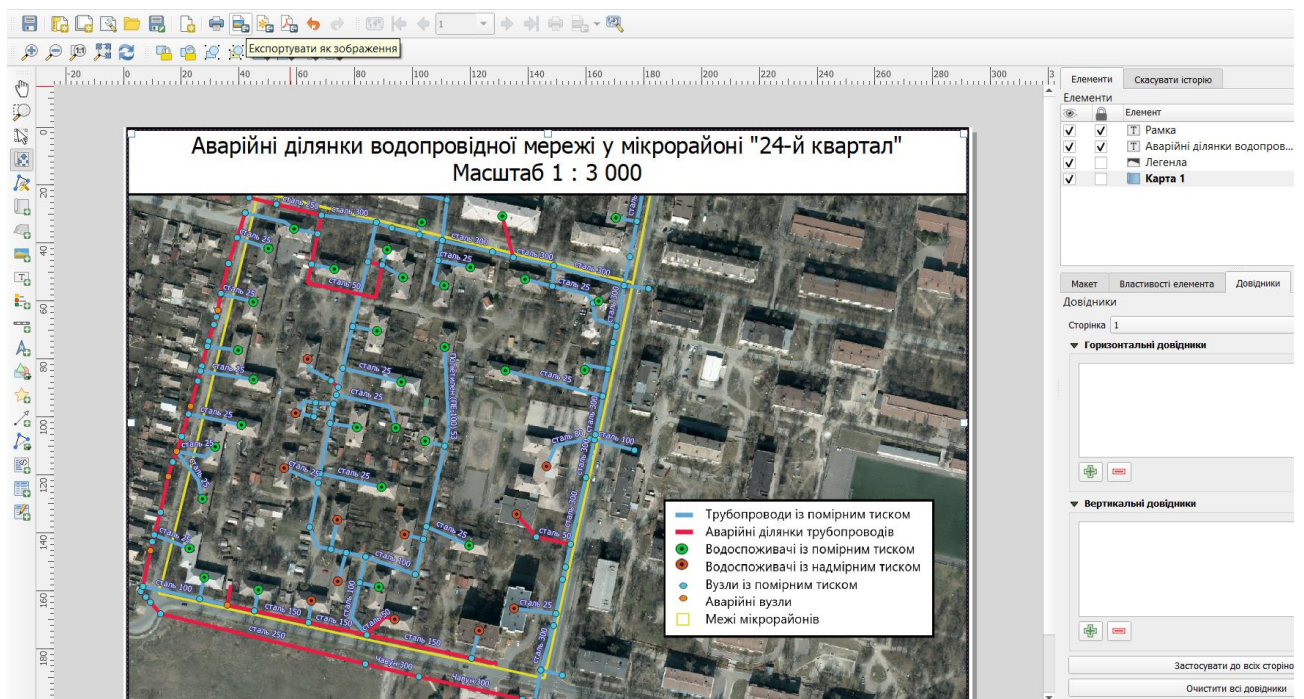


Рис. 3.6 Створення макету карти

Створені карти за мікрорайонами «24-й квартал», «25-й квартал», «26-й квартал», «27-й квартал» наведені у Додатку Г, Додатку Г, Додатку Д і Додатку Е відповідно.

ВИСНОВКИ

За результатами проведеного дослідження зроблено наступні висновки:

1. Визначено актуальні проблеми у житлово-комунальному секторі країни та розглянуто основні поняття, що стосуються водопровідної мережі, зокрема на обраній території, оскільки водопостачання як основний елемент водопровідного господарства та одна з найнеобхідніших складових благоустрою сучасного міста – утворює комплекс необхідних побутових зручностей у житлових і громадських будівлях, що створені для водоспоживача. Надмірну розгалуженість підземної системи складно контролювати з технічної сторони, але гідравліка як прикладна інженерна наука необхідна для розрахунків при проектуванні чи реконструкції мережі і споруд системи водопостачання, каналізації, гідротехнічних споруд, мостів, конструювання насосів.

2. На основі створеної бази даних, розроблені головні стратегії формування бази даних, тому що проектування сучасних геоінформаційних систем водопостачання і водовідведення допомагають здійснити математико-картографічне моделювання так, щоб провести розрахунки гідравлічного руху води в трубах з найменшими похибками і при цьому зменшити витрати води в водогоні та водопровідній мережі, саме такий підхід дозволить використовувати наявні запаси води в місті з мінімальними втратами. Облік об'єктів різних галузей житлово-комунального господарства, забезпечує створення детальної бази даних для зручного перерахунку матеріальних потужностей, щоб в першу чергу оцінити масштаб проблеми, а згодом використовувати створену мережу представлену у вигляді геоінформаційної системи для моніторингу об'єктів житлово-комунального господарства.

3. Досліджено методику проведення математико-картографічного моделювання та основні функції інструменту гідравлічного розрахунку, оскільки точність визначення розрахункових витрат і необхідних тисків, вибір матеріалів для монтажних конструкцій та їх параметрів, швидкість руху води –

це запорука безперебійності, надійності і безпеки роботи систем водопостачання і водовідведення. Улаштування даних систем та їх окремих елементів характеризується високим ступенем складності: великим розмаїттям схем, використанням приладів для регулювання і контролю їх роботи.

4. Проаналізовано результати математико-картографічного моделювання, які є підґрунтям для складання карт аварійних ділянок водопровідної мережі, за ним побудовано математично-картографічну модель, що містить наочну інформацію про величину тисків у мережі об'єктів за даними, що взяті з атрибутивних таблиць векторних шарів карти, оскільки перетворення математичної моделі на картографічну дозволяє візуалізувати результати дослідження як за окремими етапами, так і в цілому, перевірити точність математичних перетворень та географічну коректність результату.

5. Розглянуто можливий сценарій пожежогасіння, який показує, що тиск у водопровідній мережі забезпечить необхідну витрату з пожежогасіння навіть в разі виникнення кількох пожеж одночасно і забезпечить показник витрачання рідини у фіксованому діапазоні.

6. Створено карти аварійних ділянок трубопроводу для кожного розглянутого мікрорайону, які можуть бути наочним підґрунтям для ведення обліку активів інженерних водопровідних мереж та сигналізувати про небезпечні ділянки підземних трубопроводів, які в разі підвищення тиску води у водогоні можуть привести до негативних наслідків. Дані з карти повинні рекомендувати в першу чергу ділянки труб для майбутньої реконструкції, які є проблемою найвищого значення, оскільки від якості і надійності водопровідних мереж залежить не тільки благоустрій міста, але й життя і здоров'я людей.

Отже, раціональним підходом є створення геоінформаційної системи – розгорнутої бази даних та розробка математико-картографічної моделі водопровідної мережі, на основі якої, можна складати карти аварійних ділянок трубопроводів і зручно оцінювати ресурси водопровідного господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. М.: Стройиздат, 1982. 440 с.
2. Абрамов Н.Н. Надежность системы водоснабжения. М.: Стройиздат, 1984. 216 с.
3. Абрамов Н.Н. Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды. М.: Стройиздат, 1984, 283 с.
4. Бухаркин Е.Н. и др. Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений: Учебник/ Е.Н. Бухаркин, В.М. Овсянников, К.С. Орлов и др.; Под ред. Ю.С. Соснина. – М.: Высшая школа, 2001. – 415 с.
5. Водопостачання і водовідведення житлових будинків: Навчальний посібник./ І.М. Симонова, В.М. Долголаптев, О.К. Ніколаєва, С.І. Симонов. – Алчевськ: ДонДТУ, 2011. – 174 с.
6. Водопровідна мережа міста: Методичні вказівки до виконання курсового проекту. / Укл. П.І. Шевчук. – Чернівці, Рута, 2007. – 136 с.
7. В.О. Орлов, А.М. Зошук. Проектування систем сільськогосподарського водопостачання. – Рівне, 2005. – 252 с.
8. Гидравлика, водоснабжение и канализация: Учебник для вузов/В. И. Калицун, В. С. Кедров, Ю. М. Ласков, П. В. Сафонов – М.: Стройиздат, 1980. – 359 с.
9. Козаченко Т.І. Картографічне моделювання: Навчальний посібник/ Т.І. Козаченко, Г.О. Пархоменко, А.М. Молочко - Вінниця: ТОВ “Антекс”. - УЛТД, 1999. - 320 с.
10. Козаченко Т.І. Методи моделювання і моделі в геоінформаціоному картографуванні / Т.І. Козаченко // Вісник геодезії та картографії. - 2008. - №3(54). - С. 11-18.
11. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. Л. : Стройиздат, 1986. 440 с.
12. Місто крокує в майбутнє. Збірник. – Київ: Будівельник, 1967.

13. Миссель К.В. Водоснабжение старых городов. – Водоснабжение и санитарная техника. – 1939. – № 11-12.
14. Монтаж систем внешнего водоснабжения и канализации/ Под ред. А.К. Перешивкина. Изд. 3-е. М.: Стройиздат, 1988. – (Справ. монтажника). 576 с.
15. Система підтримки прийняття рішень з моніторингу та управління станом вод басейну річки Дністер з використанням геоінформаційних технологій / [Мокін В. Б., Мокін Б. І., Бабич М. Я. та ін.]; під ред. В. Б. Мокіна. – Вінниця: УНІВЕРСУМВінниця, 2009. – 252 с
16. Системы керування базами геоданих для ПІД. Vancouver Island University.
17. Петімко П.І., Прокопчук І.Т., Царік М.Ф. Налагодження роботи систем водопостачання. – Київ: Урожай, 1995.
18. Правила технической эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения населенных мест. М., МЖКХ РСФСР, 1979. 136 с.
19. Прозоров И.В. и др. Гидравлика, водоснабжение и канализация / И.В. Прозоров и др. – М.: Высшая школа, 1990. – 448 с.
20. Реструктуризація підприємств житлово-комунального господарства [Текст] : дис. канд. екон. наук: 08.06.01 / Гавриленко Валентина Олександрівна; Європейський ун-т. - К., 2005. - 239 арк. - арк. 189-204.
21. Сладков А.В. Проектирование и строительство наружных сетей водоснабжения и канализации из пластмассовых труб. М.: Стройиздат, 1988, 207 с.
22. Хорунжий П.Д., Ткачук О.А. Водопровідні системи і споруди. – К.: Вища школа, 1993. – 230 с.
23. Шальнов А.П., Яковлев Г.И. Технология и организация строительства водопроводных и канализационных сетей и сооружений. М.: Стройиздат, 1981. 312 с.
24. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения. Справочник. Изд. 3-е. Л.: Стройиздат, 1988. 384 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Вузли для гідромодельювання — Features Total: 215, Filtered: 215, Selected: 0

| Object_ID | pr989 | pr987 | pr1138 | Глибина | Матеріал с | |
|-----------|--------|--------------|--------------|-----------------------------|------------|-------------|
| 1 | 45778 | Розгалуження | Чистий | Внутрішньоквартальна мережу | 6,000 | Залізобетон |
| 2 | 45501 | Розгалуження | Засипаний | Внутрішньоквартальна мережу | 4,000 | Цегла |
| 3 | 264189 | Колодязь | Чистий | Внутрішньоквартальна мережу | 3,300 | Грунт |
| 4 | 240057 | Розгалуження | Затоплений | Внутрішньоквартальна мережу | 3,200 | Залізобетон |
| 5 | 264198 | Колодязь | Засипаний | Вулична мережа | 3,200 | Грунт |
| 6 | 240012 | Розгалуження | Затоплений | Внутрішньоквартальна мережу | 3,000 | Залізобетон |
| 7 | 237387 | Розгалуження | Засипаний | Внутрішньоквартальна мережу | 2,700 | Грунт |
| 8 | 236747 | Розгалуження | Чистий | Внутрішньоквартальна мережу | 2,600 | Цегла |
| 9 | 45496 | Розгалуження | Засипаний | Внутрішньоквартальна мережу | 2,300 | Залізобетон |
| 10 | 237392 | Розгалуження | Засипаний | Внутрішньоквартальна мережу | 2,300 | Залізобетон |
| 11 | 45500 | Розгалуження | Чистий | Внутрішньоквартальна мережу | 2,000 | Цегла |
| 12 | 236649 | Розгалуження | Засипаний | Внутрішньоквартальна мережу | 2,000 | Залізобетон |
| 13 | 236727 | Розгалуження | Чистий | Внутрішньоквартальна мережу | 2,000 | Грунт |
| 14 | 239973 | Розгалуження | Засипаний | Внутрішньоквартальна мережу | 2,000 | Цегла |
| 15 | 236547 | Розгалуження | Чистий | Внутрішньоквартальна мережу | 1,800 | Залізобетон |
| 16 | 235579 | Колодязь | Засипаний | Внутрішньоквартальна мережу | 1,400 | Цегла |
| 17 | 230613 | Колодязь | Чистий | Внутрішньоквартальна мережу | 1,300 | Цегла |
| 18 | 239667 | Розгалуження | Затоплений | Внутрішньоквартальна мережу | 1,300 | Залізобетон |
| 19 | 45495 | Розгалуження | Чистий | Внутрішньоквартальна мережу | 1,200 | Залізобетон |
| 20 | 45796 | Перехід | Затоплений | Внутрішньоквартальна мережу | 1,200 | Грунт |
| 21 | 239657 | Розгалуження | Чистий | Внутрішньоквартальна мережу | 1,200 | Грунт |
| 22 | 45499 | Розгалуження | Заблокований | Внутрішньоквартальна мережу | 1,000 | Залізобетон |
| 23 | 236324 | Розгалуження | Заблокований | Магістральний водогін | 1,000 | Цегла |
| 24 | 239964 | Розгалуження | Заблокований | Внутрішньоквартальна мережу | 1,000 | Цегла |

Додаток Б

Водоспоживачі — Features Total: 94, Filtered: 94, Selected: 0

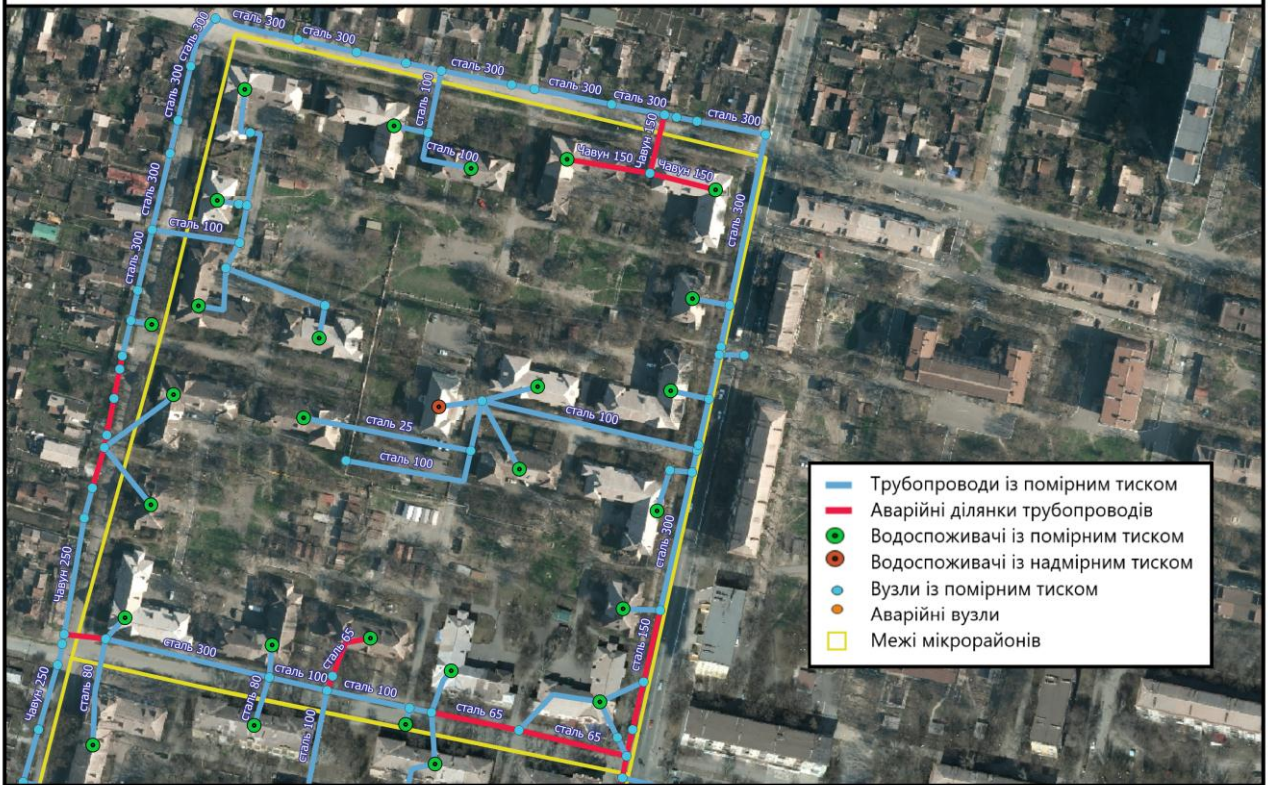
| fid | Наиме | Юриди | Витра | Район | Тип м |
|-----|---|-------------------|----------|--------------|---------------------|
| 4 | 22342 20, 24 квартал, Кальміуський район, Маріупол... | Фізична/Юридич... | 0,19229 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 5 | 22343 21, 24 квартал, Кальміуський район, Маріупол... | Фізична особа | 0,136 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 6 | 13637 Гастелло вулиця, 26 квартал, Кальміуський ра... | Фізична особа | 0,081 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 7 | 13834 Блажевича вулиця, 25 квартал, Кальміуський ... | Фізична особа | 0,018787 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 8 | 13857 27 квартал, Центральний район, Маріуполь, К... | Фізична/Юридич... | 0,018787 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 9 | 22323 1, 24 квартал, Кальміуський район, Маріуполь... | Фізична/Юридич... | 0,158899 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 10 | 13547 Глінки вулиця, 24 квартал, Кальміуський райо... | Фізична/Юридич... | 0,059722 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 11 | 22328 6, 24 квартал, Кальміуський район, Маріуполь... | Фізична/Юридич... | 0,203142 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 12 | 22329 7, 24 квартал, Кальміуський район, Маріуполь... | Фізична особа | 0,12572 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 13 | 22330 8, 24 квартал, Кальміуський район, Маріуполь... | Фізична/Юридич... | 0,107925 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 14 | 22331 9, 24 квартал, Кальміуський район, Маріуполь... | Фізична особа | 0,23735 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 15 | 22324 2, 24 квартал, Кальміуський район, Маріуполь... | Фізична особа | 0,07143 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 16 | 22325 3, 24 квартал, Кальміуський район, Маріуполь... | Фізична особа | 0,14261 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 17 | 22326 4, 24 квартал, Кальміуський район, Маріуполь... | Фізична особа | 0,23293 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 18 | 22327 5, 24 квартал, Кальміуський район, Маріуполь... | Фізична особа | 0,10972 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 19 | 22468 21, 27 квартал, Центральний район, Маріупол... | Фізична особа | 0,081 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 20 | 22469 21а, 27 квартал, Центральний район, Маріупо... | Фізична особа | 0,04763 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 21 | 22470 22, 27 квартал, Центральний район, Маріупол... | Фізична особа | 0,08787 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 22 | 22471 26, 27 квартал, Центральний район, Маріупол... | Фізична особа | 0,018787 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 23 | 22464 15, 27 квартал, Центральний район, Маріупол... | Фізична особа | 0,07438 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 24 | 22465 15а, 27 квартал, Центральний район, Маріупо... | Фізична особа | 0,06588 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 25 | 22466 16, 27 квартал, Центральний район, Маріупол... | Фізична особа | 0,05999 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 26 | 22467 18, 27 квартал, Центральний район, Маріупол... | Фізична особа | 0,06176 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |
| 27 | 33832 13, 26 квартал, Кальміуський район, Маріупол... | Юридична особа | 0,04128 | Кальміуський | Прибудинкова мережу |

Додаток В

Трубопроводи — Features Total: 325, Filtered: 325, Selected: 0

| | el_id | CalcName | material | diameter | pr1043 | протяжність |
|----|--------|---------------|------------|----------|--------------|-------------|
| 40 | 45687 | Поліетилен 53 | Поліетилен | 53 | Квартальна | 23 |
| 41 | 44268 | Поліетилен 53 | Поліетилен | 53 | Абонентська | 38 |
| 42 | 45703 | Поліетилен 53 | Поліетилен | 53 | Абонентська | 34 |
| 43 | 45726 | Поліетилен 53 | Поліетилен | 53 | Квартальна | 29 |
| 44 | 288768 | Поліетилен 53 | Поліетилен | 53 | Квартальна | 7 |
| 45 | 279521 | Поліетилен 53 | Поліетилен | 53 | Абонентська | 5 |
| 46 | 45693 | сталь 500 | сталь | 500 | Магістральна | 31 |
| 47 | 309102 | сталь 50 | сталь | 50 | Абонентська | 22 |
| 48 | 93417 | сталь 50 | сталь | 50 | Абонентська | 31 |
| 49 | 46058 | сталь 50 | сталь | 50 | Абонентська | 26 |
| 50 | 264064 | сталь 50 | сталь | 50 | Квартальна | 11 |
| 51 | 45749 | сталь 50 | сталь | 50 | Квартальна | 7 |
| 52 | 46047 | сталь 50 | сталь | 50 | Квартальна | 13 |
| 53 | 290003 | сталь 50 | сталь | 50 | Квартальна | 89 |
| 54 | 290006 | сталь 50 | сталь | 50 | Квартальна | 22 |
| 55 | 289982 | сталь 50 | сталь | 50 | Квартальна | 14 |
| 56 | 278943 | сталь 50 | сталь | 50 | Квартальна | 16 |
| 57 | 278961 | сталь 50 | сталь | 50 | Квартальна | 11 |
| 58 | 278837 | сталь 50 | сталь | 50 | Квартальна | 36 |
| 59 | 264435 | сталь 50 | сталь | 50 | Квартальна | 25 |
| 60 | 45650 | Поліетилен 42 | Поліетилен | 42 | Абонентська | 28 |
| 61 | 45663 | Поліетилен 42 | Поліетилен | 42 | Абонентська | 34 |
| 62 | 309078 | сталь 300 | сталь | 300 | Районна | 9 |
| 63 | 309088 | сталь 300 | сталь | 300 | Районна | 9 |

Аварійні ділянки водопровідної мережі у мікрорайоні "24-й квартал"
Масштаб 1 : 3 000



Аварійні ділянки водопровідної мережі у мікрорайоні "25-й квартал"
Масштаб 1 : 2 500



Аварійні ділянки водопровідної мережі у мікрорайоні "26-й квартал"
Масштаб 1 : 2 500



