

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет



Інженерні мережі

Конспект лекцій

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньо-професійної програми «Будівництво та цивільна інженерія»
галузі знань 19 Архітектура та будівництво
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
денної та заочної форм навчання

УДК 628 (07)
І 62

До друку
Голова вченої ради
факультету архітектури, будівництва та дизайну _____ О. АНДРІЙЧУК

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозиторій ЛНТУ

Директор бібліотеки _____ Н. ПОЛЩУК

Затверджено вченою радою факультету архітектури,
будівництва та дизайну ЛНТУ, протокол № __ від «__» _____ 2025 р.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри будівництва
та цивільної інженерії ЛНТУ, протокол № __ від «__» _____ 2025 р.

Завідувач кафедри будівництва та цивільної інженерії _____ О. УЖЕГОВА

Укладач: _____ С. СИНІЙ, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва
та цивільної інженерії ЛНТУ

Рецензент: _____ П. СУНАК, кандидат технічних наук, доцент кафедри
будівництва та цивільної інженерії ЛНТУ

Відповідальна за випуск: _____ О. УЖЕГОВА, кандидат технічних наук,
доцент, завідувач кафедри будівництва та цивільної інженерії ЛНТУ.

Інженерні мережі [Текст]: конспект лекцій для здобувачів першого
І 62 (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньо-професійної програми
«Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 Архітектура та
будівництво спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія денної та
заочної форм навчання / уклад. С. СИНІЙ. – Луцьк: ЛНТУ, 2025. – 120 с.

Методична розробка містить основні визначення та методики проектування
інженерних мереж будівель та споруд, населених пунктів, відповідно до
нормативних вимог, рекомендації щодо експлуатації інженерних мереж. Наведено
список рекомендованої літератури.

Видання призначене для здобувачів спеціальності 192 Будівництво та цивільна
інженерія денної та заочної форм навчання.

© С. В. Синій, 2025

Зміст

Тема 1. Системи та схеми водопостачання і каналізації будівель, споруд	5
1.1. Загальні поняття і визначення інженерних мереж та обладнання	5
1.2. Класифікація мереж водопостачання	8
1.3. Внутрішні мережі водопостачання	9
1.4. Класифікація мереж каналізації.....	11
1.5. Внутрішні мережі каналізації.....	12
1.6. Конструктивні елементи систем водопостачання	13
1.7. Конструктивні елементи систем каналізації.....	16
Тема 2. Проєктний розрахунок внутрішніх систем водопостачання і каналізації	18
2.1. Проєктний розрахунок систем холодного водопостачання	18
2.2. Проєктний розрахунок систем гарячого, виробничого, протипожежного та поливного водопроводів	23
2.3. Проєктний розрахунок систем побутової каналізації	24
2.4. Проєктний розрахунок систем водостоків	26
Тема 3. Системи та схеми водопостачання і каналізації населених пунктів та промпідприємств	27
3.1. Системи та схеми водопостачання.....	27
3.2. Системи та схеми каналізації.....	31
3.3. Інженерні споруди та обладнання мереж водопостачання	34
3.4. Інженерні споруди та обладнання мереж каналізації	39
Тема 4. Проєктування зовнішніх мереж водопостачання і каналізації	42
4.1. Проєктування зовнішніх мереж водопостачання	42
4.2. Проєктування зовнішніх мереж каналізації.....	49
Тема 5. Системи та схеми опалення, теплопостачання	59
5.1. Види систем опалення, характеристика теплоносіїв.....	59
5.2. Теплопостачання міст, промислових підприємств, будівель та споруд.....	63

5.3. Конструювання систем опалення	69
5.4. Особливості використання водяних систем опалення.....	71
Тема 6. Проєктний розрахунок систем опалення, теплопостачання.....	73
6.1. Тепловий баланс приміщень.....	73
6.2. Теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій будівлі	75
6.3. Розрахунок систем опалення	79
6.4. Розрахунок систем теплопостачання.....	85
Тема 7. Системи та схеми вентиляції. Проєктний розрахунок систем вентиляції	95
7.1. Загальні відомості про вентиляцію	95
7.2. Класифікація вентиляційних систем	97
7.3. Основне обладнання систем вентиляції	99
7.4. Системи кондиціонування повітря	101
7.5. Розрахунок повітропроводів	104
7.6. Методика аеродинамічного розрахунку повітропроводів витяжної вентиляції	106
Тема 8. Газопостачання населених пунктів, пром підприємств, будівель та споруд.....	107
8.1. Класифікація горючих газів.....	107
8.2. Зовнішні мережі газопостачання.....	108
8.3. Внутрішні мережі газопостачання.....	111
8.4. Проєктування внутрішніх мереж газопостачання.....	113
Список рекомендованої літератури	115
Додатки	118
Додаток А. Таблиця співвідношення між деякими одинацями фізичних величин в системах МКГСС, МТС, СГС та Сі	118
Додаток Б. Умовні проходи і відповідні їм уніфіковані зовнішні діаметри сталевих труб	119

Тема 1. Системи та схеми водопостачання і каналізації будівель, споруд

1.1. Загальні поняття і визначення інженерних мереж та обладнання

Термін «інженерні» в назві дисципліни підкреслює, що вона тісно зв'язана з проектуванням, монтажем, ремонтом і експлуатацією інженерних мереж. Даний курс базується на теоретичних і практичних положеннях гідравліки та теплотехніки, вищої математики та фізики, а також тісно зв'язаний з будівельним матеріалознавством, інженерною геологією та геодезією, архітектурою, будівельною механікою.

Основні терміни та визначення інженерних мереж приймаються відповідно до ДБН, у якому наведена будівельна термінологія.

Інженерні мережі – трубопроводи і кабелі різного призначення (водопровід, каналізація, опалення, вентиляція, газопостачання, зв'язок та ін.), що прокладаються на територіях населених пунктів та промислових підприємств, а також у будівлях.

Інженерне обладнання будівель – комплекс технічних пристроїв, які забезпечують сприятливі (комфортні) умови побуту і трудової діяльності населення, що включає водопостачання (холодне і гаряче), каналізацію, вентиляцію, енергопостачання та електрообладнання, газопостачання, засоби сміттєвидалення і пожежогасіння, ліфти, зв'язок та телефонізацію, радіофікацію, охоронну сигналізацію та інші види внутрішнього благоустрою.

Водопровідна мережа – сукупність трубопроводів і пристроїв для подачі води до місць споживання.

Каналізаційна мережа – сукупність трубопроводів, колекторів, каналів і лотків для приймання і відведення стічних вод до місця розташування очисних споруд.

Теплова мережа – сукупність трубопроводів (теплопроводів), по яким переміщується теплоносій (гаряча вода чи пара) від джерела теплопостачання до споживача.

Електрична мережа – сукупність електричних ліній, підстанцій, розподільчих і перемикаючих пунктів, що зв'язують електростанції зі споживачами.

Контактна мережа – сукупність лінійних струмоведучих, ізолюючих, підтримуючих і опорних елементів, призначених для підведення електроенергії до струмоприймачів електрифікованого транспорту (електровоза, моторного вагона, трамваю, тролейбуса).

Система – сукупність споруд, пристроїв, обладнання, приладів та інших технічних засобів, підпорядкованих певному принципу і виконуючих спільну функцію (наприклад, система вентиляції, водопостачання, опалення і т.д.).

Для зручності проектування, конструювання і розрахунку, експлуатації систем інженерних мереж їх поділяють на зовнішні та внутрішні, із закріпленням відповідних вимог до них у нормативах.

Схема – графічне зображення з описом і техніко-економічним обґрунтуванням прийнятих рішень, що пояснюють основні ідеї, принципи і послідовність роботи пристроїв, установок, споруд і мереж (водопостачання, каналізації, тепlopостачання, газопостачання, електропостачання, зв'язку та ін.).

Водопостачання – сукупність заходів із забезпечення водою різноманітних споживачів (населення, промислових підприємств, транспорту, сільського господарства) необхідної кількості та потрібної якості.

Водопровід – комплекс інженерних споруд та пристроїв для отримання води з природних джерел, її очищення, транспортування до різноманітних споживачів необхідної кількості та потрібної якості.

Каналізація – комплекс інженерних споруд (трубопроводів, насосних станцій, очисних споруд) і обладнання (санітарних приладів, стояків та ін.), які забезпечують приймання, збирання і відведення стічних вод з територій населених пунктів, промислових підприємств та інших об'єктів, а також їх очищення і знешкодження перед утилізацією чи скиданням у водойму.

Тепlopостачання – постачання теплом за допомогою теплоносія (гарячої води чи пари) систем опалення, вентиляції, гарячого водопостачання житлових, громадських та промислових будівель і технологічних споживачів.

Опалення – штучне обігрівання приміщень з метою компенсації у них теплових втрат і підтримання на заданому рівні температури, визначеної умовами теплового комфорту для перебуваючих у приміщенні людей або вимогами здійснюваного в ньому технологічного процесу.

Газопостачання – організована подача і розподіл газового палива для потреб економіки та населення.

Газопровід – комплекс трубопроводів, обладнання і приладів, призначених для транспортування горючих газів від якого-небудь пункту до споживачів.

Вентиляція – природний або штучний регульований повітрообмін у приміщеннях (замкнених просторах), який забезпечує створення повітряного середовища відповідно до санітарно-гігієнічних та технологічних вимог.

Повітровід – трубопровід (короб) для переміщення повітря, застосовуваний у системах вентиляції, повітряного опалення, кондиціонування повітря, а також для транспортування повітря з технологічною метою.

Кондиціонування повітря – створення і автоматичне підтримання в закритих приміщеннях температури, відносної вологості, чистоти, складу і швидкості руху повітря, найбільш сприятливих для самопочуття людей, проведення технологічних процесів, роботи обладнання і приладів, зберігання матеріалів.

Для зручності проектування, конструювання і розрахунку, експлуатації систем інженерних мереж їх поділяють на зовнішні та внутрішні, із закріпленням відповідних нормативних вимог до них у ДБН.

Трубопровідна арматура – пристрої для регулювання і розподілу рідин і газів, що транспортуються по трубопроводах, і поділяються на запірну арматуру (крани, засувки), запобіжну (клапани), регулюючу (вентилі, регулятори тиску), відвідну (повітровідвідники, конденсатовідвідники), аварійну (сигнальні засоби) та ін.

Електропостачання – організована подача і розподіл постачання електроенергії комплексом електричних мереж (зовнішніх та внутрішніх) до споживачів (житлових, громадських, сільськогосподарських та промислових будівель і технологічних споживачів) для забезпечення їх потреб (освітлення, побутових та технологічних, зв'язку, охоронних та ін.).

Енергопостачання – постачання палива або трансформованого палива до місця споживання, яке потенційно охоплює сукупність послідовних процесів видобутку, передачі, виробництва, розподілу та зберігання палива. У більш вузькому значенні під цим терміном розуміють електропостачання, яке на сьогодні є дуже поширеним способом передачі енергії, зокрема - завдяки зручним технічним можливостям її транспортування та використання.

Система енергопостачання – комплекс мереж та обладнання, призначених для забезпечення запроектованих завдань енергопостачання.

Джерело електроенергії (електрогенератор) виробляє її з енергетичних ресурсів. Відповідно, за назвою використовуваних ресурсів, розрізняють джерела електричної енергії – електростанції:

- з невідновлюваних джерел енергії - атомні, теплові, гідравлічні;
- з нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії - сонячні; вітрові; тепла землі, вододжерел, повітря; біомаси (органічні відходи, енергетичні плантації); океанів та морів (припливи/відпливи); нетрадиційної гідроенергетики (малих річок, гідроаккумулявальних систем); вторинні енергетичні ресурси (тепловідходи життєдіяльності людини та виробництва).

Автоматизація та сигналізація систем інженерного обладнання на об'єктах промислового та цивільного будівництва забезпечує підвищення ефективності, якості, надійності, безпечності, зручності їх

роботи. Прикладом можуть служити різноманітні енергоефективні заходи, інформаційно-розрахункові системи, "розумні" системи (смарт-системи) від побутових приладів та інженерного обладнання будівель та споруд до масштабних інфраструктурних об'єктів мегаполісів.

Більш детальну інформацію про інженерні мережі та їх обладнання у межах даної навчальної дисципліни рекомендується також вивчати за літературними джерелами, зокрема: [1-25] - для мереж водопостачання і каналізації, [21-54] – для мереж теплогазопостачання і вентиляції, енергопостачання.

1.2. Класифікація мереж водопостачання

Системою водопостачання називають комплекс інженерних споруд, машин і апаратів, які призначені для добування води з природних джерел, поліпшення її якості, зберігання, транспортування і подачі водоспоживачам.

Схема водопостачання – взаємне розташування окремих елементів і споруд у кожній конкретній системі водопостачання.

За функціональним призначенням системи водопостачання поділяють на:

- господарсько-питні - призначені для подачі води питної якості за ДСанПІН 2.2.4-171-10 [20] на господарські і питні потреби населення і промислових підприємств, поливні потреби;

- виробничі - постачають водою технологічні потреби виробництва, якість води може відхилитись за певними показниками від якості питної води;

- протипожежні – забезпечують подачу води на потреби пожежогасіння, яка може бути непитної якості.

За сферою обслуговування розрізняють системи об'єднані (задовольняють потреби усіх споживачів) та роздільні (окремо подають воду на різні потреби). На основі техніко-економічних розрахунків (ТЕР) часто влаштовують такі об'єднані системи водопостачання: господарсько-питні-протипожежні, виробничо-протипожежні або виробничо-господарсько-протипожежні. Так, у містах поширені єдині господарсько-питні-протипожежні водопроводи, на промпідприємствах, як правило, влаштовують два роздільні водопроводи – виробничий і господарсько-протипожежний. Об'єднаний виробничо-господарсько-протипожежний водопровід влаштовують тоді, коли для технологічних потреб підприємства потрібно невелику кількість води питної якості. На певних промпідприємствах влаштовують спеціальні протипожежні водопроводи.

За видом об'єктів системи водопостачання бувають міські, селищні, промислові та ін.

За тривалістю дії системи водопостачання бувають тимчасові та постійні, а за способом підйому води – гравітаційні та з механічною подачею води.

За територіальним охопленням споживачів системи водопостачання поділяють на:

- місцеві - забезпечують водою окремих споживачів: групу будинків, ферму чи пром підприємство тощо;

- централізовані - забезпечують водою усіх споживачів даного населеного пункту;

- групові - забезпечують водою споживачів кількох населених пунктів, ферм чи підприємств, віддалених одне від одного, а тому характеризуються великою довжиною водоводів (при значних відстанях між споживачами такі системи називають районними).

За характером використання води існують системи водопостачання прямотічні, зворотні та з повторним використанням води.

За температурою води розрізняють системи холодного і гарячого водопостачання. Температура гарячої води в місцях водорозбору становить 55-75 °С, в дитячих дошкільних закладах – не менше 37 °С (у душах, умивальниках).

Якість холодної та гарячої води господарсько-питного водопроводу повинна відповідати вимогам [60], а виробничого – технологічним вимогам. Для термодезінфекції систем гарячого водопостачання від легіонели допускається підвищення температури води до 75-80 °С (кількахвилинне за заданим графіком).

1.3. Внутрішні мережі водопостачання

Внутрішній водопровід – система трубопроводів і пристроїв, яка забезпечує подачу води до сантехприладів, пожежних кранів і технологічного обладнання, обслуговує одну будівлю або групу будівель і споруд та має спільний водовимірвальний пристрій від мережі водопроводу населеного пункту чи пром підприємства.

Границею поміж зовнішньою та внутрішньою мережами вважається лінія, що проходить через пристрій для вимірювання витрати води у будівлі (водолічильник).

Системи внутрішнього водопроводу поділяють за:

- призначенням (господарсько-питні, виробничі, поливальні, протипожежні);

- сферою обслуговування (об'єднані та роздільні);

- температурою води (системи холодного і гарячого водопостачання);

- забезпеченням напором з урахуванням встановленого обладнання;

- способом використання води (прямоточні, зворотні та з повторним використанням води).

Споживачами вважаються: людина, сантехприлад, технологічна установка і т.д., на потреби яких розраховується витрата води.

Основні елементи системи водопостачання: ввід; водомірний вузол; установки для підвищення тиску (при потребі), підігріву води (при потребі); запасні і регулювальні місткості; внутрішня мережа водопостачання.

Схеми внутрішнього водопроводу можуть бути:

- простими (ввід-водомір-мережа-арматура);
- з регулюючими та напірними баками;
- з насосними та іншими установками.

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

Вибір системи та схеми внутрішнього водопостачання здійснюють залежно від призначення будинку, технологічних, протипожежних та санітарно-гігієнічних вимог, режиму водопостачання та ТЕР. Наприклад, у житлових будинках висотою до 12 поверхів влаштовують тільки господарсько-питний водопровід, 12-16 поверхів – об'єднаний господарсько-питний-протипожежний, понад 16 поверхів – як правило, роздільні господарсько-питний і протипожежний водопроводи.

Прості схеми водопостачання застосовуються, коли гарантійний тиск завжди більший від потрібного для водопостачання даного будинку. Схему з регулюючими баками застосовують, коли тиск в зовнішній мережі менший за потрібний лише протягом декількох годин (в години зниження тиску нижче потрібного живлення верхніх поверхів системи – з баку, заповненого водою в години тиску, більшого за потрібний). При постійній недостатці тиску використовують насосні установки. Регулюючі (водонапірні) баки доцільно також використовувати при нерівномірному водоспоживанні як самостійно, так і в поєднанні з насосними установками. У висотних будівлях (17 поверхів і вище) досить часто застосовують зонні системи водопостачання для того, щоб максимальний тиск перед водорозбірними приладами не перевищив допустимих величин (0,6 МПа – для господарсько-питних водопроводів і 0,9 МПа – для протипожежних).

Проектування внутрішнього водопроводу починають з вибору схеми системи водопроводу. Для житлових, громадських будівель з підвалами або техпідпіллями найчастіше використовують систему водопроводу холодної води з тупиковою схемою та нижнім розведенням. Таку ж систему використовують для водопроводу

гарячої води, який також закільцьовують циркуляційною мережею (стояками, магістраллю) для відведення охолодженої води на повторне нагрівання. В децентралізованих системах з місцевими водонагрівачами для потреб квартири чи невеликого будинку, при невеликій протяжності водопроводу гарячої води, циркуляційна мережа застосовується рідко.

Противожежні водопроводи, влаштовуються в таких будівлях: житлових висотою 12 поверхів і більше; гуртожитках, готелях, пансіонатах, школах-інтернатах висотою 4 поверхи і більше; адміністративних висотою 6 поверхів і більше; лікувальних закладах, дитячих яслах, садах, магазинах, вокзалах при об'ємі будівлі 5000 м³ і більше; кінотеатрах, клубах, домах культури на 200 місць і більше; в приміщеннях під трибунами стадіонів будь-якої місткості об'ємом 5000м³ і більше; в будівлях навчальних закладів об'ємом 25000 м³ і більше; в конференц-залах місткістю 700 і більше людей; в будівлях санаторіїв і будинків відпочинку об'ємом 7500 м³ і більше і т. п.

Противожежні водопроводи складаються з мережі магістральних і розподільчих (стояки) трубопроводів, пожежних кранів і при потребі протипожежних насосів. У схему протипожежного водопроводу часто включають водонапірний бак або пневматичну установку.

Протипожежний водопровід повинен забезпечувати подачу потрібної кількості води під певним напором до будь-якого з кранів у ньому. При пожежогасінні можуть діяти один чи одночасно кілька пожежних кранів (один струмінь чи кілька розрахункових струменів). Мінімальний радіус дії пожежного крану рівний 16 чи 26 м.

Якщо напір в протипожежній мережі недостатній, то встановлюють протипожежний насос, що включається автоматично.

1.4. Класифікація мереж каналізації

Система каналізації призначена для видалення з будівель та споруд забруднень, утворених у процесі санітарно-гігієнічних процедур, господарської і виробничої діяльності людини, а також атмосферних і розталих вод.

Тверді відходи, сміття видаляють смітєпроводами, які також належать до систем каналізації (каналізація твердих відходів).

Місцева вивізна каналізація з використанням люфт-клозетів або вигребів влаштовується в неканалізованих районах без водопроводу, на невеликих підприємствах громадського харчування тощо.

Сплавні системи каналізації, в яких забруднення видаляються водою, влаштовують при наявності водопостачання і переважно самопливними.

За призначенням сплавні системи каналізації, які видаляють забруднення в рідкому стані (стічні води) поділяють на:

- побутову каналізацію (відводить забруднену воду після миття посуду, продуктів, прання, санітарно-гігієнічних процедур, а також фекальні стоки, що містять рідкі і тверді виділення людського організму, розбавлені водою);

- виробничу каналізацію (видаляє за межі будівлі виробничі стічні води – рідину, використану у технологічному процесі, яка містить відходи виробництва, що надалі не можуть бути використані. Виробничі стічні води можуть мати різноманітний за забрудненням склад, тому у виробничих приміщеннях можуть бути кілька систем каналізації для відведення стоків різного складу забруднення, температури, агресивності, якщо змішування вод недопустиме або недоцільне);

- водостоки – дощову (ливневу) каналізацію (відводить дощові і розталі води з покрівель будівель. Потреба влаштування внутрішніх водостоків встановлюється архітектурно-будівельною частиною проекту).

Також, розрізняють "сірі води" (grey water) - каналізацію повторного використання стічних вод, переважно у будівлях. Даний термін ще мало зустрічається у вітчизняних нормативах. У економічно розвинутих країнах поширюється практика використання сірих вод на різноманітні потреби, окрім питних.

На сьогодні в Україні діяльність з використання стічних сірих вод також починає розвиватись. Зазвичай, це мало забруднені побутові стоки, які повторно використовуються для побутових та господарських потреб, поливу зелених насаджень тощо.

Об'єднання різних систем можливе при подібності показників забруднень.

Роздільні системи побутової і виробничої каналізації доцільно влаштовувати у виробничих будівлях, якщо виробничі стоки потребують додаткового очищення чи обробки.

Для зручності проектування, конструювання і розрахунку, експлуатації систем каналізації їх поділяють на зовнішні та внутрішні, із закріпленням відповідних нормативних вимог до них у нормативах [17, 18]. У темі 3 наведена більш детальна класифікація і характеристика зовнішніх мереж.

1.5. Внутрішні мережі каналізації

Внутрішня каналізація – система трубопроводів і пристроїв в об'ємі, обмеженому зовнішніми поверхнями огорожувальних конструкцій і випусками до першого оглядового колодезя, яка забезпечує відведення стічних вод від санітарно-технічних приладів і технологічного обладнання, та при потребі локальними очисними спорудами, а також дощових і розталих вод в мережу каналізації

відповідного призначення населеного пункту чи промислового підприємства.

Внутрішня каналізація закінчується випуском, який підключається до колодязя, що розташований поза будинком.

На території житлових кварталів та підприємств проектують систему каналізаційних трубопроводів, через яку стоки з внутрішньої каналізації відводяться до вуличних мереж (дворової, квартальної або заводської).

Система внутрішньої каналізації складається з таких основних елементів: приймачів стічних вод, гідравлічних затворів, внутрішньої каналізаційної мережі.

Внутрішня каналізаційна мережа збирає і відводить стічні води від приймачів стічних вод через оглядовий колодязь і дворову мережу каналізації. Стічні води з будівлі зазвичай відводяться в колодязь зовнішньої мережі каналізації самопливом.

Внутрішня каналізаційна мережа складається з: відвідних трубопроводів; стояків і магістралей; випусків; витяжної частини (при потребі); пристроїв для прочистки мережі.

За класифікаційними ознаками внутрішні системи каналізації відповідають зовнішнім.

Внутрішня мережа може бути напірною та самопливною. По можливості влаштовується самопливна, оскільки вона більш дешевша, в тому числі – і через незалежність від роботи насосів.

Аналогічно до зовнішньої, до якої вона під'єднується, розрізняють внутрішню каналізацію: побутову, виробничу, дощову (ливневу).

Найбільш поширеними для населених пунктів є системи господарсько-побутової каналізації будівель та споруд. Об'єднання різних за призначенням (за якістю стоків) внутрішніх систем, аналогічно до зовнішніх, можливе при подібності показників забруднень, а влаштування окремих систем побутової і виробничої каналізації - якщо виробничі стоки потребують додаткового очищення чи обробки.

1.6. Конструктивні елементи систем водопостачання

Основними елементами системи внутрішнього водопроводу є:

- ввід – трубопровід, через який внутрішні мережі під'єднуються до зовнішніх (від колодязя зовнішніх мереж до водомірного вузла внутрішніх, встановленого у будівлі чи спеціальному приміщенні);

- водомірний вузол – установка для вимірювання витрати води, поданої у будівлю, складається з водолічильника (водоміра) та арматури, потрібної для його відключення. У системах гарячого водопостачання водомірний вузол обладнаний термометром;

- установка для підвищення тиску – збільшує тиск у внутрішній мережі, якщо гарантійний тиск є недостатнім (гарантійний тиск або вільний напір – значення тиску чи напору, підтримуваного у зовнішніх мережах). До складу установки входять насоси;

- запасні і регульовальні місткості (водонапірні баки, гідропневмобаки, тобто гідроакумулятори) – посудини для створення запасу води у системі, потрібного для неперервного водопостачання споживачів, при аварії або при невідповідності режиму подачі води зовнішньою мережею режиму водоспоживання у будівлі;

- внутрішня мережа водопостачання – розподіляє воду між споживачами і складається з системи трубопроводів (труб, з'єднаних між собою і обладнаних арматурою): магістралі, стояки, підведення; трубопровідна і водорозбірна арматура; водонагрівальний пристрій (лише у системі гарячого водопостачання). У водопроводах, особливо виробничому і гарячому, у систему інколи включають місцеві очисні пристрої чи споруди (фільтри, деаератори тощо).

Основними елементами внутрішньої мережі водопостачання є:

- підведення, через які вода підводиться до водорозбірної арматури на кожному поверсі;

- стояки (рідше – горизонтальні розвідні трубопроводи), що розподіляють воду по поверххах будівлі;

- магістралі – подають воду до стояків.

У системах гарячого водопостачання будівель та споруд можуть влаштовуватись циркуляційні трубопроводи (стояки, магістралі) – для підтримки заданої температури у точках водорозбору, якщо така потреба підтверджується розрахунком.

Трубопроводи систем гарячого водопостачання, окрім підведень до приладів, а також трубопроводи систем холодного водопостачання (окрім тупикових пожежних трубопроводів), які прокладаються в каналах, шахтах, санітарно-технічних кабінах, тунелях, а також у приміщеннях із підвищеною вологістю, повинні бути ізольовані від втрат теплоти та недопущення утворення конденсату відповідно до нормативних вимог.

Для всіх трубопроводів систем гарячого водопостачання товщина шару теплоізоляції повинна прийматися не менше 10 мм.

Вимоги енергоефективності роботи інженерних мереж зумовили тенденцію до розширення потреби у використанні тепло- та гідроізоляції трубопроводів, пристроїв та обладнання систем.

Арматура – пристрої для перекриття або зміни величини вільного проходу трубопроводу. Їх конструктивно поділяють на: засувки, затвори, вентиля, крани, клапани та ін.

За функціональним призначенням розрізняють арматуру:

- запірні — для перекривання трубопроводів:

- спускна (дренажна) - для скидання рідини з резервуарів та трубопроводів;

- контрольна — для управління подачі рідин у контрольнo-вимірювальну апаратуру та прилади.

- регульовальна — для регулювання потоку рідини у трубопроводі:

- редукційна (дросельна) — для зниження у системі робочого тиску (зменшення розміру проходу через арматуру збільшує її гідравлічний опір, а отже знижує тиск після неї);

- запірно-регульовальна;

- захисна (відсічна) — для автоматичного захисту системи від недопустимих змін параметрів чи напрямку потоку:

- зворотна — для захисту системи від зворотного потоку рідини;

- швидкісна — для захисту системи від перевищення швидкості потоку рідини;

- запобіжна — для автоматичного захисту системи від перевищення робочого тиску рідини (скидання надлишку рідини до відновлення робочого тиску).

- розподільовально-змішувальна арматура — для розподілу або для змішування потоків рідини у системі.

Водорозбірна арматура – пристрої для отримання води з систем водопостачання (крани і змішувачі мийок, умивальників, душових тощо).

Для правильного і надійного режиму роботи сантехсистем важливо використовувати арматуру за її призначенням.

Гасіння пожеж у приміщеннях будівель та споруд здійснюється спринклерними та дренчерними установками систем внутрішнього протипожежного водопроводу.

Спринклерні установки застосовують для розпилення води спринклерами (розпилювачами) в приміщеннях з підвищеною пожежною небезпекою (сцени театрів, склади та ін.). Вони складаються із спринклерів, розподільчих і магістральних трубопроводів, контрольнo-сигнального клапану, головної засувки, основного і автоматичного водопідживлювачів.

Системи автоматичних установок із спринклерним обладнанням бувають водяні, повітряні і повітряно-водяні.

Залежно від ступеня пожежної небезпеки будівель застосовують дренчерні установки:

- заливні (дренчери - розетками вгору);

- сухотрубні (дренчери - розетками вниз).

У розподільчій мережі: дренчери, магістральні трубопроводи, клапани групової дії чи засувки керування.

Дренчер на відміну від спринклера не має скляної пробки (клапана) і замка. Дренчери розташовують на відстані до 3 м один від одного і до 1,5 м від стін.

Систему протипожежного водопостачання (вводи, розподільні трубопроводи, стояки) треба виконувати з металевих труб (окрім чавунних та мідних).

1.7. Конструктивні елементи систем каналізації

Робота системи внутрішньої каналізації починається з приймачів стічних вод, які збирають забруднену воду і відводять її у каналізаційну мережу. Вони виконуються у вигляді відкритих посудин або лійок, які збирають забруднену воду. Приймачі стічних вод поділяються на такі групи:

- санітарно-технічні прилади – приймають стічні води, утворені в процесі життєдіяльності людей. За призначенням поділяються на такі види: для питних і господарських потреб (мийки, раковини, питні фонтанчики тощо); для гігієнічних потреб (вмивальники, ванни, душі); для приймання виділень людського організму (унітази, пісуари тощо);

- спеціальні санітарно-технічні прилади – використовують у лікувальних, курортних будівлях, побутових приміщеннях промислових будівель, будівлях спеціального призначення: лікувальні оздоровчі душі, ванни, лабораторні мийки тощо;

- приймачі виробничих стічних вод – збирають відпрацьовану воду, утворену у технологічних процесах. Їх виконують у вигляді лійок, зливів, трапів, приймальних решіток, раковин;

- приймачі атмосферних вод – водостічні лійки, які збирають дощові і розталі води з поверхні даху.

Приймачі стічних вод швидко забруднюються. Їх виготовляють з вологонепроникних матеріалів, стійких до дії виробничих вод, з гладкою, міцною поверхнею без гострих кутів і глибоких впадин, де може накопичуватись бруд. Кращим матеріалом є кераміка, використовують також покритий емаллю метал, нержавіючу сталь, пластмасу. Для запобігання забруднення водопровідної води приймачі стічних вод не повинні з'єднуватись з системою водопостачання. Мінімальний розрив між зливом з арматури і бортом приймача стічних вод 20 см.

Гідравлічні затвори запобігають попаданню шкідливих газів із каналізаційної мережі у приміщення. Гідрозатвори (сифони) розташовують після кожного сантехприладу, крім приладів, у конструкції яких він вже є (унітази, трапи, деякі види пісуарів тощо). Шар води висотою 50-70 см у гідрозатворі затримує шкідливі гази з системи каналізації, забезпечує надійну роботу гідрозатвору при утворенні розрідження в системі каналізації, при випаровуванні води,

коли сантехприладом довго не користуються. Гідрозатвори виготовляють як вигин трубопроводу (U-подібними) або пляшковими. Для ванн та деяких умивальників використовуються сифони невеликої висоти з трійником для приєднання переливної труби.

До основних конструктивних елементів внутрішньої мережі каналізації належать:

- відвідні трубопроводи, що з'єднують гідрозатвори сантехприладів зі стояками, прокладаються під похилом від приладу, діаметром не меншим від діаметру випуску приладу чи гідрозатвору;

- стояки (вертикальних трубопроводів), що транспортують стоки від відвідних трубопроводів в магістраль чи напряму у каналізаційний випуск, приймаються діаметром не меншим від діаметру випуску приєданого до нього приладу чи найбільшого діаметру відвідної труби. Мінімальний діаметр стояка 50 мм. Каналізаційні стояки можуть мати витяжну частину (вентильовані стояки) або бути без неї – невентильовані стояки;

- магістралі, що збирають стоки зі стояків і відводять їх до випусків. По можливості, довжини магістралей повинні проектуватись мінімальними, а краще щоб стоки від стояків відводились напряму до випусків. Однак це зазвичай можливо лише у невеликих системах, наприклад одно- чи двоповерхових індивідуальних житлових будинків.

- випуски, що збирають і відводять стоки від стояків у дворову каналізаційну мережу. Мінімальний діаметр випуску приймається не менше найбільшого діаметру стояка, приєданого до випуску;

- витяжна частина, яка влаштовується для вентиляції каналізаційної мережі і для запобігання відсмоктування води із гідрозатворів („зрив затвору”) при утворенні вакууму в стояку під час скидання рідини і вентиляції внутрішньої і зовнішньої мережі. Для зменшення кількості витяжних частин на покрівлі можливе об'єднання кількох стояків збірним трубопроводом і виведенням однієї вентиляційної труби на покрівлю. Діаметр витяжного стояка приймається на один стандартний розмір менше від діаметру каналізаційного стояка;

- пристрої для прочистки мережі:

- ревізії – люки у трубі, що закриваються кришкою з гумовою прокладкою (притягуються двома чи чотирма болтами) які дозволяють прочищати трубу в обох напрямках;

- прочистки - служать для прочищення труб лише в одному напрямку, виконуються у вигляді косою трійника і відводу 135° або двох відводів 135°, які забезпечують плавне входження прочищувального троса в трубу. Зверху розтруб прочистки закривається заглушкою.

Для монтажу внутрішньої каналізаційної мережі переважно застосовують:

а) для самопливних трубопроводів - безнапірні труби: пластикові, полімерні, чавунні, бетонні;

б) для напірних трубопроводів - напірні труби: пластикові, полімерні, чавунні, сталеві (у тому числі із нержавіючої сталі).

Якщо відмітка колодезя зовнішньої мережі вище відмітки випуску, то в систему додатково включається місцева установка для перекачування стічних вод, яку виконують у вигляді насосних установок з приймальним резервуаром; погрузних насосів (розташованих нижче рівня стоків), встановлених у колодезі; пневматичних установок.

Стічні води, які заборонено скидати у зовнішню мережу, проходять попередню обробку на місцевих установках для їх очищення, які переважно призначені для механічного очищення стічних вод відстоюванням, проціджуванням тощо. До них належать решітки, пісколовки, відстійники, жиρο-, масло-, бензовловлювачі тощо. Установки локального (місцевого) очищення стічних вод проектуються за вимогами [17, 18] і відомчих будівельних норм.

Тема 2. Проектний розрахунок внутрішніх систем водопостачання і каналізації

2.1. Проектний розрахунок систем холодного водопостачання

Проектування внутрішніх систем водопостачання здійснюється згідно будівельних державних нормативів та стандартів України, передусім – ДБН В.2.5-64:2013 Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво [18]. Вводи водопровідної системи повинні під'єднуватись до зовнішніх мереж з урахуванням вимог ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування [16]. Також, обов'язково потрібно використовувати вказівки нормативу (ДБН) з проектування для заданого типу будівлі (громадської, житлової, промислової тощо).

1. Схему системи внутрішнього водопроводу вибирають залежно від гарантійного тиску p_{zap} (вільного напору $H_{вил}$) води у зовнішній мережі. Для цього визначають орієнтовне значення потрібного тиску p_{op} у системі внутрішнього водопроводу за формулою (2.1.1), яке має не перевищувати p_{zap} за умовою (2.1.2). Інакше, у конструктивній схемі системи водопроводу слід передбачити установку для

підвищення тиску. Наприклад, підвищувальні насоси, водонапірні баки чи гідроакумулятори тощо, детальніше – у [1-13].

Орієнтовне значення потрібного тиску в системі внутрішнього водопроводу, в МПа, приймаємо згідно [18]:

$$P_{op} = 10^{-6} \rho g H_{вил} = 10^{-6} \rho g [10 + 4(n - 1)], \quad (2.1.1)$$

де ρ – густина води, $кг/м^3$;

$g = 9,81 м/с^2$ - прискорення вільного падіння;

$H_{вил}$ – вільний напір, $м$;

10^{-6} – коефіцієнт переводу з Па в МПа;

10 – нормативний вільний напір для 1-поверхових будівель, $м$;

4 – нормативний вільний напір на кожний наступний поверх, $м$;

n – кількість поверхів.

Перевірка потреби в підвищувальній установці для системи внутрішнього водопроводу виконується за умовою:

$$P_{op} \leq P_{zap} \text{ - система без підвищувальної установки;} \quad (2.1.2)$$

$$P_{op} > P_{zap} \text{ - система з підвищувальною установкою.}$$

Розрахунок внутрішнього водопроводу виконується згідно [18].

2. Визначення розрахункових витрат води - згідно [18].

При цьому, за планувальними рішеннями визначаються кількість сантехприладів та за табличними даними і формулами - відповідні розрахункові витрати води для кожного приладу та системи загалом.

Система розбивається на розрахункові ділянки – починаючи від вводу до диктуючої точки. Для розрахункових ділянок визначаються витрати, за якими при подальшому гідравлічному розрахунку перевіряється правильність вибраних діаметрів трубопроводів.

Спочатку за табличними даними визначаються розрахункові (питомі середні за рік) добові витрати води, л/добу. А далі – добові ($м^3/добу$), годинні ($м^3/год$), секундні ($м^3/с$) витрати води, в тому числі середні, максимальні та мінімальні.

Згідно [18] розрахункові витрати питної води у водопроводах холодної води (загальна, холодної води) допускається визначати залежно від:

а) питомої розрахункової середньої витрати води, л/год, віднесеної до одного споживача або санітарно-технічного приладу;

б) кількості споживачів води U або від кількості санітарно-технічних приладів N (для водопроводу в цілому і для окремих ділянок розрахункової схеми мережі водопроводу). При невідомій кількості санітарно-технічних приладів (точок водорозбору) N дозволяється приймати їх кількість, що дорівнює кількості споживачів U ;

в) кількості споживачів води U у житлових і багатоквартирних будівлях згідно з таблицями А.6-А.9 додатка А [18]. При використанні цих таблиць розрахункові середні витрати води за добу треба приймати відповідно до таблиці А.1 [18] для житлових будинків з різними системами інженерного забезпечення з урахуванням кліматичного району будівництва.

Розрахункова максимальна секундна витрата води та розрахункова мінімальна годинна витрата води використовуються при перевірці правильності вибору діаметра лічильника холодної та лічильника гарячої води.

3. Гідралічний розрахунок системи водопостачання.

Гідралічний розрахунок мережі внутрішнього водопроводу холодної води виконується за максимальною секундною витратою води, визначеної згідно [18].

Потрібний тиск в системі повинен підтримуватись і при найгірших умовах. Тобто, цей тиск повинен забезпечувати подачу води до найдальшої (по довжині і висоті) від вводу точки - розрахункової точки (її ще називають диктуючою точкою) навіть у час максимального водоспоживання. Тому, на основі рівняння Бернуллі потрібний тиск, МПа:

$$p = 10^{-6} [\rho \cdot g \cdot (h_{geom} + h_{вод} + H_f) + h_{вв} + \sum h], \quad (2.1.3)$$

де 10^{-6} - перевідний коефіцієнт з Па в МПа;

ρ - густина води, кг/м³;

h_{geom} - геометрична різниця між відмітками розрахункової точки і точки врізки в колодязі зовнішнього водопроводу, м;

$h_{вод}$ - втрати тиску у водолічильниках, м;

H_f - вільний напір на водорозбірному пристрої сантехприладу у розрахунковій точці;

$\sum h$ - втрати тиску (по довжині та місцеві) у трубопроводах системи, Па;

$h_{вв}$ - втрати тиску на вводі, Па:

$$h_{вв} = i \cdot l_{вв} \quad (2.1.4)$$

де $l_{вв}$ - довжина вводу, м (з генплану, від точки врізки в колодязі зовнішнього водопроводу до водомірного вузла в будівлі);

i - гідралічний ухил, Па/м (втрати тиску на 1 м трубопроводу при заданій витраті води). Значення i можна визначити за формулами [18]. На основі таких формул побудовані номограми та таблиці для

пришвидження інженерних розрахунків. До відомих відносяться таблиці Ф. А. Шевельова [1, 2].

Порядок знаходження гідравлічного ухилу, i , наступний:

а) визначають витрату q , $м/с$;

б) підбирають умовний діаметр трубопроводу d_y , $мм$ - з досвіду, але не менший від мінімального;

в) на перетині q та d_y в таблиці знаходять: швидкість руху води v , $м/с$; гідравлічний ухил, i , $Па/м$;

Причому d_y вибирають так, щоб швидкість руху води в трубопроводах внутрішніх мереж була не більше ніж:

а) 1,5 м/с - для металевих труб;

б) 3,0 м/с - для мідних труб;

в) 2,5 м/с - для труб із полімерних матеріалів;

г) 3,0 м/с - при пожежогасінні.

Найбільш економічним є значення швидкості води від 0,9 до 1,2 м/с.

Згідно [18] визначаються втрати тиску у водолічильниках.

Діаметр умовного проходу лічильника води d_y , $мм$ вибирають виходячи із значення середньої годинної витрати води за добу (зміну), $м^3/год$, яка не повинна перевищувати експлуатаційної витрати води.

Визначені втрати напору у водолічильниках повинні відповідати умові: не перевищувати 2,5 м для крильчастих, 1 м - для турбінних. У зв'язку з особливостями конструкції крильчасті лічильники виготовляють з d_y до 50 мм, а турбінні – з d_y від 50 мм.

Втрати тиску $\sum h$, $Па$, що виникають при русі рідини по трубопроводах запроектованої системи внутрішнього водопроводу:

$$\sum h = h_\partial + h_m \quad (2.1.5)$$

де h_∂ - втрати тиску по довжині в трубопроводах системи, $Па$. Знаходяться за формулою (5.6);

h_m - втрати тиску на місцеві опори (коліна, розгалуження, арматуру тощо), за формулою (5.7).

Втрати тиску по довжині в трубопроводах системи h_∂ , $м$, визначаються за рівнянням Дарсі-Вайсбаха:

$$h_\partial = \lambda \frac{l}{d_y} \cdot \frac{v^2}{2g} = il, \quad (2.1.6)$$

де λ - гідравлічний коефіцієнт тертя (коефіцієнт Дарсі), безрозмірний;
 l - довжина ділянки трубопроводу, m , з незмінним умовним діаметром d_y, m , швидкістю руху рідини $v, m/c$.

i - гідравлічний ухил, Pa/m , тобто втрати тиску на 1 m трубопроводу постійного d_y довжиною l . Значення l довжини кожної ділянки системи з незмінними d_y та q приймається з аксонометричної схеми цієї системи.

Втрати тиску на місцеві опори h_m, m , за рівнянням Вайсбаха:

$$h_m = \xi \frac{v^2}{2g}, \quad (2.1.7)$$

де ξ - коефіцієнт місцевого опору, безрозмірний.

Однак, за формулою (2.1.7) рекомендується визначати h_m при малих наявних тисках в системі, наприклад при встановленні водонапірних баків на невеликій висоті над водорозбірними пристроями; при розрахунку всмоктувальних трубопроводів насосів. У гідравлічному розрахунку систем водопостачання використовується спрощений (але достатньої точності) варіант формули втрат напору на ділянках трубопроводів систем холодного водопостачання, m :

$$\sum h = H = il(1 + k_j) = h_\delta(1 + k_j), \quad (2.1.8)$$

де k_j - встановлена частка h_m від h_δ :

0,3 – в мережах господарсько-питних водопроводів житлових і громадських будівель;

0,2 – в мережах об'єднаних господарсько-протипожежних водопроводів житлових і громадських будівель, а також в мережах виробничих водопроводів;

0,15 – в мережах об'єднаних виробничих і протипожежних водопроводів;

0,1 – в мережах протипожежних водопроводів.

При об'єднанні стояків в секційні вузли втрати напору в вузлі, m :

$$\sum h = H = \frac{f \sum il(1 + k_j)}{m}, \quad (2.1.9)$$

де m - кількість стояків у вузлі;

f - коефіцієнт, що враховує характер водорозбору в системі, приймається: 0,5 – для господарсько-питного водопроводу; 0,3 – для господарсько-протипожежного водопроводу.

Гідравлічний розрахунок системи водопроводу холодної води виконується від розрахункової точки (диктуючої точки) до колодязя зовнішньої мережі. Дані розрахунку зводяться в таблицю.

Результатом розрахунку є знаходження $h_0 = \sum il$.

За результатами гідравлічного розрахунку системи перевіряється умова:

$$P = P_{zap} \quad (2.1.10)$$

де P - потрібний тиск;

P_{zap} - гарантійний тиск (вільний напір) у зовнішній мережі водопостачання.

Якщо умова (5.10) не виконується, то потрібно підбирати підвищувальні насоси з тиском:

$$P_{нас} = 1.1(P - P_{zap}) \cdot \quad (2.1.11)$$

Кільцеві системи холодної води повинні бути приєднані до зовнішньої кільцевої мережі холодного водопроводу не менше ніж двома вводами, кожен ввід розраховується на 100 % розрахункових витрат води [18].

2.2. Проектний розрахунок систем гарячого, виробничого, протипожежного та поливного водопроводів

Розрахункові витрати води у водопроводах гарячої води визначаються відповідно до [18, розділ 12]:

- 1) для режиму водорозбору аналогічно розрахункам холодного водопроводу з урахуванням залишкової циркуляційної витрати на ділянках від точки нагрівання до першої точки відбору води;
- 2) для режиму циркуляції при тепло-гідравлічному розрахунку;
- 3) для режиму термодезінфекції систем.

Швидкість руху гарячої води в трубопроводах системи гарячого водопостачання повинна бути не більше ніж [18]:

- для металевих труб - 1,5 м/с;
- для мідних труб - 2,0 м/с;
- для пластикових та металопластикових труб - 2,5 м/с.

Гідравлічний розрахунок системи водопроводу гарячої води дещо відрізняється від викладеного вище для холодної води: розрахунковими витратами гарячої води, з урахуванням циркуляційних витрат гарячої води, які, в свою чергу, залежать від тепловтрат трубопроводами гарячого водопостачання; від особливостей конструктивної схеми (включення циркуляційних стояків тощо).

Гідравлічний розрахунок циркуляційних систем гарячого водопостачання проводиться для трьох режимів подачі води (режиму водорозбору, режиму циркуляції і терморегулювання) і включає:

- а) визначення розрахункових витрат води;
- б) підбір діаметрів подавальних трубопроводів і визначення витрат тиску по подавальних трубопроводах у режимі водорозбору;
- в) визначення параметрів циркуляційного насоса;
- г) підбір діаметрів циркуляційних трубопроводів, визначення необхідної циркуляційної витрати і ув'язку витрат тиску в системі гарячого водопостачання в режимі циркуляції, визначення настроювань автоматичної та ручної регулювальної арматури.

Згідно [18], системи водопроводу гарячої води можна розраховувати аналогічно до розрахунку для холодної води, якщо не потрібно враховувати заростання труб. Фактично це означає, що на практиці можна приймати діаметри цих труб аналогічними діаметрам труб водопроводу холодної води. Приклади розрахунку та креслень наведено у [1, 2].

Для житлових, громадських, багатофункціональних будівель, а також адміністративно-побутових будівель виробничих підприємств необхідність улаштування внутрішнього протипожежного водопроводу, кількість струменів у кожену точку приміщення та мінімальну витрату води одним струменем на пожежогасіння треба визначати відповідно до таблиці 3 [18], а для виробничих і складських будівель - відповідно до таблиці 4 [18].

У приміщеннях сміттєзбірних камер будинків слід передбачати установлення спринклера діаметром не менше 20 мм з розрахунковою витратою води 1,8 л/с відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.5-34, ДБН В.2.2-15 і ДБН В.2.2-24 [18].

Системи виробничого, протипожежного та поливного водопроводів розраховуються аналогічно до системи холодного питного водопостачання. При цьому потрібно визначити розрахункові витрати води, відповідно до потреби для цих систем, а далі – провести гідравлічний розрахунок, який дозволить правильно прийняти діаметри ділянок трубопроводів системи. Приклади розрахунку наведено у [1].

2.3. Проектний розрахунок систем побутової каналізації

Проектування внутрішніх систем каналізації виконується з урахуванням їх взаємного узгодження та відповідно до вимог будівельних державних нормативів та стандартів України, передусім – ДБН В.2.5-64:2013 Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво [18]. Випуски каналізації повинні під'єднуватись до зовнішніх мереж з урахуванням вимог ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування [17]. Також, обов'язково потрібно використовувати вказівки нормативу (ДБН) з проектування для заданого типу будівлі (громадської, житлової, промислової тощо).

Система розбивається на розрахункові ділянки – починаючи від диктуючої точки до випуску. Для розрахункових ділянок визначаються витрати, за якими при подальшому гідравлічному розрахунку перевіряється правильність вибраних діаметрів трубопроводів.

За [18] гідравлічний розрахунок каналізаційних трубопроводів діаметром до 500 мм з різних матеріалів слід виконувати за номограмою рекомендованого додатку або за таблицями.

Згідно [18] для стояків систем каналізації розрахунковою витратою є максимальна секундна витрата від приєднаних до стояка санітарно-технічних приладів, які не спричиняють зриву гідравлічних затворів будь-яких видів санітарно-технічних приладів (приймачів стічних вод). Ця витрата є сумою розрахункової максимальної секундної витрати стічних вод від усіх санітарно-технічних приладів, від яких стоки надходять у стояк, що визначається відповідно до вимог 5.1 [18] і розрахункової максимальної секундної витрати стічних вод від приладу з максимальною витратою (таблиця А.3 додатка А [18]).

Для горизонтальних відвідних трубопроводів систем каналізації розрахункова витрата, л/с, обчислюється залежно від кількості санітарно-технічних приладів N , які приєднані до проектованої ділянки трубопроводу L , м.

Максимальна секундна витрата стічних вод, л/с:

а) при $q^{tot} \leq 8$ л/с за формулою:

$$q^s = q^{tot} + q_0^s, \quad (2.3.1)$$

б) в інших випадках:

$$q^s = q^{tot}, \quad (2.3.2)$$

де q^{tot} - максимальна секундна витрата води, загальна (холодної і гарячої води, що потрапляє у прилад), л/с, для потрібної групи приладів (потрібної ділянки трубопроводу з приладами);

q_0^s - витрата стоків від сантехприладу з найбільшим водовідведенням, л/с, який взято з потрібної групи приладів, за [18].

Годинні і добові витрати в системі побутової каналізації рівні витратам в системі водопостачання.

Перевірка пропускної здатності стояка системи побутової каналізації виконується в такому порядку:

а) визначається кількість сантехприладів N , приєднаних до стояка;

б) визначається q^s для стояка;

в) знайдене значення q^s повинно не перевищувати значення, знайдене за номограмою [18], або згідно вимог [18] для вентиляованих та невентильованих стояків.

Гідравлічний розрахунок випусків дворової мережі побутової каналізації виконується від диктуючої (найвіддаленішої) точки (точки під'єднання найвіддаленішого від випуску стояка) через найвіддаленіший випуск, колодязі дворової мережі до колодязя міської мережі (головного - ГКК1 чи магістрального - МКК1).

Розрахунки зводять у таблицю. Приклад наведено у [2]. У таблиці заповнюють:

а) стовпчики з нумерацією та довжиною ділянок за аксонометричною схемою та генпланом об'єкта;

б) стовпчик із розрахованими значеннями q^s ;

в) для відомої витрати q^s на ділянці приймається діаметр труби d_y та наповнення h/d_y труби стоками за умовою $0,3 \leq h/d_y \leq 0,8$;

г) за q^s , d_y , h/d_y визначають за таблицею [1, 2] ухил i та швидкість руху стоків v за такими трьома умовами: швидкість $v \geq 0,7 \text{ м/с}$; ухил $i \leq 0,15$ (за виключенням відгалужень від приладів довжиною до 1,5 м); добуток порівнюється з допустимим значенням:

$$v \sqrt{h/d_y} \geq K, \quad (2.3.3)$$

де $K = 0,5$ - для трубопроводів з полімерних матеріалів;

$K = 0,6$ - для трубопроводів з інших матеріалів.

Коли умова (2.3.3) не може бути виконана через малі величини витрат побутових стічних вод, безрозрахункові ділянки прокладають:

- для $\varnothing 40 - 50 \text{ мм}$ - з ухилом 0,03;

- для $\varnothing 85$ та $\varnothing 100 \text{ мм}$ - з ухилом 0,02;

д) стовпчики з il та відмітками трубопроводу заповнюються з точністю до 1 мм, відмітки відповідають значенням на аксонометричній схемі та профілі дворової мережі каналізації (за таблицею на кресленні профілю).

2.4. Проектний розрахунок систем водостоків

Розрахунок систем внутрішніх водостоків (К2) виконується за методикою [18].

Розрахункова витрата дощових вод, l/c з водозбірної площі:

$$Q = k_R Fr \quad (2.4.1)$$

де k_R - коефіцієнт ризику, який визначається за табл. 18 [18], для заданої категорії відповідальності водостічної системи;

F - водозбірна площа, м². Це горизонтальна проекція ділянки покрівлі, що обслуговується однією лійкою (воронкою). Згідно [18] слід додатково враховувати 30 % сумарної площі вертикальних стін, прилеглих до покрівлі і височіючих над нею, якщо такі є.

r - мінімальна розрахункова інтенсивність дощу, л/(с*м²) для заданої місцевості:

$$r = 10^{-4} Kq_{20} \quad (2.4.2)$$

де q_{20} - інтенсивність дощу, л/с з 1 га (для даної місцевості), тривалістю 20 хв при періоді однократного перевищення розрахункової інтенсивності рівної 1 року. Приймається згідно [18].

K - коефіцієнт, що враховує збільшення стоку за умови збільшення інтенсивності дощу тривалістю менше 20 хв та визначається за [18].

Мінімальні ухили відвідних трубопроводів: для підвісних трубопроводів 0,005; для підпільних – як для мережі побутової каналізації.

Відвідні труби і горизонтальні ділянки випусків K2 розраховують аналогічно K1, швидкість руху води переважно приймають 0,7-5 м/с.

Результатами розрахунку внутрішньої системи K2 є встановлення кількості стояків, діаметру та матеріалу трубопроводів; зображення мереж K2 на планах, генплані.

Напірні системи каналізації розраховуються аналогічно системам водопостачання.

Тема 3. Системи та схеми водопостачання і каналізації населених пунктів та пром підприємств

Основні класифікаційні ознаки систем та схем водопостачання і каналізації розглянуто у попередніх темах, тому у даній темі детальніше розглянуто особливості зовнішніх мереж.

3.1. Системи та схеми водопостачання

Згідно з прийнятою класифікацією системи водопостачання слід поділяти [16]:

а) за ступенем централізації на:

- централізовані, що здійснюють постачання питної! води у населеному пункті або для більшості його споживачів;

- групі, що здійснюють постачання води для декількох населених пунктів та (або) окремих суб'єктів господарювання, розташованих на значних відстанях один від одного;

- нецентралізовані (локальні чи місцеві), що здійснюють постачання води в окремі райони житлової забудови населених пунктів і (або) окремим суб'єктам господарювання;

- індивідуальні, що забезпечують питною водою окремих споживачів або будинки;

б) за призначенням на:

- комунальні;

- виробничі (у тому числі оборотні);

- протипожежні;

- поливальні;

- сільськогосподарські;

в) за ступенем охоплення потреб споживачів на:

- об'єднані, що забезпечують водою два та більше видів споживачів (населення, підприємства, для благоустрою, пожежогасіння тощо) та різних варіантів їх поєднання;

- роздільні, що забезпечують питні та господарсько-побутові потреби окремо від виробничих потреб, при цьому потреби на пожежогасіння можуть забезпечуватися самостійно або спільно з зазначеними системами.

Системи водопостачання за способом подачі і розподілу води можуть бути самопливними (гравітаційними), з примусовою подачею води насосами та комбіновані.

Водопровідні мережі призначені для транспортування води від вододжерела до споживачів і складаються з водоводів, магістральних мереж і розподільних трубопроводів.

Водоводами вода подається від насосних станцій до населеного пункту, на території якого розташована мережа магістральних і розподільних трубопроводів. Водоводи прокладаються не менше ніж у дві лінії, з'єднані перемичками, що забезпечує безперебійність подачі води (відстань між окремими лініями повинна бути не менше 5 м при діаметрі труб до 300 мм і 10 м – при трубах більшого діаметру).

Магістральні трубопроводи призначені для транспортування основних транзитних мас води, а розподільні – для її транспортування від магістралей до місць споживання.

Всі водопровідні мережі проєктують на основі плану забудови населеного пункту, зважаючи на конфігурацію населеного пункту; взаємне розташування джерела водопостачання і споживачів; розташування вулиць, кварталів та зосередження споживачів (заводи, фабрики та ін.); рельєф місцевості.

Мережі прокладають по проїздах або узбіччях доріг паралельно до лінії забудови.

У поздовжньому профілі трубопроводи повторюють рельєф місцевості на певній постійній глибині. При цьому трубам надається похил (не менше 0,001) в напрямку до випуску, що забезпечує спорожнення мережі та випуск з неї повітря. Для цього у підвищених місцях мережі влаштовують вантузи, а в понижених – випуски.

Заглиблення водопровідних труб залежить від глибини промерзання ґрунту, температури води в трубах та режиму її подачі. Глибина закладання труб – на 0,5 м нижче глибини промерзання ґрунту, але не вище 0,7 м до верху труби.

Схеми живлення водопровідної мережі, за характером взаємного розташування насосних станцій, водопровідних мереж, напірно-регульовальних споруд:

- з одностороннім живленням або з прохідною баштою;
- з двостороннім живленням або з контр-резервуаром;
- комбіновані.

За розташуванням в плані магістральних ліній розрізняють схеми водопровідних мереж: тупикові (розгалужені), кільцеві і комбіновані.

Розгалужена схема водопровідних мереж є дешевою, але може використовуватись у випадках, коли допускається перерва у водопостачанні на час усунення можливої аварії. Тому надійнішими є кільцеві схеми водопровідних мереж. У населених пунктах найчастіше використовують комбіновані схеми: кільце охоплює райони найбільшого водоспоживання, а до окремих споживачів прокладено від кільця тупики. В подальшому ці тупики при розширенні населеного пункту можуть бути закільцьовані.

Протипожежні мережі виконують за кільцевою схемою. Дозволяються тупики лише для коротких ліній, а при довжині 200 м та більше в кінці водопровідних ліній повинні бути протипожежні водойми.

Вибір складу споруд у системі водопостачання, відповідно до вибраної схеми, залежить, в основному, від наступних факторів:

- виду природного джерела водопостачання та якості води в ньому;
- категорії водоспоживачів та їх вимог щодо вільних напорів;
- кількості та якості води, що споживається;
- надійності подачі води;
- рельєфу місцевості.

За схемою водопостачання з відкритих джерел (як правило найдорожчою в будівництві і складною в експлуатації) вода з відкритої водойми надходить до водозабірних споруд, з яких насосами станції першого підняття подається на очисні споруди.

На водоочисній станції поліпшується якість води, після чого вона подається в резервуар чистої води (РЧВ), звідки насосами станції другого підняття водоводами подається до водопровідної мережі водоспоживачам. На території населеного пункту (переважно у найвищих місцях) споруджують водонапірну башту, яка, як і РЧВ, призначена для зберігання води, регулювання роботи насосів та підтримання у мережі потрібного напору.

Для водопостачання частіше використовують підземні води, які мають порівняно з поверхневими менший вміст різних домішок, а також простіший склад водопровідних споруд. Якщо якість підземних вод не задовольняє вимоги споживачів (наприклад, підвищений вміст домішок заліза), то у схему включають споруди для очищення води від непотрібних домішок до якості питної. При складності такого очищення (великому вмісті домішок) воду можуть використовувати лише як непитну, наприклад на господарські потреби.

Якщо підземні води за своїми фізико-хімічними та санітарними показниками задовольняють вимоги щодо питної води, то застосовують найпростішу схему водопостачання – без водоочисної станції, а лише з простим механічним очищенням та знезараженням води для доведення її до вимог [20].

За ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування [16], централізовані системи водопостачання за надійністю забезпечення водою населених пунктів поділяються на три категорії:

I категорія (кількість жителів понад 50 тис. люд.) – допускається зниження подачі води на господарсько-питні потреби не більше 30 % розрахункової витрати і на виробничі потреби до межі, встановленої аварійним графіком роботи підприємств; тривалість зниження подачі – не більше 3 діб, а перерви - не більше 10 хв;

II категорія (кількість жителів 5 - 50 тис. люд.) - допускається зниження подачі води не більше 30 %; тривалість зниження подачі – не більше 10 діб, а перерви - не більше 6 год;

III категорія (кількість жителів менше 5 тис. люд.) - допускається зниження подачі води не більше 30 %; тривалість зниження подачі – не більше 15 діб, а перерви - не більше 24 год.

Трасу господарсько-питного водопроводу заборонено прокладати на території звалища, цвинтарів та місць поховання худоби.

Промислові підприємства відрізняються різноманітністю технологічних процесів, споживають воду різної якості та вимагають різних напорів в мережах окремих цехів. Специфічністю технічних систем водопостачання є можливість обороту води для різних потреб. Тому системи водопостачання промислових підприємств досить складні.

Якщо підприємство знаходиться на території населеного пункту і споживає незначну кількість води непитної якості, то доцільно подавати воду на підприємство з міських мереж господарсько-питного водопроводу.

Якщо підприємство споживає значну кількість води непитної якості, то доцільно подавати воду на підприємство з окремих систем технічного водопостачання:

- прямоточних, в яких вода після одноразового використання скидається у каналізацію;
- з повторним використанням води, де вода використовується повторно в кількох технологічних операціях;
- оборотних, в яких воду після використання для технічних потреб очищають або охолоджують, потім використовують на тому ж об'єкті у тих же технологічних операціях.

Вибір схеми технічного водопостачання промислових підприємств слід виконувати за результатами техніко-економічного розрахунку (ТЕР).

3.2. Системи та схеми каналізації

Каналізацією є комплекс інженерних споруд та заходів, призначений для таких цілей:

- приймання стічних вод у місцях їх утворення і транспортування їх до очисних споруд;
- очищення і знезараження стічних вод;
- утилізації корисних речовин, що містяться у стічних водах і їх осаді;
- спускання очищених вод у водойму.

Розрізняють два види каналізації: вивізну і сплавну.

При вивізній каналізації рідкі забруднення збирають у приймачі-вигреби і періодично вивозять автотранспортом на поля асенізації для обробки. Вивізні каналізація не забезпечує відповідного санітарного стану території і недоцільна економічно, а тому влаштовується тільки у невеликих населених пунктах, коли застосування іншого виду каналізації ускладнене.

При сплавній каналізації стічні води по підземних трубопроводах транспортують на очисні споруди, де їх інтенсивно очищують переважно у штучно створених умовах. Очищені стічні води спускають у найближчу водойму через випуски. Для влаштування сплавної каналізації потрібна наявність внутрішнього водопроводу у будівлях.

За призначенням сплавні системи каналізації поділяють на: побутову, виробничу, ливневу. Можливе об'єднання різних систем для

спільного відведення різних видів стічних вод у побутово-виробничі, виробничо-дошові тощо.

Каналізація складається з таких основних елементів: внутрішніх каналізаційних пристроїв будівель, зовнішньої внутріквартальної каналізаційної мережі, зовнішньої вуличної каналізаційної мережі, насосних станцій і напірних трубопроводів, очисних споруд і пристроїв для випуску очищених стічних вод у водойму.

Зовнішня вулична каналізаційна мережа є системою підземних трубопроводів, які приймають стічні води від внутріквартальних мереж і транспортують їх до насосних станцій, очисних споруд і у водойму.

Вулична каналізаційна мережа залежно від розташування її на території населеного пункту, промислового підприємства називається:

- дворова – приймає стоки від однієї чи кількох будівель;
- внутріквартальна (мікрорайонна) – обслуговує велику групу будівель і залежно від розмірів і розташування може наблизитись до дворової або мати магістральну лінію, до якої приєднуються бічні відгалуження (дворові мережі), що збирають воду від випусків окремих будівель;
- внутрімайданчикова (заводська) – включає ділянки, з'єднуючі окремі випуски з будівель, і магістральні ділянки, прокладені по проїздах чи в інших місцях підприємства.

Залежно від характеру обслуговуваної території міські вуличні мережі приймають стічні води від внутріквартальних або від заводських мереж, прокладених на території промпідприємства для приймання стічних вод із цехів і будівель всередині підприємства. В деяких випадках заводські мережі приєднують до спеціальної мережі промислової каналізації.

Каналізаційні мережі будують переважно самопливними. Для цього їх прокладають відповідно до рельєфу місцевості, розділяючи всю каналізовану територію населеного пункту на басейни каналізування.

Басейн каналізування – частина території, обмежена водорозділами.

Ділянки каналізаційної мережі, що збирають стічні води з одного чи кількох басейнів каналізування, називають колекторами.

Колектори великих розмірів називають каналами.

Колектори поділяють на такі види:

- колектори басейнів каналізування, що збирають стічні води з окремих басейнів;
- головні колектори, що приймають і транспортують стічні води двох чи більше колекторів басейнів каналізування;

- замиські колектори, що відводять стічні води транзитом (без приєднань) за межі об'єкту каналізування до насосних станцій, очисних споруд чи місця їх випуску у водойму.

Для огляду, промивання і прочищення каналізаційної мережі (від забруднення) на ній влаштовують оглядові колодязі.

Для приймання атмосферних стічних вод з проїздів вулично-дорожньої мережі застосовують дощоприймачі – круглі або прямокутні в плані колодязі з металевою решіткою зверху.

Залежно від того, як відводяться окремі види стічних вод – разом чи окремо, системи каналізації поділяють на загальносплавні, роздільні (повна або неповна) та напівроздільні.

Тип системи каналізації міста вибирають на основі порівняння техніко-економічних та санітарно-гігієнічних показників.

При загальносплавній системі каналізації всі види стічних вод відводяться до очисних споруд по єдиній каналізаційній мережі.

Роздільною називається система каналізації, при якій окремі види стічних вод із забрудненнями різного характеру відводяться самостійними каналізаційними мережами.

Роздільна система каналізації поділяється на:

- повну – передбачає не менше двох мереж: одну – для прийому і відводу побутових і близьких до них за складом виробничих стічних вод на очисні споруди; другу – для прийому і скиду у водойму атмосферних та умовно чистих виробничих стічних вод;

- неповну – передбачає відвід побутових стічних вод закритою мережею на очисні споруди і неорганізований відвід у водойму атмосферних вод.

Напівроздільною є така система каналізації, при якій у місцях перетину самостійних каналізаційних мереж для відводу різних видів стічних вод встановлюють водоскидні камери, що дозволяють перепускати найбільш забруднені дощові води при малих витратах у побутову мережу і відводити їх по загальному колектору на очисні споруди, а при зливах – скидати порівняно чисті дощові води безпосередньо у водойми.

У нашій країні переважає неповна роздільна система каналізації як перша черга будівництва. В санітарному відношенні найдоцільнішою є загальносплавна система, при якій всі стічні води підлягають очищенню.

Схема каналізації – план каналізованого об'єкту з нанесеними на ньому елементами каналізації (мережами, насосними станціями, очисними спорудами тощо).

Рішення схеми каналізації залежить від багатьох факторів: конфігурації і розміру каналізованого об'єкту, розташування водойм

відносно нього, рельєфу місцевості, ґрунтових умов, потужності водойм, економічних і санітарних міркувань, системи каналізації та ін.

На практиці найчастіше зустрічаються такі схеми [2, 3 та ін.]:

- перпендикулярна, коли колектори басейнів каналізування трасують перпендикулярно до течії річки (часто застосовують для відводу атмосферних вод, які не вимагають очищення);

- перехоплювальна, коли колектори басейнів каналізування перехоплюються головним колектором, який трасують паралельно до течії річки (застосовують при пониженні рельєфу місцевості до водойми та потребі очищення стічних вод);

- паралельна, коли колектори басейнів каналізування трасують паралельно або під невеликими кутами до течії річки і перехоплюються головним колектором, який трасують перпендикулярно до течії річки (застосовують при різкому спаданні рельєфу місцевості до річки);

- радіальна, коли стічні води відводяться децентралізовано, а тому їх очищення відбувається на двох або більше очисних спорудах (застосовують при складному рельєфі місцевості і при каналізуванні великих міст);

- зонна, коли каналізована територія розбита на дві зони: з верхньої стічні води відводяться до очисних споруд самопливом, з нижньої – перекачуються насосною станцією (застосовують для скорочення експлуатаційних витрат).

3.3. Інженерні споруди та обладнання мереж водопостачання

3.3.1. Водозабірні споруди.

Джерело водопостачання повинне забезпечувати потрібну кількість води з урахуванням збільшення водоспоживання на перспективу, безперебійно постачати воду, давати воду, яка вимагає мінімальних витрат на її очищення та подачу споживачу. Потужність вододжерела має бути такою, щоб підбір води на потреби об'єкта не порушував існуючу екологічну систему.

Розрізняють такі вододжерела:

- поверхневі (річки, озера, канали, водосховища);

- підземні (ґрунтові безнапірні, артезіанські - ґрунтові міжпластові, джерельні – природні виходи на поверхню землі ґрунтових вод).

При виборі джерела водопостачання за санітарною надійністю перевага надається в такій послідовності: артезіанським, ґрунтовим, під русловим водам річок, а також поверхневим водам річок, озер, водосховищ. У всіх випадках потрібно робити ТЕР та обґрунтування.

За вимогами [16] навколо вододжерела встановлюють три зони його санітарної охорони.

Розрізняють водозабірні споруди для забору води з поверхневих та підземних джерел. Для забору води з поверхневих джерел використовують в основному руслові або берегові водозабірні споруди, які відрізняються розташуванням місць прийому води відносно берега.

На річках невеликої глибини з похилими берегами влаштовують руслові водозабори, які складаються з водоприймача (оголовка), самопливних або сифонних трубопроводів, берегового колодязя. Береговий колодязь розташовують на не затоплюваному повинню березі і по можливості поєднують з насосною станцією першого підняття, для зменшення капітальних витрат і спрощення експлуатації. На відміну від руслових береговий водозабір не має самопливних ліній і повністю розташовується на березі (крутому березі ріки з достатньою глибиною води). На річках з недостатньою шириною і великим вмістом завислих речовин або шуги в зимовий час берегові водозабори розташовують у спеціальних спорудах – ковшах (котлованах, з'єднаних з річкою рукавом).

Для тимчасових водопроводів влаштовують пересувні (на рейках) і плаваючі водозабори.

Для забору підземних вод використовують свердловини, шахтні колодязі (криниці), горизонтальні та променеві водозабори, каптажні камери.

3.3.2. Водопіднімальні пристрої. Насоси і насосні станції.

Водопіднімальними пристроями служать насоси, ерліфти, гідроелеватори.

Насосами називаються машини, що служать для перекачування і створення напору рідин усіх видів, механічної суміші рідин із твердими і колоїдними речовинами і газів. Насоси є найрозповсюдженішим видом машин. За принципом дії насоси поділяються на:

а) відцентрові, у яких перекачування і створення напору відбуваються внаслідок відцентрових сил, що виникають при обертанні робочого колеса;

б) осьові (пропелерні) насоси, робочим органом у якій служить лопатеве колесо пропелерного типу. Рідина в цих насосах переміщається вздовж осі обертання колеса;

в) поршневі насоси, у яких рідина переміщується при зворотно-поступальному русі поршня. До цієї групи можна віднести найпростіший вид поршневих насосів — діафрагмові насоси, у яких робочим органом служить гумова чи шкіряна діафрагма, що здійснює зворотно-поступальний рух;

г) тарани, що працюють: за рахунок енергії гідравлічного удару;

д) струминні насоси, у яких переміщення рідини здійснюється за рахунок енергії потоку допоміжної рідини пари або газу, наприклад у гідроелеваторах, використовуваних для відкачування води з колодязів,

свердловин, траншей тощо, а також для транспортування суміші твердих частинок з рідиною (пульпи);

е) ерліфти (повітряні водопідйомники); у якій робочим тілом є стиснене повітря.

У залежності від призначення і принципу дії конструктивне виконання насосів різне.

У зв'язку з тим що насосні установки часто включаються в основний комплекс устаткування для регулювання режимів роботи установок різного призначення, вони можуть бути обладнані різноманітними приладами автоматики. Сучасні насосні установки обладнуються автоматикою плавного, а не ступеневого регулювання обертів, що значно зменшує енерговитрати.

Водопровідні насосні станції.

До складу насосних станцій входять основні (робочі) та резервні робочі агрегати, насоси спеціального призначення (протипожежні, дренажні та інші), а також допоміжне обладнання, яке забезпечує нормальну роботу робочих агрегатів (електрообладнання, підйомно-транспортні механізми, контрольно-вимірювальні та сигнальні пристрої тощо).

Як правило будівлі насосних станцій проектують в плані круглими або прямокутними.

За місцем розташування у загальній схемі водопостачання і призначенням насосні станції розділяють на станції:

1. Підняття: першого (для перекачування води з джерела водопостачання на очисні споруди, а якщо очищення не потрібні, то – в РЧВ) і другого (для перекачування води з РЧВ до споживача).

2. Підвищувальні, які збільшують напір у водопровідній мережі (насоси підключені безпосередньо до мережі) та циркуляційні, які влаштовують у системах технічного водопостачання при потребі у циркуляції води, наприклад у замкнутих системах охолодження.

Категорію надійності насосної станції, кількість робочих і резервних агрегатів та інші показники при проектуванні насосних станцій приймаються за [16]. Оптимальний режим роботи насосів визначають відповідно до результатів гідравлічного розрахунку мережі і ТЕР обґрунтування об'єму баків водонапірних башт і РЧВ. За результатами цих розрахунків підбирають типові проекти насосних станцій.

3.3.3. Регульовальні та запасні споруди

Регульовальні та запасні споруди в системі водопостачання – це напірні або безнапірні резервуари з певним об'ємом води, потрібним для регулювання роботи системи і для утворення недоторканного запасу на випадок пожеж або аварій.

Регулювання полягає в узгодженні різних режимів подачі та споживання води за допомогою акумулювальних місткостей. При подачі води понад споживання вона накопичується в місткостях, а при недостатці – забирається з них.

Регулювання забезпечує відносно рівномірну роботу водозаборів, очисних споруд і насосних станцій. Регулюючи та запасні місткості доцільно об'єднувати в одній споруді, що вигідно економічно та дозволяє уникнути зниження якості води при тривалому зберіганні.

До напірно-регулювальних споруд належать водонапірні башти, високо розташовані надземні напірні резервуари, а також повітряно-водяні (гідропневматичні) баки.

Водонапірні башти, резервуари розташовують у найвищих точках місцевості біля або безпосередньо на мережі населеного пункту. Крім регулювання, вони вирівнюють напір у мережі і при цьому зміни подачі насосів не передаються в мережу.

Водонапірні башти залежно від рельєфу місцевості і конфігурації мережі можуть бути розташовані на початку мережі (прохідна башта), в кінці мережі (контр-резервуар) або в її проміжних точках.

В окремих випадках замість водонапірних башт влаштовують гідропневматичні баки. Потрібний напір у таких установках створюється стисненим повітрям. Недоліками таких систем є потреба у вищих напорах насосних станцій, що зумовлює додаткові витрати електроенергії, і наявність компресорів. Перевагою гідропневматичних установок є те, що їх можливо розташувати у будь-якому місці водонапірної мережі, а також у спеціальних приміщеннях під землею. Гідропневматичні установки доцільно використовувати при невеликих витратах води (місцеві або внутрішні системи).

Безнапірні регулювальні та запасні споруди (надземні і підземні резервуари) влаштовують, як правило, біля насосних станцій. Вони слугують для регулювання роботи водозаборів, очисних і насосних станцій, зберігання аварійних, протипожежних та інших запасів води.

3.3.4. Споруди для поліпшення (очищення і знезаражування) води

Якість води характеризується її властивостями: фізичними (температура, колірність, мутність, присмак і запах), хімічними (активна реакція, окислюваність, жорсткість, вміст розчинених солей), бактеріологічними (колі-титр, колі-індекс) і регламентується [38] для питної води та технологічними вимогами – до виробничої, а на проти пожежні потреби вода може бути і непитної якості, але без речовин, що підтримують горіння (нафтопродукти тощо).

Очисна станція – це комплекс споруд, в яких вода підлягає очищенню для набуття потрібних споживачу якостей і властивостей.

Очисні споруди, як правило, розташовують так, щоб вода між ними рухалась самопливом.

Метод очищення води і склад очисних споруд залежить від якості води в джерелі водопостачання, призначення водопроводу, продуктивності станції і місцевих умов. До найвідоміших методів поліпшення води належать прояснення, знебарвлення і знезаражування.

Прояснення води полягає у видаленні з неї завислих речовин, тобто зменшення її каламутності. Його можна проводити шляхом відстоювання і фільтрування. Відстоювання проходить досить довго, тому для прискорення прояснення у воду вводять хімічні речовини – коагулянти, що разом із завислими і колоїдними частинками утворюють пластівці, які досить швидко відділяються від води. Для інтенсифікації коагулювання воду інколи обробляють флокулянтами, при цьому утворені пластівці ще більші та швидше осідають. Дозу коагулянту нормують за [16].

Прояснення та знебарвлення води коагуляцією.

Приготування розчинів – у відділеннях, де розташовані спеціальні баки з розчинами та дозуючі пристрої; перемішування розчинів коагулянтів – у змішувачах, які бувають лоткового типу та вихрові.

Далі, вода потрапляє у камеру утворення пластівців, звідти – у відстійники (горизонтальні, вертикальні чи радіальні), для випадання в осад.

Відстійники можуть бути поєднані в одну споруду з камерою для утворення пластівців.

Для прояснення води окрім відстійників використовують гідроциклони, в яких відділення твердої фази від рідкої проходить за дії відцентрової сили.

При проясненні широко застосовують метод пропускання забрудненої води через шар осаду (сприяє інтенсивному утворенню пластівців), а далі - до фільтрів. Остаточне прояснення води - фільтруванням, (через шар дрібнозернистого фільтрувального матеріалу). За швидкістю фільтрування розрізняють фільтри швидкі ($v=5-10$ м/год), надшвидкі ($v=25-100$ м/год) та повільні ($v=0,1-0,2$ м/год). Швидкі застосовують при очищенні зкоагульованої води, повільні – при очищенні води без коагулянтів, надшвидкі – з або без коагулювання. За конструкцією розрізняють відкриті (напірні) та закриті (безнапірні) фільтри, а за завнтаженням – з однорідним фільтрувальним матеріалом або з різних (багатшарові).

Крім фільтрів воду прояснюють контактними просвітлювачами (в них поєднуються процеси утворення пластівців і фільтрування).

Знезаражування води – знищення мікроорганізмів, бактерій, вірусів, переважно патогенних.

Після прояснення води відстоюванням і фільтруванням, коли значна частина бактерій і вірусів затримана, їх остаточно знищують шляхом обробки води хлором, озоном, сріблом чи іншими речовинами або опроміненням ультрафіолетовими променями.

Знебарвлення води – усунення речовин, що зумовлюють її кольоровість. Зазвичай знебарвлення води проходить при проясненні і знезаражуванні. Речовини, що зумовлюють кольоровість води, видаляються коагуляцією та окисленням. Воду очищають із застосуванням хімічних реагентів (коагулянтів, хлору, озону та ін.) або без них. В останньому випадку вода очищається природним відстоюванням і повільним фільтруванням через дрібнозернисті фільтри. У зв'язку з цим розрізняють реагентний і безреагентний методи очищення.

Залежно від властивостей джерела водопостачання або вимог споживачів до якості води може застосовуватись спеціальна її обробка на відповідних очисних спорудах: пом'якшення, знезалізнення, стабілізація, дезодорація, знесолення, видалення або введення окремих компонентів, охолодження тощо.

3.4. Інженерні споруди та обладнання мереж каналізаці

3.4.1. Перекачування стічних вод

При великій глибині закладання колекторів і відсутності через це можливості самопливного транспортування стічних вод до очисних споруд або у водойму влаштовуються насосні станції підйому та перекачування (в основному з відцентровими насосами), які подають стоки до очисних споруд по напірних трубопроводах.

Насоси мають ряд конструктивних особливостей:

- тільки одноколісні і без направляючих апаратів;
- робочі колеса мають всього 2-4 лопаті;
- на корпусі насосу і на входному патрубку влаштовуються люки-ревізії.

Каналізаційні насосні станції поділяють на:

- місцеві (для перекачування стічних вод від одного чи кількох будинків);
- лінійні або підкачування (для перекачування стічних вод від максимального заглибленого колектора до колекторів з меншим заглибленням);
- районні (для перекачування стічних вод від районів та басейнів);
- головні (для перекачування всіх стічних вод на очисні споруди).

Каналізаційні насосні станції мають машинне відділення, приймальний

резервуар, побутові та допоміжні приміщення. В машинному залі розташовують основні та резервні насоси, допоміжне обладнання. Приймальний резервуар утворює регулюючу ємність, яка забезпечує найбільш ефективну рівномірну подачу насосів.

3.4.2. Очисні споруди

Очисними називають споруди, призначені для очищення та знезаражування стічних вод і переробки їх осаду.

Склад очисних споруд може бути різним і залежить від методу очищення та виду стічних вод.

Очисні споруди розташовують нижче за течією річки відносно населеного пункту або промислового підприємства, що каналізується.

Ступінь забруднення стічних вод характеризується кількістю мінеральних, органічних та бактеріальних домішок, що містяться у розчиненому або нерозчиненому стані. Нерозчинені речовини, які затримуються при фільтруванні через паперовий фільтр, називають завислими (з них 60-75 % осідає, а решта, що спливає – легкі домішки: жири, нафтопродукти тощо). Вміст органічних домішок оцінюють за кількістю витраченого для окислення органічних речовин кисню (ці домішки при наявності кисню мінералізуються під дією мікроорганізмів), біохімічною потребою в кисні, мг/л, – БПК₅ та БПК₂₀ (через 5 та 20 діб). Для міських стічних вод БПК₂₀ становить 100-400 мг/л, для виробничих – залежно від технологічного процесу. Для повної оцінки органічних забруднень (бо не всі органічні речовини окислюються біохімічним шляхом) визначають хімічну потребу в кисні – ХПК. ХПК завжди більше БПК (для побутових стічних вод – в 1,2 – 1,5 рази більше за БПК₂₀). Детальніше про показники ступеню забруднення стічних вод – у [20 та ін.].

Для очищення стічних вод використовують механічні, хімічні, фізико-хімічні та біологічні методи.

При цьому використовують комплекс окремих споруд, в яких за ходом руху стічна вода послідовно очищається спочатку від крупних, а потім від все менших за розмірами забруднень.

Механічне очищення (проціджування, відстоювання, провітлення та фільтрування) використовують для видалення з води в основному завислих речовин, використовуючи решітки, пісковловлювачі, відстійники, жиरोловлювачі, нафтовловлювачі, гідроциклони, фільтри та інші споруди.

Ганчір'я, папір, кістки, решітки овочів та фруктів, різні промислові відходи затримуються на решітках і подрібнюються в дробарках. Вода після решіток направляється в пісковловлювачі, в яких затримуються забруднення мінерального походження (пісок, зола, шлак).

Основна маса забруднень органічного походження, що знаходяться в завислому стані, відділяється від стічної рідини у

первинних відстійниках. Речовини, питома вага яких більша за питому вагу води, осідають на дно. Речовини, легші за воду (жири, масла, нафта та нафтопродукти, різні смоли), спливають на поверхню.

Осад з пісковловлювачів зневоднюють на піскових майданчиках або в піскових бункерах.

Осад з первинних відстійників схильний до гниття і тому його направляють на спеціальні споруди обробки осаду. В деяких спорудах механічного очищення (септики, двоярусні відстійники, просвітлювачі-перегнивачі) поєднуються процеси освітлення стічної рідини та обробки випалого осаду.

Досить рідко механічне очищення є кінцевою стадією. Частіше воно буває попереднім перед біологічним очищенням. Біологічні методи очищення полягають в скисненні мікроорганізмами органічних речовин, що знаходяться в стічних водах у вигляді дрібних суспензій, колоїдів та розчинів. Внаслідок біохімічних процесів відбувається мінералізація органічних речовин. Біохімічним шляхом стічні води майже повністю звільняються від органічних забруднень, що залишаються в стічних водах після механічного очищення. Споруди, які служать для біологічного очищення стічних вод, поділяють на дві групи.

До першої належать споруди, в яких біологічне очищення проводиться в умовах, близьких до природних (після зрошення, поля фільтрації та очисні біоставки).

У другій групі споруд очищення проводиться у штучно створених умовах (біологічні фільтри та аеротенки).

У спорудах першої групи стічні води очищаються досить повільно за рахунок запасу кисню в ґрунті та воді біоставків, а також внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів-мінералізаторів, що окислюють органічні забруднення.

В спорудах другої групи у штучно створених умовах процеси очищення стічних вод протікають значно інтенсивніше. Відокремлення біомаси від очищеної води здійснюється у вторинних відстійниках.

Перед спуском до водойм очищену стічну воду для знешкодження та знищення патогенних мікроорганізмів, що залишилися після біологічного очищення, слід дезінфікувати.

Дезінфекцію здійснюють різними способами: хлоруванням, електролізом, бактерицидним опроміненням та іншими.

Оскільки вимоги до ступеня очищення стічних вод підвищуються і не завжди біологічне очищення забезпечує ці вимоги, доводиться застосовувати доочищення стічної води. Для забезпечення останнього використовують різні фільтри, контактні освітлювачі та біоставки.

При хімічному очищенні забруднення зі стічних вод видаляються в результаті реакцій між забрудненнями та реагентами, які вводять у воду. В цьому випадку може утворюватися осад або газовиділення.

Процесами хімічного очищення є також нейтралізація та хімічне окислювання.

До фізико-хімічних методів очищення стічних вод відносять сорбцію, екстракцію, евапорацію, коагуляцію, флотацію, електроліз, іонний обмін, кристалізацію та інші.

Вибір методу очищення стічних вод і підбір складу очисних споруд є досить складним завданням і залежить від ряду факторів і необхідного ступеня очищення стічних вод, потреби забезпечення економічної експлуатації очисних споруд, можливості утилізації зі стічних вод цінних речовин та використання очищеної води в системах технічного водопостачання підприємств, рельєфу місцевості, гідрогеологічних умов, чисельності населення, кількості стічних вод та інших.

Досить широке застосування для очищення міських стічних вод знайшли схеми, в яких поєднуються механічне та біологічне очищення.

Тема 4. Проектування зовнішніх мереж водопостачання і каналізації

4.1. Проектування зовнішніх мереж водопостачання

При проектуванні систем водопостачання потрібно знати кількість води, яку треба подати водопроводом, види і кількість водоспоживачів з урахуванням перспективного плану розвитку об'єкта, розрахункові норми споживання води кожним видом споживача та режим споживання води протягом доби. Розрахунки виконуються за [16, 18].

Норми господарсько-питного водоспоживання визначаються за [16, 18], а виробничого, – за питомими витратами води на одиницю продукції, одну робочу операцію та за [16, 18], поливального – за [16]. Крім виробничих, на промпідприємствах визначаються витрати води на господарсько-питні потреби та витрати води на душ за [16, 18].

Витрати води на зовнішнє пожежогасіння в населеному пункті та розрахункова кількість пожеж наведені у [16, 18], ці витрати враховуються під час перевірочних розрахунків водопровідної мережі та при визначенні об'єму запасних місткостей (РЧВ, водонапірної башти, протипожежних резервуарів).

4.1.1. Розрахункові витрати та вільний напір води

Розрахунки виконуються згідно з [16].

1. Добові та річні витрати води.

Питоме водопостачання, $q_{ж}$, л/добу, на одного жителя середньодобове (за рік), приймається за [18] для наявних зон забудови з різним ступенем благоустрою житла. За додатком А.2 у [18] визначаються питомі добові витрати води на господарсько-питні потреби в громадських будівлях та спорудах, потреби на поливання вулиць, спортивних споруд і зелених насаджень.

За [16], розрахункова (середня за рік) добова витрата води на господарсько-питні потреби в населеному пункті, $м^3/добу$:

$$Q_{доб.м} = \Sigma(q_{ж} \cdot N_{ж}) / 1000 ,$$

де $q_{ж}$ – середньодобова норма водоспоживання на одного жителя (за рік), л/добу, приймається за [16];

$N_{ж}$ – розрахункова кількість жителів у наявних зонах житлової забудови з різним ступенем благоустрою, люд. Коли $N_{ж}$ не відоме, то:

$$N_{ж} = F_i \cdot p_i ,$$

де F_i та p_i - відповідно, площа, га, та щільність населення, люд./га, i -ї зони житлової забудови.

Розрахункові витрати води в добу найбільшого і найменшого водопостачання, $м^3/добу$, визначаються за [16]:

$$Q_{доб.макс} = K_{доб.макс} Q_{доб.м} ;$$

$$Q_{доб.мін} = K_{доб.мін} Q_{доб.м} .$$

Коливання режиму господарсько-питного водоспоживання протягом доби, місяця, року в населеному пункті за літнім і зимовим графіком оцінюються за коефіцієнтом добової нерівномірності: найбільшим $K_{доб.макс}$ (1,1-1,3); найменшим $K_{доб.мін}$ (0,7-0,9).

Річні витрати води у населеному пункті є сумою витрат води усіма категоріями водоспоживачів протягом року з урахуванням особливостей місцевих умов.

2. Годинні витрати води. Розрахункові годинні витрати води, $м^3/год$, за [16]:

$$q_{год.макс} = K_{год.макс} Q_{год.макс} / 24 ;$$

$$q_{год.мін} = K_{год.мін} Q_{год.мін} / 24 .$$

Коливання погодинних витрат враховується коефіцієнтом годинної нерівномірності водоспоживання:

$$K_{год.макс} = \alpha_{макс} \cdot \beta_{макс} ,$$

$$K_{год.мін} = \alpha_{мін} \cdot \beta_{мін} ,$$

де $\alpha_{макс}$, $\alpha_{мін}$ – коефіцієнти врахування ступеню благоустрою будівель, режиму роботи підприємств та інших місцевих умов, приймаються за [24] з інтервалів $\alpha_{макс} = 1,2 - 1,4$; $\alpha_{мін} = 0,4 - 0,6$;

β_{\max} , β_{\min} - коефіцієнти врахування кількості жителів у населеному пункті, приймаються за [16].

При визначенні погодинних витрат води населенням на протязі доби в населеному пункті розподіляються максимальні добові витрати води по годинах доби для відповідних значень коефіцієнта $K_{\text{год.мак}}$, значення якого заокруглюється до найближчого табличного за типовими графіками водоспоживання [2] або [16].

Для районів (мікрорайонів), забудованих будівлями з централізованим гарячим водопостачанням, безпосередній відбір гарячої води з теплової мережі приймається в середньому за добу 40 % загальної витрати води на господарсько-питні витрати і в годину максимального водорозбору – 55 % цієї витрати. При змішаній забудові виходять з чисельності населення, яке проживає в будівлях.

При визначенні погодинних витрат води підприємствами на протязі доби в населеному пункті розподіляються максимальні добові витрати води підприємства по годинах доби для відповідних значень коефіцієнта $K_{\text{год.мак}}$ (за даними графіку водоспоживання підприємства).

Годинні витрати води на поливання територій призначаються в години максимального і середнього водопостачання з урахуванням можливості розведення у часі (на протязі доби) поливів різних видів поливної території.

3. Секундні витрати води. Розрахункові секундні витрати води, л/с, визначаються пропорційно до годинних.

Загальна розрахункова кількість одночасних пожеж у місті, n , шт., за [24] приймається для кількості жителів у місті, $N_{\text{ж}}$, тис. люд., тому загальні витрати на пожежогасіння в місті - сума з n найбільших сумарних витрат на можливі пожежі в місті. Витрати води на пожежогасіння, л/с на 1 пожежу, визначаються: на зовнішнє – за [16] для житлової забудови та за [1] для промислових підприємств; на внутрішнє – за [18].

4.1.2. Розрахунок водопровідної мережі

Залежно від схеми живлення мережу розраховують на найхарактерніші режими її роботи. Основними режимами є: максимальне водоспоживання; максимальне водоспоживання і пропуск додаткових протипожежних витрат; для схеми з контр-резервуаром - транзит у напірний бак. Найпоширенішим є режим максимального господарсько-питного водоспоживання.

1. Розрахункова схема мережі. Реальна схема мережі з великою кількістю точок відбору води споживачами замінюється розрахунковою схемою мережі (рис. 4.1) з вузловими точками відбору води – вузлами.

Більшість вузлів розташована на перетинах магістральних ліній, окрім точки відбору – на магістральних лініях (у місцях великих

відборів води). Вузли намічаються у точках підключення водоводів від насосної станції і від водонапірної башти, а також у місцях відбирання води крупними водоспоживачами, перетину і відгалуження магістральних ліній. Вузлові точки поділяють мережу на розрахункові ділянки. На розрахунковій схемі нумеруються вузли, визначаються довжини розрахункових ділянок, дані заносяться у таблиці.

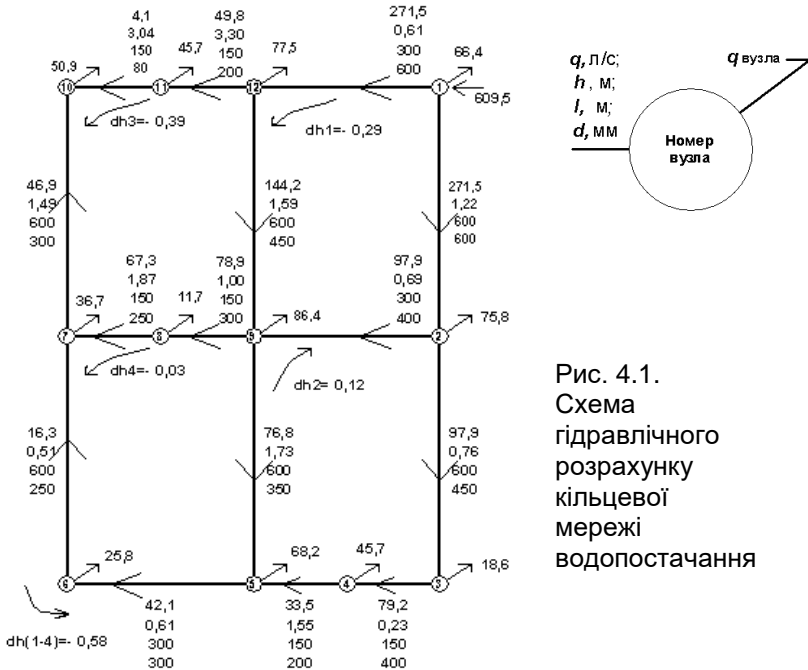


Рис. 4.1.
Схема гідравлічного розрахунку кільцевої мережі водопостачання

2. Визначення витрат води на ділянках мережі.

Визначення вузлових відборів води з мережі.

При розрахунку водопровідної мережі приймається, що крупним споживачам (виробничі підприємства, готель, дитсад, гуртожиток тощо) для виробничих і господарсько-питних потреб вода подається зосередженою витратою у вузли, а для господарсько-питних потреб населення – рівномірно по довжині магістральних ліній шляховою витратою.

Розрахункові витрати для призначеного режиму визначаються за формулами та графіком водоспоживання.

Визначаються витрати, л/с, зосередженими (крупними) водоспоживачами для відповідних вузлів, дані заносяться на розрахункову схему.

Обчислюються питомі витрати на 1 м мережі, л/(с*м), без урахування витрат зосередженими водоспоживачами через загальні

(для населеного пункту) шляхові витрати води, що рівномірно відбираються водоспоживачами з магістральних ліній мережі – витрати на господарсько-питні потреби населення та на поливання. Якщо витрати на поливання не можна перенести на іншу, менш завантажену годину, то вони можуть розподілятися по мережі за одним з принципів: рівномірно по усіх ділянках мережі (пропорційно до їх розрахункової довжини); на окремі ділянки, що проходять по територіях поливання (парках, газонах тощо); на окремі вузли, у яких вода на поливання відбирається зосереджено.

Потрібно знайти показники:

- сума витрат зосередженими водоспоживачами, л/с, в межах окремого району житлової забудови;

- сума довжин, $L_{розр}$, м, розрахункових ділянок магістральних ліній, які віддають воду в межах окремого району. Причому: реальні довжини ділянок, по яких вода проходить лише транзитом (немає водорозбору) не враховуються ($L_{розр}=L=0$); реальні довжини ділянок, з яких вода забирається з одного боку (на вулицях з односторонньою житловою забудовою) враховуються наполовину ($L_{розр}=L/2$); реальні довжини ділянок, які знаходяться на межі двох районів житлової забудови з різною густиною населення або різним питомим водоспоживанням враховуються наполовину ($L_{розр}=L/2$) для кожного району.

При різному характері забудови (багатоповерхова, малоповерхова, індивідуальна) питомі витрати визначаються для кожного району відповідно до густоти населення.

Приймається, що відбір води з мереж рівномірний, тоді шляхові витрати на кожній ділянці, л/с (заносяться у таблиці) є добуток показників:

- розрахункова довжина кожної ділянки, м.

- питома витрата води, для певного району мережі з однаковим водоспоживанням, л/(с*м).

Для спрощення розрахунків шляхові витрати умовно замінюють на вузлові: у вузлі зосереджується (сумується) половина шляхової витрати від кожної з ділянок, що прилягають до даного вузла. Якщо до вузла також приєднані крупні споживачі, то вузлова витрата додатково збільшується на величину зосередженої витрати від цих крупних споживачів.

Вузлові витрати (їх ще називають вузлові відбори) для усіх вузлів мережі зводяться у таблицю. Зрозуміло, що сума усіх вузлових витрат мережі рівна повній витраті води з водопровідної мережі $q_{сек.мах}$ для заданого розрахункового режиму роботи.

Визначається розрахункова витрата для кожної ділянки мережі.

3. Визначення діаметрів магістралей та витрат напору на розрахункових ділянках.

Для магістральних трубопроводів, з прийнятого матеріалу, визначаються діаметри, м:

$$d = \sqrt{\frac{4q_j}{\pi v}},$$

де q_j - розрахункова витрата j -ї ділянки, м³/с;

v - швидкість руху води в трубі, м/с, для труб малих діаметрів 0,6-0,9; для труб великих діаметрів 0,9-1,5.

Втрати напору по довжині на ділянках, для спрощення розрахунків, визначають за формулою:

$$h_i = il,$$

де l - довжина розрахункової ділянки, м;

i - гідравлічний похил (питомі втрати напору на одиницю довжини у водопроводах) на ділянці, Па/м, або у м/м якщо визначається за таблицями Шевельова Ф. А. [2].

Згідно з рекомендацією [16] при гідравлічному розрахунку систем подавання і розподілу води на ПЕОМ гідравлічний похил у трубопроводах визначається за формулою:

$$i = Kq^n/d^p,$$

де q - розрахункова витрата води, м³/с;

d - розрахунковий внутрішній діаметр труб, м. Значення коефіцієнта K та показників ступеня n, p приймаються за [16].

Втрати напору в місцевих опорах у розрахунках водопровідної мережі не враховуються, як незначні відносно втрат напору по довжині.

4. Гідравлічний розрахунок трубопроводів мережі водопостачання.

Розрахунок кільцевої водопровідної мережі полягає у призначенні діаметрів труб, визначенні витрат, які течуть по окремих вітках мережі, і підрахунку втрат напору від місця подачі води до розрахункової точки мережі. На початку розрахунку на розрахунковій схемі мережі призначаються витрати, виходячи з балансу витрат у вузлах. За призначеними витратами встановлюються діаметри труб, за графіками „економічних діаметрів” або значеннями „економічних швидкостей”. Результати розрахунків зводяться у спеціальну таблицю.

Ув'язка кільцевої мережі виконується для підрахунку втрат напору від початкової точки мережі до розрахункової і полягає у коректуванні розподілу витрат води по ділянках мережі та відповідних втрат напору так, щоб для усіх кілець та вузлів мережі забезпечувалися дві закономірності розподілу витрат (ув'язки мережі), складені на основі законів Кірхгофа у електротехніці.

Закономірність 1. Сума втрат напору у вітках кільця з рухом води за годинниковою стрілкою (приймаються зі знаком „+”) рівна сумі втрат напору у вітках кільця з рухом води проти годинникової стрілки (приймаються зі знаком „-“):

$$\sum h = 0$$

допускається неув'язка $\pm\Delta h$:

- для кожного кільця мережі - у межах 0,3 - 0,5 м;
- для контуру (кільця по периметру мережі) - до 1 м.

Закономірність 2. Сума витрат, що притікають до вузла рівна сумі витрат, що витікають з нього (враховуючи витрати, зосереджені у вузлі):

$$\sum q = 0$$

Тобто, розрахунок кільцевої мережі ведеться у двох взаємопов'язаних напрямках: урівнювання витрат у вузлах мережі; урівнювання втрат напору у лівій і правій вітках кільця.

Розрізняють два найпоширеніші способи ув'язки кільцевих мереж. При першому способі початковим є забезпечення умов 1 та 2 формул, наведених вище. Мережа ув'язується доти, доки неув'язки в усіх кільцях не перевищуватимуть допустимих (для розрахунку вручну: для режиму максимального господарського водоспоживання – менше 0,5 м у кожному кільці; до 1 м в усьому контурі мережі). За другим способом умова 2 точно забезпечується лише на етапі попереднього ув'язування, а далі допускається її порушення (до 5 %) при одночасному досягненні нульових значень суми втрат напорів при замкненому обході всіх кілець мережі (по контуру), тобто повному виконанні умови 1. Вважається, що перший спосіб дає більш точний і вірогідніший результат, а другий – простіший і швидше приводить до виконання умови 1.

На розрахунковій схемі мережі (рис. 9.1) нумеруються розрахункові ділянки та кільця. На розрахункових ділянках проставляються прийняті для них витрати та відповідні діаметри. Дані заносяться у таблицю, у якій визначаються неув'язки втрат напору для кожного кільця.

Діаметри водопроводів ділянок визначаються з умови найбільш економічно вигідних. При потребі, витрати у вітках кільця перерозподіляються доти, поки не буде отримана допустима неув'язка $\pm\Delta h$. Для такого перерозподілу використовують різні методи ув'язування кільцевих водогінних мереж [1, 2 та ін.], одним з найпоширеніших серед них є метод Лобачова-Кроса. Даний розрахунок (ув'язування) при виконанні обчислень вручну є досить трудомістким, тому його найчастіше виконують з використанням комп'ютерних програм.

Вільний напір води в мережі:

1. Нормативні значення вільного напору. За [16], як вже зазначалось вище, у зовнішній водопровідній мережі при максимальному господарсько-питному водоспоживанні має бути забезпечений потрібний вільний напір, m , (гарантійний тиск, при переведенні із m у Pa) над поверхнею ґрунту – за формулою (5.1).

Вільний напір в зовнішній мережі централізованого господарсько-питного водопроводу біля споживачів не повинен перевищувати 45 м. Вільний напір в зовнішній мережі біля водорозбірних колонок повинен бути не менше 10 м, а в зовнішній мережі виробничого водопроводу приймається за технологічними даними.

При напорі в системі централізованого питного водопроводу району міста більше 45 м виконують її зонування.

Противопожежний водопровід за [16] слід приймати низького тиску з вільним напором у мережі при пожежогасінні не менше 10 м. Максимальний вільний напір в зовнішній мережі об'єднаного водопроводу не повинен перевищувати 45 м.

2. Напір насосів і водонапірної башти. Потрібний тиск в мережі повинен підтримуватись і при найгірших умовах. Тобто, цей тиск повинен забезпечувати подавання води до найдалшої (за довжиною і висотою) від башти точки – диктуючої, при розрахунку по якій висота башти буде найвищою.

Напір насосів, m , є сумою показників:

- висота баку (до рівня води в баці) водонапірної башти, m ;
- сума втрат напору у водоводі (при розташуванні бака у кінці мережі - сума втрат напору у водоводі і мережі), m ;
- сума втрат напору у всмоктувальному трубопроводі, m ;
- різниця відміток найнижчого рівня води у водоймі та диктуючої точки, m .

4.2. Проектування зовнішніх мереж каналізації

Вихідними даними для розробки проекту каналізування населеного пункту служать: генеральний план населеного пункту (для міст на 20-25 років), який враховує перспективу його розвитку; відомості про розміщення населення та його чисельність на перспективу; межі території, що каналізується; характеристика благоустрою населеного пункту та санітарна оцінка місцевості; гідрологічні та геологічні дані території; гідрологічні дані прилеглих водних об'єктів; метеорологічні дані; характеристика природних та інженерно-будівельних умов, будівельних і сировинних баз.

Проект системи каналізації виконується відповідно до діючих нормативних документів, в яких наведені правила вибору системи каналізації, нормативні матеріали для визначення розрахункових

витрат стічних вод та розмірів каналізаційних споруд, гідравлічного розрахунку мереж та обладнання, технологічного розрахунку очисних споруд тощо.

Проектування водовідвідних систем і споруд вулиць і доріг проводиться виходячи з місцевих природних, архітектурно-планувальних та санітарно-гігієнічних умов у комплексному взаємозв'язку з рішенням інженерної підготовки, благоустрою та інфраструктури населеного пункту. При цьому загальні умови трасування та прокладання трубопроводів, їх гідравлічні розрахунки, параметри та вимоги до споруд водовідведення (оглядові та перехідні колодязі, дощоприймачі, переходи через дороги, дюкери, зливоводи, зливоспуски), а також відстані від зовнішньої поверхні труб самопливної каналізації (побутова та дощова) та дренажів до підземних мереж і споруд визначаються за ДБН Б.2.2-12:2019 Планування і забудова територій [24], ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів [25], ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво, а також інші нормативи.

Розміри в плані колодязів дощової каналізації (дощоприймальних, оглядових), відстані між ними та їх розміри, мінімальні похили лотків нормуються [25].

При проектуванні вулиць передбачається можливість заходів з прибирання снігу, за вимогами ДБН В.2.3-5:2018 [25].

Послідовність трасування вуличних мереж K1 та K2 населеного пункту така:

- каналізована територія розділяється на басейни каналізування, у їх понижених місцях трасують колектори;
- колектори басейнів каналізування перехоплюються трасованими головними і замиськими колекторами, у напрямку до очисних споруд;
- трасують вуличні мережі до колекторів, намагаючись мінімізувати довжини вуличних віток. Приймається одна з поширених схем: охоплююча; з пониженого боку кварталу; черезквартальна.

Каналізаційні мережі проектуються переважно для роботи при самопливному (безнапірному) режимі з частковим заповненням перерізу трубопроводу. Тільки окремі ділянки мереж проектується, при потребі, для роботи в напірному режимі (при різких перепадах рельєфу, на водорозділах тощо). Місця розташування насосних станцій визначають розрахунком, доцільним є їх розташування у точках з однаковою глибиною закладання приєднаних колекторів.

Для каналізаційних трубопроводів слід приймати: самопливних – безнапірні залізобетонні, бетонні, керамічні, чавунні, азбестоцементні, пластмасові труби і залізобетонні деталі; напірних - напірні залізобетонні, азбестоцементні, чавунні, сталеві, пластмасові труби.

Мінімальні діаметри труб самопливної каналізації: для вуличної мережі – 200 мм, для дворової та квартальної побутової мережі – 150 мм, для дощової та загальносплавної вуличної мережі – 250 мм, дощової квартальної – 200 мм. У населених пунктах з витратою до 300 м³/добу для внутріквартильної та вуличної мереж допускається використання труб Ø 150 мм, а для виробничої каналізації – менше Ø 150 мм. При найбільшому розрахунковому наповненні труб у мережах К1 та К2 найменші та найбільші швидкості руху стічних вод (самоочисні швидкості) приймаються за [17]. Причина цього обмеження така: чим більша швидкість потоку стічних вод, тим більше руйнування та стирання їх абразивними частинками (піском та ін.) стінок труб (передусім – дна), а дуже малі швидкості не забезпечують самоочищення трубопроводів.

Розрахункові швидкості руху стічних вод у каналах нормуються [17]. Розрахункове наповнення трубопроводів і каналів з поперечним перерізом будь-якої форми потрібно приймати не більше 0,7 висоти (для системи К1), для каналів прямокутного перерізу допускається 0,75. Для трубопроводів дощової і загальносплавної систем водовідведення слід приймати повне розрахункове наповнення.

Найменший похил трубопроводів і каналів приймається залежно від граничних мінімальних швидкостей течії, його значення для всіх систем каналізації при розрахунковому наповненні труби: Ø 150 мм - 0,008 (допускається 0,007); Ø 200 мм - 0,007 (допускається 0,005).

Похил приєднання від дощоприймачів - 0,02. Похил напірних трубопроводів у напрямку до випуску треба приймати не менше 0,001. Найменші похили відкритої мережі К2, за [17]: для лотка проїзної частини з асфальтобетонною поверхнею - 0,003, брущатим чи щебеним покриттям - 0,004, покриттям з булижнику - 0,005; для окремих лотків і кюветів - 0,005, для водовідвідних каналів - 0,003.

Найменший розмір кюветів та каналів трапецеїдального перерізу слід приймати: ширина по дну 0,3 м, глибина 0,4 м.

При витратах розрахункового періоду дощова каналізація працює в самопливному режимі, при витратах граничного періоду - в напірному. Напірний режим допускається для ділянок, які мають перепади чи глибоке закладання, а також короткі ділянки з малими похилами чи меншим перерізом трубопроводу.

Поздовжні похили по лотках проїзної частини приймаються не менше: для асфальтобетонних, брущатих або щебених покриттів 0,005 (при реконструкції 0,004); для бруківки, окремих лотків та кюветів 0,005; для водовідвідної каналізації 0,005 (при реконструкції 0,003). Причому, мінімальні похили визначаються виходячи з швидкості протікання води не менше 0,6 м/с за витрат з повторністю 3 рази в рік. За швидкостей води більше допустимих для прийнятих типів укріплення

влаштовують перепади і швидкостоки [25]. При поздовжніх похилах проїзної частини до 0,003 (на горизонтальних ділянках) по лотках проектується пилкоподібний профіль на прилягаючій до борта смузі проїзної частини шириною 2,5 - 3,0 м, відстані між водоприймальними колодязями повинні відповідати вимогам ДБН В.2.3-5:2018 [25].

Трубопроводи різних діаметрів потрібно з'єднувати у колодязях по верху труб (шелігах), допускається з'єднання по розрахунковому рівню води. Найменша глибина закладання лотка труби: для труб до \varnothing 500 мм – на 0,3 м вище глибини промерзання, для труб більшого діаметру – на 0,5 м вище. Відстань від верху труби до поверхні землі приймається не менше 0,7 м. Оглядові колодязі на каналізаційних мережах усіх систем потрібно передбачати: у місцях приєднань; у місцях зміни напрямку, похилів і діаметрів трубопроводів; на прямих ділянках на відстанях залежно від діаметра труб [17].

Дощоприймачі треба передбачати: на зтяжних ділянках спусків (підйомів); на перехрестях і пішохідних переходах з боку притоку поверхневих вод; у понижених місцях у кінці зтяжних ділянок спусків; у понижених місцях при пилкоподібному профілі лотків вулиць; у місцях вулиць, дворових і паркових територій, що не мають стоку поверхневих вод. Схеми розташування дощоприймальних колодязів на перехрестях вулиць наведено у [2, 5-7, 15].

Проектування поздовжнього профілю водовідведення з вулиці та розрахунок зливого колектора виконується відповідно до вимог [25].

Надземне і наземне прокладання каналізаційних трубопроводів на території населених пунктів допускається лише при перетині глибоких ярів, водостоків і водойм. Повороти на колекторах треба передбачати у колодязях, радіус кривої повороту лотка потрібно приймати не менше діаметра труби; на колекторах діаметром 1200 мм і більше – не менше 5 діаметрів і передбачати оглядові колодязі на початку і в кінці кривої. Довжина приєднання від дощоприймача до оглядового колодязя на колекторі повинна бути не більшою за 40 м, при можливому влаштуванні не більше одного проміжного дощоприймача. Діаметр приєднання визначається за розрахунковим притоком води до дощоприймача при похилі 0,02, і має бути не менше 200 мм.

Розрахункові витрати стічних вод

1. Добові витрати стічних вод мережі К1.

Розрахункове питоме середньодобове (за рік), водовідведення побутових стічних вод, $q_{ж}$, л/добу, на одного жителя приймається за [25] рівним розрахунковому питомому середньодобовому (за рік), водопостачанню за [24] без врахування витрат води на поливання територій та зелених насаджень. Питоме водовідведення, при потребі визначення розрахункових витрат стічних вод від окремих житлових та громадських будівель (зосереджених витрат), приймається за [26].

Розрахункова (середня за рік) добова витрата стічних вод в населеному пункті, м³/добу визначається за [17].

2. Годинні витрати стічних вод мережі К1.

Розрахункові годинні максимальні і мінімальні витрати стічних вод, м³/год - за [17], діленням на 24 год з врахуванням коефіцієнтів добової нерівномірності притоку стічних вод (максимальної та мінімальної) для роботи системи.

3. Секундні витрати стічних вод мережі К1.

Розрахункові секундні витрати стічних вод, л/с, визначаються за [17].

За [17] самотічні лінії, колектори і канали, а також напірні трубопроводи побутових і виробничих стічних вод слід перевіряти на пропуск сумарної розрахункової максимальної витрати і додаткового притоку поверхневих і ґрунтових вод у періоди дощів та сніго-розтавання, що неорганізовано поступає в мережі каналізації через нещільності люків колодязів і інфільтрацію ґрунтових вод.

Перевірний розрахунок самопливних трубопроводів і каналів поперечного перерізу довільної форми на пропуск збільшеної витрати здійснюється при наповненні 0,95 висоти.

Гідравлічний розрахунок головного колектора системи К1 здійснюється за сумарною розрахунковою секундною максимальною витратою стічних вод, її значення визначаються у такому порядку.

За планом визначаються площі, га, зон житлової забудови та кожного їх кварталу. Визначається щільність населення, люд./га, кожної зони житлової забудови:

$$p = N / F,$$

звідки розрахункова кількість жителів у кварталі, люд., кожної зони житлової забудови:

$$N = p * F.$$

Залежно від поверховості забудови, щільність населення у містах та смт орієнтовно становить 50-700 люд./га.

Розрахункова (середня за рік) добова витрата стічних вод в зоні житлової забудови населеного пункту, м³/добу, визначається за [17].

Для виконання гідравлічного розрахунку мережі водовідведення К1 за вимогами [17] потрібно мати розрахункову секундну максимальну витрату стічних вод, л/с.

При розрахунку каналізаційних мереж зручно визначати витрати за модулем стоку, л/(с*га).

Для гідравлічного розрахунку головного колектора мережі К1 визначаються такі витрати:

- секундна максимальна витрата стічних вод з кожного кварталу, л/с;

- сумарна секундна максимальна витрата стічних вод для кожної ділянки головного колектора, л/с;
- розрахункова секундна максимальна витрата стічних вод для кожної ділянки головного колектора, л/с;
- загальна розрахункова секундна максимальна витрата стічних вод для кожної ділянки головного колектора, л/с;

Розрахункові витрати дощових вод мережі К2 q_r , л/с, визначаються за вимогами [17], за методом граничних інтенсивностей:

$$q_r = \frac{z_{mid} A^{1,2} F}{t_r^{1,2n-0,1}},$$

де z_{mid} - середнє значення коефіцієнта, що характеризує поверхню басейна стоку; A та n - параметри, які визначаються за результатами обробки багаторічних спостережень; F - розрахункова площа стоку, га; t_r - розрахункова тривалість дощу, хв.

Розрахункові витрати дощової води q_{cat} , л/с, для гідравлічного розрахунку дощових мереж визначаються за формулою:

$$q_{cat} = \beta q_r,$$

де β - коефіцієнт, що враховує заповнення вільної місткості мережі під час виникнення напірного режиму.

У разі відсутності оброблених даних параметр A можна визначити:

$$A = q_{20} \cdot 20^n \left(1 + \frac{\lg P}{\lg m_r} \right)^\gamma,$$

де взяті з [17]:

q_{20} - інтенсивність дощу, л/с на 1 га, для даної місцевості тривалістю 20 хв при $P = 1$ рік;

n - показник степеня;

m_r - середня кількість дощів за рік;

γ - показник степені.

Період однократного перевищення розрахункової інтенсивності дощу P , рік, - одноразовий проміжок часу, за який може спостерігатися дощ з інтенсивністю, що перевищує розрахункову, P вибирається залежно від характеру об'єкта каналізування, умов розташування

колектора з урахуванням наслідків випадання дощів з перевищенням розрахункових витрат. Значення P приймається за [17] або визначається розрахунком залежно від умов розташування колектора, інтенсивності дощів, площі басейну і коефіцієнта стоку за граничним періодом перевищення.

Розрахункова площа стоку F для розрахункової ділянки мережі приймається рівною усій площі стоку чи для тієї її частини, яка дає максимальну витрату стоку. Для площі стоку колектора 500 га і більше в формули вводиться коефіцієнт K , який враховує нерівномірність випадання дощу по площі [17].

Розрахункова тривалість протікання дощових вод по поверхні і трубах, $xв$, визначається для кожної ділянки колектора відповідно до часу протікання води від найвищої точки басейну до розрахункової ділянки за формулою:

$$t_r = t_{con} + t_{can} + t_p,$$

де t_{con} - тривалість накопичення та протікання дощової води від найбільш віддаленої точки до лотка проїзної частини вулиці або при наявності дощоприймачів у межах кварталу до вуличного колектора (час поверхневої концентрації);

t_{can} - те ж, по вуличних лотках до дощоприймача (при відсутності їх у межах кварталу), $xв$;

t_p - те ж, по трубах до розраховуваного перерізу, $xв$.

Якщо розрахункова тривалість протікання дощової води t_r менша 10 $xв$, то в формулу вводиться поправковий коефіцієнт 0,8 при

$t_r = 5$ $xв$ і 0,9 при $t_r = 7$ $xв$.

У населених пунктах час поверхневої концентрації дощових стоків t_{con} приймається: при відсутності внутріквартальних закритих дощових мереж 5-10 $xв$, при їх наявності - 3-5 $xв$. При розрахунку внутріквартальної дощової мережі час поверхневої концентрації береться 2-3 $xв$.

Тривалість протікання дощової води по вуличних лотках t_{can} , $xв$:

$$t_{can} = 0,021 \sum \frac{l_{can}}{v_{can}},$$

де l_{can} - довжина ділянок лотків, м;

v_{can} - розрахункова швидкість течії на ділянці, м/с.

Тривалість протікання дощової води по трубах до розраховуваного перерізу, хв:

$$t_p = 0,017 \sum \frac{l_p}{v_p},$$

де l_p - довжина розрахункових ділянок колектора, м;

v_p - розрахункова швидкість течії на ділянці, м/с.

Певна частина дощових опадів поглинається ґрунтом, накопичується в понижених місцях, затримується рослинним покривом, залишається у вигляді змоченого шару на водонепроникній поверхні та випаровується. Такі втрати поверхневих стічних вод на водозбірному

майданчику визначаються за допомогою коефіцієнта стоку z_{mid} , який є змінним і залежить від тривалості та інтенсивності дощу, характеру

поверхні території та її похилу. Чисельно z_{mid} рівний відношенню кількості води, яка стікає з поверхневим стоком у водойму (з одиниці площі за одиницю часу) до кількості опадів і поливально-мийних вод, що потрапляють на одиницю площі за одиницю часу:

$$z_{mid} = q_c / q,$$

де q і q_c - витрати атмосферних вод, відповідно, які випали на 1 га і які стекли у дощову мережу з 1 га.

Величину коефіцієнта стоку поливально-мийних вод приймають рівною 0,6, а для зливових і стічних вод – залежно від характеру поверхні водозбірної території: 0,1 – 0,95.

Середнє розрахункове значення коефіцієнта стоку z_{mid} слід визначати як середньозважену величину від розподілу площ басейну між різновидами поверхні:

$$z_{mid} = \sum_{i=1}^n \alpha_i z_i,$$

де α_i - масові коефіцієнти, рівні за величиною відношенню площі під певним видом покриття до загальної водозбірної площі;

z_i - коефіцієнти стоку для різних покриттів, приймаються за [17].

Для зливових вод невеликих міст і селищ $z_i = 0,3-0,4$, а для снігових – 0,5-0,7.

За [17], при розрахунку стоку з басейнів площею понад 50 га з різним характером забудови або з різко відмінними похилами поверхні землі, за розрахункову витрату слід приймати найбільшу. При цьому, розрахункова витрата з частини басейну приймається не меншою від витрат для ділянок колектора, розташованих вище.

Території садів і парків, не обладнані дощовою закритою чи відкритою каналізацією, в розрахунковій величині площі стоку і при визначенні коефіцієнта z не враховуються. Якщо територія має похил поверхні 0,008-0,01 і більше у бік вуличних проїздів, то у розрахункову площу стоку потрібно включати прилеглу до проїзду смугу шириною 50-100 м. Озеленені площі всередині кварталів (смуги бульварів, газони тощо) потрібно включати у розрахункову величину площі стоку і враховувати при визначенні коефіцієнта поверхні басейна стоку z .

Пропускна здатність при великому заглибленні колектора обчислюють з урахуванням напірного режиму. Розрахунки зводять у таблиці.

3. Гідравлічний розрахунок трубопроводів мереж К1, К2, згідно з вимогами [17], має визначити оптимальні розміри трубопроводів, похили та швидкість руху стічних вод, а також відмітки лотка і глибини колодязів. Для гідравлічного розрахунку мереж водовідведення використовуються формули усталеного рівномірного руху:

$$q = vS ;$$

$$i = \frac{\lambda v^2}{8Rg} ,$$

де, q - витрата стічних вод;

S - площа живого перерізу;

v - середня швидкість руху стічних вод;

$i = h_l / l$ - гідравлічний похил, при рівномірному русі рівний геометричному похилу лотка труб;

λ - коефіцієнт гідравлічного тертя (коефіцієнт Дарсі);

R - гідравлічний радіус,

$$R = S / \chi ,$$

тут χ - змочений периметр.

Гідравлічний розрахунок системи водовідведення можна виконати і за формулою Шезі, використовуючи основну залежність, застосовувану при гідравлічному розрахунку відкритих русел:

$$q = Sv = SC\sqrt{Ri} .$$

Тоді, гідравлічний розрахунок самопливних трубопроводів (лотків, каналів), за нормативною методикою [17], виконується на розрахункову максимальну секундну витрату стічних вод за таблицями та графіками, складеними за формулою Шезі:

$$v = C\sqrt{Ri},$$

де v - швидкість руху рідини, м/с;

C - коефіцієнт Шезі, що залежить від гідравлічного радіуса та шорсткості змоченої поверхні трубопроводу чи каналу:

$$C = R^n / n_1,$$

тут

$$n = 2,5\sqrt{n_1} - 0,13 - 0,75R(\sqrt{n_1} - 0,1),$$

n_1 - коефіцієнт шорсткості, для самопливних колекторів круглого перерізу - 0,014; для напірних трубопроводів - 0,013;

R - гідравлічний радіус, м;

i - гідравлічний похил, для самопливних трубопроводів, лотків і каналів визначається за формулою:

$$i = \frac{\lambda v^2}{8Rg},$$

де g - прискорення сили тяжіння, м/с²;

λ - коефіцієнт опору тертя по довжині, визначається за формулою, що враховує різний ступінь турбулентності потоку:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{\Delta}{13,68R} + \frac{a_2}{Re} \right),$$

тут Δ - еквівалентна шорсткість, см;

R - гідравлічний радіус, см;

a_2 - коефіцієнт, що враховує характер шорсткості труб і каналів.

Значення Δ та a_2 для різних матеріалів поверхні приймають за [17].

Число Рейнольдса (тут V - кінематична в'язкість):

$$Re = 4vR/\nu$$

Трубопроводи дощової каналізації слід проектувати на повне розрахункове наповнення $h/d = 1$. Гідравлічний розрахунок мережі К2 аналогічний розрахунку мережі К1.

Гідравлічний розрахунок головного колектора К1.

Приклади визначення розрахункових витрат стічних вод на ділянках головного колектора К1 – у [1, 2]. Для складання поздовжнього профілю головного колектора спочатку за планом місцевості креслиться профіль поверхні землі, відмітки розрахункових точок визначаються з плану в горизонталях інтерполяцією.

Головний колектор розбивається на розрахункові ділянки, для яких визначаються розрахункові витрати.

Усі дані розрахунків витрат на ділянках зводяться у таблицю. При цьому, витрати приймаються залежно від розташування кварталів відносно ділянок колектора: шляхові – від прилеглих кварталів; бокові – притік від прилеглих збоку ділянок; транзитні – від вище розташованих ділянок. Для кожної ділянки колектора визначається сумарна витрата, л/с, розрахункова та загальна розрахункова витрати стічних вод для кожної ділянки головного колектора, л/с.

За відомими для усіх розрахункових ділянок головного колектора відстанями (за планом) та загальними розрахунковими витратами складаються таблиці гідравлічного розрахунку колектора: таблиця до поздовжнього профілю головного колектора (на кресленні профілю) та таблиця у пояснювальній записці. За вже встановленими витратами на ділянках, визначаються розрахунками або підбираються за таблицями [16] діаметри трубопроводів, виконаних з вибраного матеріалу. При цьому повинні забезпечуватись допустимі нормативні значення наповнення, швидкості стоків, похилів трубопроводів.

Тема 5. Системи та схеми опалення, теплопостачання

5.1. Види систем опалення, характеристика теплоносіїв

Одними з основних нормативів для проектування конструкції і роботи систем теплопостачання та опалення є ДБН В.2.5-39:2008 Теплові мережі. [28] та ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування [29].

Системи опалення влаштовують у приміщеннях, враховуючи виробничі, з тривалим перебуванням людей та/або при технологічній потребі підтримування температур. Вибір системи опалення залежить від техніко-економічних, архітектурно-планувальних, кліматичних характеристик будівлі та району її місцезосташування.

Як будівельно-технологічна установка система опалення повинна відповідати таким основним вимогам:

1) санітарно-гігієнічним – забезпечувати потрібні внутрішні температури за нормативними документами із збереженням інших показників мікроклімату приміщень;

2) економічним - економити ресурсозатрати;

3) будівельно-монтажним - узгоджуватися конструктивно з архітектурно-планувальними рішеннями будівлі, забезпечувати зручний монтаж і ремонт системи;

4) експлуатаційним - бути простою і зручною, безпечною, безшумною, надійною, і довговічною, комфортною і сучасною у користуванні та при ремонті;

5) естетичним - вписуватись в інтер'єр приміщення, мати мінімальні розміри і не займати лишніх площ.

Основними частинами системи опалення є наступні:

1. Генератор тепла - виробляє теплову енергію, що віддається теплоносію (воді, парі, повітрю), тобто, це нагрівальний пристрій (топка, пальник, вогнева камера, електронагрівач і т.п.) печі, колонки, котла, установки і т.п.

2. Система трубопроводів - транспортує теплоносій.

3. Опалювальні прилади - передають теплову енергію від теплоносія безпосередньо повітрю та огорожувальним конструкціям опалюваного приміщення.

За характерними ознаками розрізняють такі системи опалення.

1. За радіусом дії:

а) місцеві - генератор тепла, теплопроводи, опалювальні прилади конструктивно об'єднані в одному пристрої, що знаходиться в одному опалюваному приміщенні будівлі (опалювальні печі на твердому, рідкому паливі, електроопалення і т.п.);

б) центральні - від одного генератора тепла опалюються:

- кілька приміщень однієї будівлі: будинкові - від котельні в опалюваній будівлі;

- одна чи кілька будівель (група будівель): районні - від районної котельні для групи будівель;

- мікрорайони, промислові підприємства та цілі населені пункти: централізовані (від теплоелектроцентралі – ТЕЦ).

2. За способом переміщення теплоносія: з природнім збудженням (завдяки різниці тисків між гарячим і холодним теплоносієм); з механічним збудженням (помпою чи водою).

3. За видом теплоносія: водяні, парові, повітряні, комбіновані (з використанням різних теплоносіїв у різних контурах).

Вода має велику густину, 1000 кг/м^3 , і високу питому теплоємність, $4,187 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$, що дозволяє передавати велику кількість тепла при малих її об'ємах.

Широкі межі зміни температури води зручні для регулювання температури поверхонь нагрівальних приладів і трубопроводів відповідно до санітарно-гігієнічних вимог, а також для підтримування рівномірного температурного режиму на протязі опалювального сезону.

З метою зменшення затрат енергії швидкість руху води у системах опалення зазвичай обмежують 1,5 м/с.

Пара, використовувана у системах опалення, має малу густину, 0,6 – 1,6 кг/м³, але вона має велику кількість тепла, яке виділяється у результаті фазового перетворення при конденсації у нагрівальних приладах, 2260-2160 кДж/кг.

Переміщення пари по паропроводах здійснюється зі швидкістю 40-80 м/с, що дозволяє передавати велику кількість тепла на значні відстані при порівняно малих затратах енергії.

Конденсація пари проходить при постійній температурі, що відповідає прийнятному тиску, а це не дозволяє плавно регулювати тепловіддачу приладів і зумовлює потребу у періодичному вимиканні подачі пари, тобто нерівномірність температурного режиму в опалюваному приміщенні.

Висока температура пари обмежує можливість її застосування приміщеннями до яких не висуваються високі санітарно-гігієнічні вимоги. Використання пари з температурою, нижчою за 100 °С потребує підтримання у опалювальних установках вакууму, а це збільшує їх вартість та ускладнює експлуатацію.

Повітря має малу густину, 1,2 – 1 кг/м³, і низьку питому теплоємність, 1 кДж/(кг*К), через що для передавання навіть невеликої кількості тепла потрібне переміщення великих об'ємів повітря; затрати енергії при цьому значно більші, ніж при транспортуванні такої ж кількості тепла за допомогою води чи пари.

Швидкості руху повітря обмежуються 10 – 20 м/с, тому повітропроводи мають більші перерізи і займають більші об'єми, ніж трубопроводи для води і пари. Однак, повітря можна швидко повторно нагріти, що вигідно при одночасному використанні його в установках для опалення і вентиляції приміщення, коли потрібно відновити таку ж кількість тепла, яка видаляється з приміщення технологічними установками.

У місцевих системах може використовуватися опалення: пічне, газове (спалювання газу у нагрівальних приладах), електричне (прилади переносного типу: радіатор, калорифер тощо).

Центральні системи за видом теплоносія бувають: водяного, парового, повітряного, комбінованого опалення. Найпоширеніші – водяні.

У системах парового опалення пара у нагрівальних приладах конденсується і тепло через стінки приладу передається повітрю приміщення. Конденсат повертається у котельню чи ТЕЦ, де знову перетворюється в пару.

У системах повітряного опалення повітря нагрівається безпосередньо в опалюваній будівлі. Воно подається:

а) централізовано (скупченою подачею; по спеціальних каналах);
б) децентралізовано (від окремих агрегатів у різних місцях приміщення).

При централізованій скупченій подачі повітря використовуються великі опалювальні агрегати, що подають повітря з великою швидкістю (у промислових цехах, спортзалах, інших високих великооб'ємних приміщеннях).

Розрізняють первинні та вторинні теплоносії.

Якщо вода, нагріта у котлі, йде безпосередньо у трубопроводі системи опалення, то ця вода є первинним теплоносієм.

Якщо ж вода, нагріта у котлі, циркулює лише у його контурі, від якого вже нагрівається вода системи опалення, то маємо первинний теплоносій (вода, що циркулює у контурі котла) та вторинний теплоносій (вода, що циркулює у контурі системи опалення). Така система називається комбінованою водоводяною (за назвою первинного і вторинного теплоносіїв).

Отже, у комбінованих системах опалення вторинний теплоносій (гаряча вода, повітря) нагрівається від первинного високо-температурного теплоносія (пари, перегрітої води, електроенергії).

До комбінованих систем опалення відносяться водоводяні, пароводяні, усі системи повітряного опалення.

У пароводяних і водоводяних основний теплоносій, вода, підготовлюється у бойлері (теплообмінному апараті). Первинним теплоносієм є: у пароводяних – пара, у водоводяних – перегріта вода.

У приміщеннях з тривалим перебуванням людей (житлові, лікарняні, громадські будівлі) найбільш поширеними є водяні системи опалення, як вигідніші за рядом гігієнічних і експлуатаційних характеристик. У цих приміщеннях з водяними системами можуть використовуватись додатково системи електро-, повітроопалення. Парові і повітряні системи переважно застосовуються у промислових спорудах.

На сьогодні найбільш поширеними є системи опалення: водяного, парового, електроопалення, повітроопалення, газового, менш поширеними - пічного, камінами. З кожним роком набирають поширення комбіновані системи опалення від колектора сонячної енергії і котла, а також з використанням інших відновлюваних природних джерел - вітру, підземних ґрунтів та вод, водойм (ставків, річок), зовнішнього повітря. Для цього використовуються різні конструкції теплових насосів, електросистеми з акумуляторами енергії.

5.2. Теплопостачання міст, промислових підприємств, будівель та споруд

Економія засобів при експлуатації систем централізованого теплопостачання окуплює додаткові витрати на влаштування теплових мереж від джерела теплопостачання до окремих будівель.

На сьогодні котельня може служити джерелом теплопостачання цілих кварталів і промислових майданчиків, що дозволяє знизити витрату палива, зменшити забруднення міст, скоротити чисельність обслуговуючого персоналу, знизити пожежну безпеку і підвищити ККД систем теплопостачання.

Котельні великої потужності (до 200 МВт) споруджують для забезпечення теплом великого комплексу будівель, кількох мікрорайонів чи району міста.

Відносно теплопостачання від котельних малої і середньої потужності, цей вид має ряд переваг: вищий ККД котельної установки, менше питоме забруднення атмосферного повітря, більші можливості механізації і автоматизації, менший штат персоналу.

Особливо вигідним джерелом тепла для централізованого теплопостачання є теплоелектроцентралі, пара яких, використана у турбінах для вироблення електроенергії, нагріває воду в системах опалення або безпосередньо йде на потреби теплопостачання. Теплова енергія у вигляді гарячої води або пари транспортується від ТЕЦ або котельні до споживачів (житлових будинків, громадських будівель і промислових підприємств) по спеціальних трубопроводах – теплових мережах. Траса теплових мереж у містах та інших населених пунктах повинна передбачатись у відведених для інженерних мереж технічних смугах.

Класифікація споживачів теплової енергії за надійністю теплопостачання [28]:

1. Перша категорія - не допускається перерва у подачі теплової енергії та зниження температури повітря в приміщеннях нижче передбаченої вимогами відповідних чинних будівельних норм за видами будинків та споруд: лікарні (операційні, реанімаційні приміщення), пологові будинки, дитячі дошкільні заклади з цілодобовим перебуванням дітей, картинні галереї, хімічні та спеціальні виробництва, шахти та інші, за технічним завданням на проектування.

2. Друга категорія - допускається зниження температури повітря в опалюваних приміщеннях на період ліквідації технологічного пошкодження обладнання, але не більше 50 год:

- житлових до + 12 °С;
- громадських і адміністративно-побутових до +10 °С;

- промислових до + 8 °С.

3. Третя категорія - решта споживачів.

Класифікація систем теплопостачання:

1. За потужністю джерела теплової енергії:

- система автономного теплопостачання - сукупність джерел теплової енергії (теплогенераторів) потужністю менше 1 МВт, розподільних теплових мереж та мереж гарячого водопостачання.

- система децентралізованого теплопостачання - сукупність джерел теплової енергії (місцевих або групових котелень) потужністю не менше 1 МВт та не більше 3 МВт, розподільних теплових мереж гарячого водопостачання.

- система помірно-централізованого теплопостачання – сукупність джерел теплової енергії (квартальних котелень) потужністю не менше 3 МВт і не більше 20 МВт, магістральних та/або розподільних теплових мереж та мереж гарячого водопостачання.

- система централізованого теплопостачання - сукупність джерел теплової енергії (ТЕЦ та районних котелень) потужністю більше 20 МВт, магістральних, розподільних теплових мереж та мереж гарячого водопостачання.

2. За видом теплоносія: паровий; водяний; змішаний.

3. За кількістю паралельно прокладених трубопроводів:

- однотрубні; двотрубні; тритрубні; чотирирубні; багатотрубні.

4. За способом використання теплоносія в системах гарячого водопостачання та забезпечення технологічних потреб. Водяні теплові мережі залежно від способу живлення теплом систем гарячого водопостачання окремих будівель можуть бути:

- закриті (з нагріванням води для гарячого водопостачання у водоводяних підігрівачах, встановлених на вводі теплової мережі у будівлю);

- відкриті (з відбором води для системи гарячого водопостачання безпосередньо з теплової мережі на її ввіді у будівлю).

Класифікація теплових мереж.

1 Магістральна тепла мережа - комплекс трубопроводів (теплопроводів) і споруд, що забезпечують транспортування теплоносія від джерела теплової енергії до теплових пунктів та (або) розподільної теплової мережі.

2. Розподільна тепла мережа - трубопроводи зі спорудами на них, які забезпечують транспортування теплоносія від центрального теплового пункту або магістральної теплової мережі або джерела теплової енергії до теплового вводу споживача.

3. Мережа гарячого водопостачання - комплекс трубопроводів (теплопроводів), обладнання та споруд, що забезпечують подачу

гарячої води від теплового пункту або від джерела теплової енергії до вводу гарячої води споживача.

Тепловий пункт (ТП) - розташований у відособленому приміщенні працездатний комплекс обладнання (пристроїв), який забезпечує приєднання пристроїв цього комплексу до магістральної теплової мережі та (за потреби) мережі холодного водопостачання, керування режимами теплоспоживання, трансформацію теплової енергії, регулювання параметрів теплоносія й розподіл теплової енергії за типами споживання (включно з підігрівом води) у розподільні мережі (опалення, гарячого водопостачання) та захист цих розподільних мереж від аварійного підвищення параметрів теплоносія.

Класифікація теплових пунктів:

1. Індивідуальний тепловий пункт (ІТП) - для обслуговування одного споживача (будинку або його частин).

2. Центральний тепловий пункт (ЦТП) - для обслуговування групи споживачів (будинків, промислових об'єктів).

Згідно [28], схема теплопостачання - передпроектний документ, у якому обґрунтовується економічна доцільність і господарська необхідність проектування й будівництва нових, розширення й реконструкції існуючих джерел теплової енергії і теплових мереж.

Схема теплопостачання затверджується місцевими органами виконавчої влади у встановленому порядку, періодичність її перегляду - п'ять років.

При розробленні схеми теплопостачання визначають потребу в тепловій енергії:

- для існуючої забудови населеного пункту та діючих промислових підприємств і організацій;
- для перспективної забудови житлових районів;
- для нового будівництва промислових підприємств.

Потребу в тепловій енергії визначають за видами теплоспоживання: на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання, технологічні потреби.

Вимоги до розроблення схем та систем теплопостачання міста (району) наведено у [28].

Класифікація схем теплових мереж за розташуванням джерел тепла та споживачів:

- радіальні – з радіальним прокладенням магістралей від джерела тепла до районів розташування споживачів. Такі мережі прості і дешеві, але у випадку аварії не можуть забезпечити живлення частини обслуговуваних ними абонентів;

- кільцеві – з прокладанням у район споживачів від джерела тепла двох магістралей, з'єднаних між собою в районі розташування споживачів. При такій схемі у кожному з двох віток мережі теплоносій

може поступати з двох сторін, що досить важливо у випадку аварії, коли одна з ділянок мережі вимикається. Враховуючи, що система за такою схемою є дорожчою від радіальної, вона застосовується у випадках, коли не допускається навіть короточасна перерва у подаванні води абонентам.

Системи опалення можуть приєднуватися до водяних тепломереж безпосередньо, а також через гідроелеватори або теплообмінники. На сьогодні гідроелеватори заборонені нормативами до використання у системах централізованого опалення будівель, оскільки не відповідають вимогам з ресурсозбереження та енергоефективності.

Теплопроводи повинні бути довговічні і надійні в роботі. Тому, при прокладанні потрібно забезпечити їх захист від корозії, добру теплоізоляцію, відсутність виникнення великих механічних напружень.

Прокладають теплопроводи підземним або надземним способом.

Підземне прокладання виконується у прохідних, напівпрохідних (доступних для обслуговування) і непрохідних каналах або без каналів (безканальне прокладання).

Тепломережі можна прокладати і в загальних колекторах разом з іншими комунікаціями, а також у технічних коридорах підвалів і технічних підпіллях будівель.

Надземне прокладання застосовується у випадках, коли важко здійснити підземне прокладання: при високому стоянні ґрунтових вод, над болотом чи рікою, над вічномерзлими ґрунтами, над яром. Також, надземне прокладання часто застосовується на територіях промислових підприємств, при спорудженні теплових мереж за межами міста. Тоді труби прокладають на естакадах, щоглах, низьких опорах, під мостами, по стінах будівель ззовні або всередині них.

Безканальний спосіб прокладання найдешевший.

Найчастіше застосовують прокладання у непрохідних каналах, виконаних переважно із залізобетону.

У містах доцільніше прокладання теплопроводів у прохідних каналах разом з іншими комунікаціями.

Якість води для підживлення теплових мереж відкритих та закритих систем тепlopостачання - згідно з вимогами ГКД 34.20.507. Для закритих систем тепlopостачання за наявності термічної деаерації допускається використання технічної води.

Максимальна температура мережної води, що повертається до котельних установок, як правило, 70 °С з урахуванням технічної характеристики котлів. ТП повинні забезпечувати температуру води у розподільних мережах від теплообмінника ТП до теплового вводу житлових будинків споживачів не більше 80 °С. Збільшення температури води у розподільних мережах від теплообмінника ТП до

теплого вводу житлових будинків споживачів допускається за наявності затвердженого ТЕО [28].

При прокладанні теплопроводів для сприйняття температурних подовжень застосовують компенсатори або природні повороти труб.

Регулювання систем теплопостачання здійснюється для приведення у відповідність режимів теплоспоживання та режимів виробництва теплоти.

Центральне регулювання виконують на ТЕЦ або в котельні за переважним тепловим навантаженням, яке характерне для більшості споживачів.

Групове регулювання здійснюється в центральних теплових пунктах (ЦТП) для групи однорідних споживачів. В ЦТП підтримується потрібна температура та витрата теплоносія, який подається в розподільні або внутрішньоквартальні тепломережі.

Місцеве регулювання передбачається в індивідуальних теплових пунктах (ІТП) для додаткового корегування параметрів теплоносія з врахуванням місцевих факторів.

Індивідуальне регулювання здійснюється безпосередньо біля пристроїв, які споживають теплоту.

Теплонавантаження споживачів сучасних систем теплопостачання неоднорідне не тільки за характером теплоспоживання, а і за параметрами теплоносія. Тому центральне регулювання відпуску теплоти доповнюється груповим, місцевим та індивідуальним і називається комбінованим регулюванням.

Комбіноване регулювання забезпечує найбільш повну відповідність між відпуском теплоти та фактичним теплоспоживанням.

За способом здійснення регулювання буває ручним та автоматичним.

Методи регулювання теплового навантаження:

- шляхом зміни температури теплоносія – якісне регулювання;
- шляхом зміни витрати теплоносія – кількісне регулювання;
- шляхом періодичного відключення систем - переривчасте регулювання;
- шляхом зміни поверхні теплообміну підігрівача.

Якісне регулювання здійснюється шляхом зміни температури при постійній витраті теплоносія, це найбільш розповсюджений вид центрального регулювання в водяних тепломережах.

Кількісне регулювання відпуску теплоти виконується шляхом зміни витрати теплоносія при його постійній температурі в подавальному трубопроводі.

Якісно-кількісне регулювання здійснюється шляхом сумісної одночасної зміни температури теплоносія в подавальному

трубопроводі на джерелі теплоти та витрати теплоносія в теплових пунктах або витрати повітря у калориферах.

Переривчасте регулювання (перепустками) досягається періодичним відключенням системи тепlopостачання, тобто пропусканням теплоти частками.

Центральне регулювання перепустками можливе тільки в теплових мережах з однорідним теплоспоживанням, яке допускає одночасні перерви в подачі теплоти.

В парових системах тепlopостачання якісне регулювання неможливе, тому що зміна температур пари потребує значної зміни тисків.

Центральне регулювання парових систем виконується кількісним або переривчастим методом та доповнюється місцевим або індивідуальним кількісним регулюванням.

Режим регулювання водяних систем тепlopостачання залежить від багатьох факторів, в основному від виду теплового навантаження та схеми теплових пунктів.

При однорідному тепловому навантаженні можливо обмежитись тільки центральним регулюванням.

Центральне регулювання теплового навантаження опалення використовують у системах тепlopостачання з децентралізованим гарячим водопостачанням, в таких системах опалення є основним тепловим навантаженням. Тоді центральне регулювання здійснюється за теплоспоживанням на опалення будівель за різних температур зовнішнього повітря.

При різnorідному тепловому навантаженні (вимогах) споживачів, які підключені до однієї теплової мережі, потрібно змінювати центральне регулювання в різних діапазонах опалювального сезону, тобто – використовувати комбіноване регулювання.

Розрізняють також режими регулювання подачі тепла від тепломереж:

- центральне - на ТЕЦ, в районній котельні, котельні на підприємстві, тобто в центрі приготування тепла;
- місцеве – на тепловому пункті (ТП, ІТП будівлі);
- індивідуальне – біля кожного опалювального приладу.

Індивідуальне регулювання – найбільш енергоефективніше, але і найдорожче бо вимагає затрат на пристрої автоматики регулювання тепла.

Для житлової забудови основними тепловими навантаженнями на тепломережі є: опалювальне, на гаряче водопостачання, вентиляційне.

Режим центрального якісного регулювання розробляється за характерним (найбільшим) тепловим навантаженням. У решті

споживачів, із навантаженням, відмінним від характерного, здійснюється дорегулювання за допомогою місцевого чи індивідуального регулювання.

Режим центрального якісного регулювання тепломереж житлової зони розробляється зазвичай за опалювальним навантаженням (оскільки воно найбільше) із урахуванням навантаження гарячого водопостачання. Відповідно, для промислових підприємств найчастіше – за вентиляційним навантаженням.

Для розробки режиму центрального якісного регулювання будується графік температур теплоносія в залежності від температур зовнішнього повітря та сумарний графік годинної витрати тепла [28, 34-35, 41], за якими визначаються розрахункові витрати теплоносія.

Теплові мережі не повинні проходити по території цвинтарів, смітників, скотомогильників, місць поховання радіоактивних відходів, землеробних полів зрошування, полів фільтрації та інших ділянок, що представляють загрозу хімічного, біологічного та радіоактивного забруднення теплоносія; не повинні проходити через території дитячих ігрових і спортивних майданчиків та пішохідні доріжки і садово-паркову зону лікувальних закладів [28]. Також, діють обмеження на прокладання тепломереж біля та по будівлях та спорудах [28].

5.3. Конструювання систем опалення

Основні конструктивні елементи та класифікаційні ознаки систем опалення розглядалися у попередній лекції. Тому, розглянемо детальніше правила конструювання систем опалення будівель, які ґрунтуються на їх основних класифікаційних ознаках, що наведені нижче. Отже, розрізняють системи опалення будівель та споруд:

- за радіусом дії: місцеві; центральні;
- за видом теплоносія: водяні; парові; повітряні; комбіновані;
- за циркуляцією теплоносія у циркуляційних кільцях:
 - природньою; примусовою;
- за схемою: однотрубні; двотрубні;
- за розташуванням внутрішніх гарячих магістралей:
 - з верхнім і нижнім розведенням; горизонтальні і вертикальні;
- за напрямком руху води в подавальній і зворотній магістралях:
 - тупикові; з супутнім рухом теплоносія;
- за видом переважаючої тепловіддачі опалювальних приладів:
 - конвективні (конвекцією); променеві (випромінюванням);
- за способом розташування опалювальних приладів:
 - зовнішнє (біля стін, підвіконників і т.п.);
 - внутрішнє (підлогове, стінове, панельне).;
- за способом прокладання трубопроводів:

- відкритого прокладання (по поверхням стін та інших огорожувальних конструкціях);

- схованого прокладання (в стінах, підлозі, перекриттях).

Пристрої для перекриття стояків (вентилі, засувки, крани та ін.) встановлюються у верхній та нижній частині стояка, для можливості його відключення при ремонті, запуску системи.

Арматура для енергоефективного регулювання роботи системи опалення є обов'язковою, згідно [29] встановлюється на магістралях, стояках, опалювальних приладах. Генератор тепла (котел) обов'язково приєднується до системи через арматуру, для можливості його відключення. В нижній частині системи передбачається арматура для зливання теплоносія з системи.

Розширювальний бак (у системах з природньою циркуляцією) встановлюється над котлом.

Для запобігання сирості стін стояки бажано прокладати в утворених зовнішніми стінами кутах або якнайближче до них.

Проходи труб через стіни, перекриття і перегородки виконують у металевих гільзах із зазором для врахування зміни розмірів труб (довжини, діаметра) від коливань температури води. У будівельних конструкціях (отворах і борознах) трубопроводи розташовують за рекомендаціями [29].

Нормативні вимоги до прокладання трубопроводів систем опалення та розташування опалювальних приладів наведено у [29]. На планах системи опалення вказуються прив'язки осей трубопроводів до перекриттів, стін і колон будівлі для визначення довжин трубопроводів при гідравлічному розрахунку та для виконання монтажних робіт.

У пояснювальній записці до проєкту системи опалення вказується назва елементів системи (трубопроводів, приладів, арматури, обладнання) за відповідними ДСТУ.

При конструюванні системи у ній поєднуються такі матеріали (труб, приладів, арматури тощо), які не пришвидшують корозії елементів або, принаймні, зменшують її прогресування. Так, узгоджуються сталь-чавун, пластмаса-метал. Безпосередній контакт міді як каталізатора електрохімічної корозії зі сталлю, цинком усувається (для значного зменшення швидкості корозії) ізолюючими прокладками, бронзовими чи латунними перехідниками. Мідь з алюмінієм навіть в одній системі вважаються небажаними.

При прокладанні подавальних і зворотних магістралей ухили трубопроводів направляються у бік водопрпускних, а підйоми - у бік повітровидальних пристроїв.

Подавальна магістраль на горищі прокладається на відстані ≥ 1 м від внутрішньої поверхні стін, а зворотня - на відстані ≥ 110 мм від стін підвалу чи підпільного каналу.

Відкриті ділянки трубопроводів у неопалюваних приміщеннях (горищі, підвалі) теплоізолюються. Для забезпечення енергозбереження при роботі системи, трубопроводи з арматурою повинні утеплюватись згідно вимог [29].

Повітрозбирачі в системах з примусовою циркуляцією води встановлюють, як правило, у найвищих точках системи.

У системах з нижнім розведенням для виведення повітря також використовують повітряні крани у верхніх нагрівальних приладах, спеціальну повітровідвідну систему. Горизонтальні розвідні магістральні трубопроводи (гарячої, охолодженої води) прокладають з підйомом (похил 0,002-0,005) до крайніх стояків (останніх за напрямком руху гарячої води). В системах з природною циркуляцією води похил збільшується до 0,005-0,01. Трубопроводи діаметром >50 мм у системах з примусовою циркуляцією допускається прокладати горизонтально без похилу.

При монтажі стояків центрального опалення двотрубних систем подавальний стояк завжди монтуєть справа від зворотнього (при погляді на них з боку приміщення), зазвичай на відстані 80 ± 5 мм.

Компенсатори лінійних подовжень бажано встановлювати на горизонтальних ділянках трубопроводів.

5.4. Особливості використання водяних систем опалення

Системи водяного опалення є найбільш поширеними у будівлях, враховуючи житлові будинки. Нижче викладені загальні рекомендації до конструювання цих систем з урахуванням їх переваг та недоліків.

Техніко-економічні показники систем водяного, парового, пічного, повітряного опалення детально викладено у [34-41, 46, 47].

Системи з природною циркуляцією можуть використовуватись у будинках невеликих розмірів, з радіусом дії до 30 м, з висотою розташування середини найнижчого опалювального приладу відносно середини котла не меншою 3 м. У внутрішньоквартирній системі прилад і котел допускається розташовувати на одному рівні, завдяки сильнішому охолодженню води у трубопроводах.

Як правило, використовують системи з примусовою (штучною) циркуляцією, які завдяки створюваному насосом великому циркуляційному тиску мають значно менші діаметри труб (у 3...4 рази) і більші радіуси дії.

У сучасних будівлях переважають вертикальні системи з примусовою (штучною) циркуляцією води.

Вибір верхнього чи нижнього розведення гарячих магістралей залежить від наявності, планувально-об'ємних та теплоізоляційних характеристик підвалу, горища будівлі, її розмірів та форми (кількості поверхів, співвідношення висоти, довжини та ширини), призначення (готель, гуртожиток, житловий будинок, цех, склад і т.д.). У більшості випадків перевага надається нижньому розведенню.

В системах з примусовою циркуляцією доцільніше застосовувати попутний рух гарячої і охолодженої води. Такі системи у порівнянні з тупиковими мають дещо більшу загальну довжину трубопроводів, але краще врівноважені циркуляційні кільця і відповідно рівномірніше прогрівання усіх приладів.

Добрі техніко-економічні показники у однотрубних систем (біля 5,..13 % економії на довжині, масі труб та на трудозатратах монтажу у порівнянні з двотрубними). В експлуатації вони гідравлічно стійкі. Рекомендується використовувати у будівлях більше 3-ох поверхів.

Двотрубні системи з верхнім розведенням рекомендується використовувати у будівлях до трьох поверхів включно, з нижнім розведенням – для вищих будівель.

Двотрубні системи забезпечують подачу води однакової температури до приладів на кожному поверсі без попереднього регулювання потоку кранами (необхідного у однотрубних системах). У зв'язку з цим, їх вигідно експлуатувати при потребі поквартирного обліку тепла системи (встановлення теплових лічильників), в тому числі у перспективі реконструкції існуючих систем. Розрахункова поверхня приладів даної системи виходить дещо меншою, ніж у однотрубній системі,

Двотрубні системи з нижнім розведенням гідравлічно стійкіші від двотрубних з верхнім розведенням.

Серед найбільш індустріально і економічно вигідних є однотрубні системи з нижнім розведенням з одностороннім приєднанням приладів і з триходовими кранами. Однак, не завжди враховуються нормативні вимоги комфорту: при індустріальній технології конструювання (тобто, з максимальною уніфікацією вузлів та деталей для швидкого монтажу, ремонту системи) вертикальні стояки прокладаються на відстані 150 мм від краю віконного проміжку зі стандартною довжиною 350 мм відгалужень (підведень) до нагрівальних приладів. Нагрівальні прилади зміщують від осі вікна у бік стояка.

Для рівномірного обігріву холодного повітря, що поступає від вікон, довжина приладів під вікнами згідно [29] повинна бути не менше 75 % довжини підвіконника.

Сучасні пристрої енергоефективного регулювання систем опалення [40] дозволяють економити теплоенергію, однак здорожчують вартість, монтаж та експлуатацію цих систем.

Тема 6. Проектний розрахунок систем опалення, теплопостачання

6.1. Тепловий баланс приміщень

Основні параметри мікроклімату приміщень нормуються нормативами з опалення та вентиляції, а також санітарно-гігієнічними правилами та нормами. Основним при проектуванні систем опалення та вентиляції будівель та споруд є ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування [29].

Мікроклімат приміщення - умови внутрішнього середовища приміщення, що впливають на тепловий обмін людини з оточенням шляхом конвекції, кондукції (теплопередачі), теплового випромінювання та випаровування вологи; ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури оточуючих людину поверхонь та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінення [29].

Детальніше про значення параметрів мікроклімату для комфортних зон – у нормативі [29], навчальній та науковій літературі [34-41 та ін.]. Їх називають розрахункові внутрішні умови: оптимальні і допустимі. Причому, оптимальні умови повинні забезпечуватись в усій робочій зоні (об'ємі) на висоті до 2 м від рівня підлоги.

Згідно [29] розрізняють такі мікрокліматичні умови (умови мікроклімату):

- оптимальні - поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину забезпечують зберігання нормального теплового стану організму без активізації механізмів терморегуляції; вони створюють відчуття теплового комфорту та забезпечують передумови для високого рівня працездатності;

- підвищені оптимальні - оптимальні мікрокліматичні умови в приміщеннях з дуже чутливими та слабкими людьми з особливими потребами, такими як: інваліди, хворі, маленькі діти та люди похилого віку;

- допустимі - поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються, але супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації; при цьому не виникає ушкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні теплові відчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності;

- обмежено допустимі - допустимі мікрокліматичні умови у приміщеннях будівель з обмеженим використанням упродовж року (менше чотирьох місяців підряд упродовж року).

Мікроклімат приміщень повинен забезпечувати відповідні умови і вимоги, що залежать від призначення приміщень:

1) для громадських і житлових, виробничих приміщень, де перебувають, працюють або проживають люди – це комфортні умови;

2) для промислових приміщень – це, також, умови виконання технологічного процесу;

3) для сільськогосподарських підприємств – умови відповідно до специфіки виробництва (інкубатори, зерносховища, ферми, теплиці тощо).

У приміщеннях будь-якого призначення, як правило, є не лише тепловтрати, але й джерела тепlopоступання.

Тепло у приміщення поступає від людей, технологічного обладнання і комунікацій, нагрітих матеріалів, напівфабрикатів та виробів, штучного освітлення та електродвигунів, від безпосереднього спалювання палива, внаслідок сонячної радіації тощо.

Тепловтрати в приміщеннях у холодну пору року відбуваються через огорожувальні конструкції, ворота, вікна, двері та завдяки негерметичності конструкцій. Випаровування вологи з відкритих водних або зволжених поверхонь супроводжується втратами тепла, через що температура внутрішнього повітря у приміщенні знижується.

Надлишок тепла, виробленого людським організмом, випромінюється у навколишнє середовище. Порушення теплового балансу людини погіршує її самопочуття і працездатність. У спокійному стані доросла людина виробляє і віддає у навколишнє середовище 90–120 Вт, при легкій роботі – до 250 Вт, при важкій – до 500 Вт, при максимально можливих короткочасних навантаженнях – до 1000 Вт.

Комфортність середовища приміщення для людини забезпечується поєднанням таких нормативних показників мікроклімату як розрахункова температура внутрішнього повітря приміщення (на висоті 1,5 м від підлоги, на відстані не менше 1 м від внутрішніх поверхонь зовнішніх стін), вологість та швидкість руху внутрішнього повітря приміщення, а також температура внутрішніх поверхонь огорожень.

Температура зовнішнього повітря не є постійною. Вона має закономірні річні, місячні, добові коливання, які для кожного географічного району визначаються за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія [27].

Вологість та швидкість руху внутрішнього повітря приміщення мало змінюються, тому основна увага – на розрахункову температуру

внутрішнього повітря приміщення, температуру внутрішніх поверхонь огорожень.

При розрахунках слід враховувати відхилення у різних місцях приміщення (особливо по висоті) значень температур від розрахункової температури внутрішнього повітря приміщення (градієнт температури доходить до кількох градусів на 1 м висоти приміщення).

Складний теплообмін – це процес перенесення тепла, який розкладається на три основних види, що, як правило, проходять одночасно:

а) теплопровідність (кондукція) – перенесення тепла при безпосередньому контакті частинок речовини, що супроводжується обміном енергії і їх тепловим рухом. Теплопровідність рідких і особливо газоподібних тіл незначна. Тверді тіла мають різну теплопровідність. Тіла з малою теплопровідністю називають теплоізоляційними;

б) конвекція – це процес перенесення тепла шляхом переміщення і змішування частинок рідини або газу. Конвекція завжди супроводжується теплопровідністю. При природній конвекції (змішування, зумовлене різницею густин) нагріті об'єми теплоносія піднімаються, а охолоджені – опускаються. Наприклад, повітря, нагріте від нагрівального приладу системи опалення, піднімається вгору, розповсюджуючись по приміщенні та передаючи тепло у інші частини приміщення. Примусова конвекція забезпечується помпами, вентиляторами, ежекторами, що інтенсифікують процес теплообміну;

в) теплове випромінювання – перенесення тепла від тіла до тіла електромагнітними хвилями, що рухаються в усіх напрямках від поверхні тіла. Ця променева енергія може частково поглинатись тілами, перетворюючись знову у тепло (підвищуючи їх температуру).

6.2. Теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій будівлі

Даний розрахунок виконується для визначення і вибору мінімально можливої товщини огорожувальних конструкцій будівлі, що відповідає теплотехнічним, санітарно-гігієнічним, естетичним, техніко-економічним вимогам при забезпеченні міцності відповідних конструктивних елементів (огорожувальних чи огорожувально-несучих) будівлі. Нижче наведено розгляд питань методики теплотехнічного розрахунку на основі діючих нормативних вимог, у зв'язку з проектуванням систем опалення та вентиляції.

Основним для теплотехнічного розрахунку огорожувальних конструкцій будівлі є норматив ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель [26]).

6.2.1. Визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій.

Теплоізоляційна оболонка будинку - система огорожувальних конструкцій будинку, що забезпечує збереження теплоти для опалення приміщень.

Непрозорі конструкції - ділянки теплоізоляційної оболонки будинку (стіни, покриття, перекриття тощо), до складу яких входить один і більше шарів матеріалів, що не пропускають видиме світло.

Світлопрозорі конструкції - ділянки теплоізоляційної оболонки будинку (вікна, балконні та вхідні двері, вітражі, фасадні системи, вітрини, ліхтарі тощо), що пропускають видиме світло.

Опір теплопередачі - величина, що визначає здатність конструкції чинити опір тепловому потоку, що через неї проходить, та є зворотньою до коефіцієнту теплопередачі.

Коефіцієнт теплопередачі - коефіцієнт, що визначає кількість теплоти, що передається через одиницю площі (m^2) конструкції за одиницю часу при різниці температур середовищ, що їх розділяє конструкція, яка дорівнює 1 К.

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розділяють приміщення, температури повітря в яких відрізняються на 4 °С та більше, обов'язкове виконання умов [26]:

$$R_{\Sigma \text{ пр}} \geq R_{q \text{ min}}, \quad (6.2.1)$$

$$\Delta \Theta_{\text{int-si}} \leq \Delta \Theta_{\text{int-si,max}}, \quad (6.2.2)$$

$$\Theta_{\text{tb,si,min}} > \Theta_{\text{si,min}} \quad (6.2.3)$$

де $R_{\Sigma \text{ пр}}$ – приведений опір теплопередачі огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot K/Вт$;

$R_{q \text{ min}}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot K/Вт$. Визначається за табл. 1 або табл. 2 [26] залежно від температурної зони експлуатації будівлі за дод. А [26];

$\Delta \Theta_{\text{int-si}}$ – різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С;

$\Delta \Theta_{\text{int-si,max}}$ – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С. Встановлюється залежно від призначення будівлі і виду огорожувальної конструкції згідно з табл. 3 [26];

$\Theta_{\text{tb,si,min}}$ – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, °С, визначається на підставі розрахунків двовірних або тримірних температурних полів;

$\Theta_{si,min}$ – мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього й зовнішнього повітря, °С. Цей показник встановлюється окремо для непрозорих і світлопрозорих частин огорожувальних конструкцій. Його значення повинно бути не менше ніж температура точки роси.

Теплова інерція огорожувальних конструкцій, D , визначається за ДСТУ-Н Б В.2.6-190, зокрема:

$$D = \frac{\delta_1}{\lambda_1} s_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} s_2 + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} s_n = \sum (R_i s_{ip}), \quad (6.2.4)$$

де R_i – термічний опір i -го шару конструкції, за формулою:

$$R_i = \delta_i / \lambda_p \quad (6.2.5)$$

де δ_i – товщина i -го шару конструкції, м;

λ_p – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м·К). Приймається за даними табл. А.1 ДСТУ Б В.2.6-189:2013 або за даними випробувань згідно нормативної методики;

s_p – коефіцієнт теплосасвоєння матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м²·К). Приймається за даними табл. А.1 ДСТУ Б В.2.6-189:2013 або за даними випробувань згідно нормативної методики;

n – кількість шарів в конструкції за напрямком теплового потоку.

Формула (6.2.4) наведена для багатошарової конструкції, що складається з однорідних шарів. Якщо шари складаються з різних матеріалів, то для конструкції чи її частини, що розраховується, треба враховувати середні термічні опори в межах товщини δ_i за вимогами [26].

Приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції визначається за формулою:

$$R_{\Sigma \text{ оп}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^I \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^J k_j L_j + \sum_{k=1}^K \psi_k N_k} \quad (6.2.6)$$

де F_{Σ} - загальна площа огорожувальної конструкції, м²;

F_i - площа i -ої термічно однорідної частини конструкції, м²;

k_j – лінійний коефіцієнт теплопередачі j -го лінійного теплопровідного включення, Вт/(м × К);

L_j – лінійний розмір (проекція) j -го лінійного теплопровідного включення, м;

ψ_k – точковий коефіцієнт теплопередачі k -го точкового теплопровідного включення, Вт/К;

N_k – загальна кількість k -х точкових теплопровідних включень, шт.

$R_{\Sigma i}$ – опір теплопередачі i -ої термічно неоднорідної частини конструкції, (м²хК)/Вт, за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}} \quad (6.2.7)$$

де $\alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{з}}$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальних конструкцій, Вт/(м² х К);

R_i – опір теплопередачі i -го шару конструкції, (м²хК)/Вт;

δ_i – товщина i -го шару конструкції, м;

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м * К);

n – кількість шарів огорожувальної конструкції.

6.2.2. Тепловологісний режим огорожувальних конструкцій.

Згідно нормативних вимог у приміщеннях громадських будівель і більшості промислових приміщень не допускається конденсація водяної пари на внутрішніх поверхнях огорожувальних конструкцій та накопичення вологи всередині них.

Вологісний режим приміщень вибирається за відносною вологістю їх внутрішнього повітря, за ДБН В.2.6-31:2021 [26].

Водяна пара конденсується на поверхні, що має температуру, нижчу від точки роси – критичної температури охолодження повітря при постійній вологості, t_p .

Для уникнення конденсації потрібно щоб $\tau_e > t_p$ (для температури τ_e на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції) та $\tau_x > t_p$ (для температури τ_x всередині огорожувальної конструкції в точці X).

Якщо умова не забезпечується, то збільшують термічний опір (потовщують стіну, використовують кращий теплоізоляційний будівельний матеріал).

Теплове навантаження системи опалення слід визначати згідно з ДСТУ Б EN 12831 [31].

6.2.3. Розрахунок тепловтрат приміщень.

Даний розрахунок полягає у визначенні тепловтрат через прозорі та непрозорі огорожувальні конструкції будівлі, яке виконується для кожного приміщення будівлі, згідно вимог [26]. Далі, сумуються тепловтрати усіх приміщень, для визначення тепловтрат будівлі. Розрахунки зручно виконувати у табличній формі [1 та ін.].

Тепловтрати кожного приміщення є вихідними даними до вибору потужності опалювальних приладів цього приміщення.

Для орієнтовного попереднього розрахунку тепловтрат житлової будівлі (для попередньої оцінки тепловтрат з метою підбору

трубопроводів, обладнання та генератора тепла системи опалення) можна приймати розмір тепловтрат в межах 50-100 кВт/м² опалюваної площі.

Загальні тепловтрати будівлі, отримані при розрахунку системи опалення, не повинні перевищувати допустимих за розрахунком енергоефективності будівлі, визначених для заданого класу енергетичної ефективності будівлі за питомою енергопотребною [26].

6.3. Розрахунок систем опалення

Основним нормативним документом при проектуванні систем опалення будівель та споруд є ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування [29].

Згідно [29] опалення - штучне нагрівання приміщення в опалювальний період року для компенсації тепловтрат та підтримання нормованої температури із середньою незабезпеченістю 50 год/рік.

Система чергового опалення – система (окрема система або режим використання основної системи) для опалення будівлі (приміщення) у неробочий час або під час перерв у використанні приміщень [29].

Система опалення комбінована - система, що складається з постійно діючої фонові системи опалення для часткового обігрівання та періодично працюючої догрівуючої системи у робочий час [29].

Розрахунок системи опалення починається з визначення тепловтрат через огорожувальні конструкції, який виконується за даними проведеного теплотехнічного розрахунку огорожувальних конструкцій.

Розрахунок тепловтрат приміщень будівлі виконується з метою їх компенсації при опаленні будівлі. Його результати використовуються при проектуванні (виборі, конструюванні, розрахунку) системи опалення кожного спалюваного приміщення і будівлі загалом.

Теплове навантаження системи опалення визначається згідно з ДСТУ EN 12831-1:2017 [31]. Даний метод розрахунку проектного теплового навантаження включає визначення тепловтрат опалюваними приміщеннями: трансмісійних - через огорожувальні будівельні конструкції; вентиляційних - на нагрівання інфільтраційного повітря. А при періодичному режимі роботи системи опалення також додається ще одна складова теплового навантаження - компенсаційна тепла потужність в опалюваних приміщеннях.

Для обґрунтованого вибору системи опалення будівлі слід мати дані про тепловтрати кожного опалюваного приміщення та про загальні тепловтрати будівлі, без побутових чи виробничих тепловиділень.

Основні принципи гідравлічного розрахунку теплопроводів систем опалення будівель наведено нижче.

Найпоширенішою основною та рекомендованою [29] системою опалення будівель, особливо житлових будинків, є водяна (рідше – парова, повітряна, пічна).

Поряд з основною можуть застосовуватись системи електро-, паро-, повітроопалення, як додаткові. Нижче наведено методику гідравлічного розрахунку трубопроводів систем водяного опалення. Цей розрахунок виконується після підбору і розрахунку опалювальних приладів. Аналогічними є методи розрахунку паро- та конденсатопроводів систем парового опалення [34, 35, 41].

Для вибраної системи опалення будівлі виконуються проектно-розрахункові роботи, із зведенням основних результатів у таблицю гідравлічного розрахунку трубопроводів та викреслюванням аксонометричної схеми системи опалення, за такою послідовністю.

1. На викреслених планах поверхів розташовуються опалювальні прилади, стояки, магістральні трубопроводи, розширювальний бак (в системах з природною циркуляцією), тепловий пункт (котел з обв'язкою).

2. Викреслюється розрахункова аксонометрична схема трубопроводів системи опалення (як правило, в масштабі планів).

На планах і на аксонометричній схемі (схемах) умовно позначаються усі конструктивні елементи та параметри.

3. На аксонометричній схемі вказуються теплові навантаження на кожен прилад. Теплове навантаження на стояк визначається як сума навантажень на прилади цього стояка.

4. Вибирається головне циркуляційне кільце системи (ГЦК) - з найменшим наявним циркуляційним тиском на 1 м довжини трубопроводу (гідравлічно найневигідніше), для цього кільця виконується умова:

$$\frac{\Delta p_p}{\sum l} \rightarrow \min; \begin{cases} \Delta p_p \rightarrow \min; \\ \sum l \rightarrow \max; \end{cases} \quad (6.3.1)$$

де Δp_p , Па - наявний циркуляційний тиск кільця;

$\sum l$, м - довжина кільця.

Як правило, в тупикових схемах однотрубних систем ГЦК проходить через найвіддаленіший стояк, через нижній прилад такого стояка – у тупикових схемах двотрубних систем.

Для схем з попутнім рухом теплоносія ГЦК проходить через один із середніх з найбільшим тепловим навантаженням стояків – у однотрубних системах; через нижній прилад такого стояка – у двотрубних системах.

Наведені правила вибору ГЦК справедливі для систем опалення із природною та примусовою циркуляцією,

5. ГЦК розбивається на розрахункові ділянки. Це частини трубопроводу системи з незмінними значеннями витрати теплоносія і діаметру труби. Для кожної ділянки визначається: порядковий номер; теплове навантаження; довжина ділянки.

6. Витрата води, що протікає по розрахунковій ділянці:

$$G = \frac{Q}{c(t_2 - t_0)} \quad \frac{кг}{с} \quad (6.3.2)$$

де Q, Вт - теплове навантаження ділянки;

$t_2 - t_0$, °С - перепад температур гарячого і охолодженого теплоносія в системі опалення; с, Дж / (кг К) – теплоємність теплоносія. Для води: $c=4187 \approx 4190$ Дж / (кг К).

У розрахункових таблицях записуються витрати води на ділянках у кг/год, тому розрахунки виконуються за формулою:

$$G = \frac{3,6Q}{4,19(t_2 - t_0)} = \frac{Q}{1,16(t_2 - t_0)}, \quad \frac{кг}{год} \quad (6.3.3)$$

де 3,6 - перевідний коефіцієнт з Вт у кДж.

Для орієнтовного переведення, при потребі, витрати G з кг у м³ отримане значення можна поділити на густину теплоносія ρ , кг/м³, що відповідає температурі теплоносія на ділянці. Витрата охолодженої води, підмішуваної повторно з системи опалення в елеватор (до слова, в сучасних системах водяного опалення замість елеватора використовується підмішувальний насос [46]):

$$G_n = G_{зм} - G_m = \frac{3,6}{4,19} \sum Q \left(\frac{1}{t_2 - t_0} - \frac{1}{T_2 - T_0} \right), \quad \frac{кг}{год} \quad (6.3.4)$$

де $G_{зм}, \frac{кг}{год}$ - витрата води, що циркулює в системі опалення, в якій температури гарячої і охолодженої води в подавальній та зворотній магістралях t_2 та t_0 , °С ;

$G_m, \frac{кг}{год}$ - витрата гарячої води, що поступає до елеватора (або до місця приєднання підмішувального насоса) з тепломережі, в якій температури гарячої і охолодженої води T_2 і T_0 , °С . Як правило, $T_0 = t_0$;

$\sum Q, Вт$ - сумарна витрата тепла системою на опалення, тобто теплове навантаження системи. Приймається з врахуванням тепловтрат трубопроводів.

7. Для вибраного головного циркуляційного кільця (ГЦК) визначається розрахунковий циркуляційний тиск $\Delta p_p, Па$.

а) У системах з природною циркуляцією води:

$$\Delta p = \Delta p_n + \Delta p_{mp}, \quad (6.3.5)$$

де природний (гравітаційний) циркуляційний тиск:

$$\Delta p = g \sum_{i=1}^m h_i (\rho_{i+1} - \rho_i) \quad (6.3.6)$$

і додатковий природний циркуляційний тиск від охолодження води у трубопроводах:

$$\Delta p_{mp} = g \sum_{j=1}^n h_j (\rho_{j+1} - \rho_j) \quad (6.3.7)$$

Як правило, Δp_{mp} визначають за графіками (таблицями), пропорційно відстані від головного стояка до розрахункового [34, с. 100]. У цій формулі:

$g=9,8 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння;

i, j - порядкові номери в окремому стояку (двох стояках - для двотрубної системи) умовних точок охолодження, розташованих вертикально посередині приладу ($i=1\dots m$) або ділянки труби між приладами ($j=1\dots n$);

h_i, h_j , м - висота від середини (по вертикалі) котла чи елеваторного вузла до відповідної умовної точки охолодження приладу або ділянки труби;

ρ_i, ρ_j та ρ_{i+1}, ρ_{j+1} , кг/м^3 - густина води при температурі води на вході t_{ex} та на виході t_{eux} для приладу або ділянки труби.

У системах з примусовою (штучною) циркуляцією розрахунковий циркуляційний тиск:

$$\Delta p_p = \Delta p_n + B(\Delta p_n + \Delta p_{mp}), \quad Па \quad (6.3.8)$$

де $\Delta p_n, Па$ - тиск, створений насосом чи елеватором додатково до природного $\Delta p + \Delta p_{mp}$ за формулою (6.3.5);

B - коефіцієнт, що враховує рекомендовану нормами частку від впливу природного циркуляційного тиску системи: для двотрубних 0,4-0,5, для однострубних 1.

Для систем довільної довжини Δp_n можна приймати з умови:

$$\Delta p_n = 80 \sum l, \quad (6.3.9)$$

де $\sum l$ - сума довжин ділянок розрахункового кільця.

Природний тиск, менший 10 % від створюваного насосом, $\Delta p + \Delta p_{mp} < 0,1\Delta p_n$, у розрахунках не враховується: $\Delta p = \Delta p_n$.

8. Визначається R_{op} - орієнтовна питома втрата тиску на тертя, що припадає на 1 м довжини кільця трубопроводу. За методом розрахунку трубопроводів за питомими втратами:

$$R_{op} = 0,9T\Delta p_p / \sum l, \quad \text{Па/м} \quad (6.3.10)$$

де T - частка втрат на тертя. Приймається: для систем з природною циркуляцією 0,5, з примусовою - 0,65;

9. Підбираються діаметри труб, ділянок за таблицею для гідравлічного розрахунку трубопроводів систем водяного опалення, для сталевих трубопроводів наведеною у [34]: для передбачуваного діаметру d_y , мм та відомої витрати води G , кг/год визначається питома втрата тиску R , Па/м та швидкість води у трубопроводі v , м/с. Для малих діаметрів труб-підведень до приладів R приймають, як правило, значно меншим R_{op} та мінімальні швидкості, а у інших випадках, враховуючи, що $R \approx R_{op}$, величини R можуть бути більшими чи меншими від R_{op} , а швидкості вибираються з умови $v \leq v_{max}$: для d_y , мм: <15; 15; 20; 25; 32; ≥ 40 максимально допустима швидкість, v_{max} , м/с, відповідно приймається: 0,25; 0,30; 0,65; 0,80; 1,0; 1,5.

Втрати тиску на тертя у трубопроводах за рівнянням Дарсі-Вайсбаха для втрат тиску по довжині:

$$\Delta p_{довжк} = \frac{\lambda \rho v^2}{2d} l = \frac{\lambda}{d} p_d l = Rl, \quad \text{Па} \quad (6.3.11)$$

де λ - коефіцієнт Дарсі;

l , м - довжина ділянки трубопроводу з незмінним внутрішнім діаметром d , м, густиною (питомою масою) ρ , кг/м³, та швидкістю руху теплоносія v , м/с;

p_d , Па - динамічний тиск теплоносія на ділянці;

R , Па/м - питомі втрати на тертя води зі стінками трубопроводу на ділянці.

10. Визначаються втрати тиску у місцевих опорах:

$$Z = \sum \xi \frac{\rho v^2}{2} = \sum \xi p_d \quad \text{Па} \quad (6.3.12)$$

де $\sum \xi$ - сума безрозмірних коефіцієнтів місцевих опорів, для систем водяного опалення - за [42, дод. 8, с. 277], [52, дод. 9, с. 257].

Значення Z , як і RI , зручно знаходити за номограмами.

11. Знаходиться сума втрат тиску RI і Z для кожної ділянки, після чого визначається сума втрат тиску у системі $\sum(RI + Z)$, Па. Для головного циркуляційного кільця перевіряється умова:

$$\sum(RI + Z) = (0,9...0,95)\Delta p_p \quad (6.3.13)$$

де Δp_p - з формули (13.1.8). Тобто, залишається запас у 5...10 % на невраховані в розрахунку гідравлічні опори.

Якщо умова (6.3.13) не виконується, то відповідно зменшуються (збільшуються) значення RI і Z на окремих ділянках циркуляційного кільця. Тобто, приймаються нові значення d і v окремих ділянок та знаходяться відповідні їм $R, RI, \sum \xi, Z, RI + Z$. Перевірка повторюється.

Розраховане за вищенаведеною послідовністю ГЦК приймається основним, з результатами його гідравлічного розрахунку узгоджуються відповідні значення $d, v, RI + Z$ інших циркуляційних кілець системи. Кожне з циркуляційних кілець системи має спільні точки з ГЦК, в яких відбувається злиття або розподіл теплоносія. Тобто, у кожному з таких кілець є півкільця, одне з яких не розраховане, а інше співпадає з частиною ділянок ГЦК. Тому, гідравлічно розраховуються і узгоджуються з ГЦК хоча б 2-3 півкільця системи. Тобто, має виконуватись умова:

$$\Delta = \left| \frac{\sum(RI + Z)_{з.ц.к.} - \sum(RI + Z)_{н.к.}}{\sum(RI + Z)_{з.ц.к.}} \right| \leq 0,15 \quad (13.1.14)$$

де $\Delta \leq 15\%$ - неузгодження втрат тиску у півкільці $\sum(RI + Z)_{н.к.}$ з втратами тиску на відповідній ділянці ГЦК $\sum(RI + Z)_{з.ц.к.}$.

Різницю тисків (неузгодженість) гасять, наприклад, кранами подвійного регулювання чи дроселювальною шайбою (в сучасних автоматизованих системах для цього можуть використовуватись балансувальні клапани).

Якщо гідравлічний розрахунок є неповним (розраховано лише одну з приблизно рівнозначних віток), то, для його спрощення, на гідравлічно нерозрахованих ділянках приймають діаметри труб по аналогії до розрахованих ділянок. У важливих випадках чи при нерівнозначних вітках (за довжиною; тепловим навантаженням; втратами тиску) потрібно виконувати повний гідравлічний розрахунок усіх віток, півкілець системи.

6.4. Розрахунок систем тепlopостачання

Основним нормативним документом для розрахунку систем тепlopостачання є ДБН В.2.5-39:2008 Теплові мережі [28], а вихідними даними для них служать також розрахунки систем опалення і вентиляції [28], гарячого водопостачання [28], технологічних потреб промислових підприємств (визначаються за нормативами для конкретного виду виробництва, будівель та споруд). Тому, нижче наведено основні принципи методики розрахунку систем тепlopостачання згідно [28].

6.4.1. Розрахунок теплових потоків.

Потребу в тепловій енергії визначають за видами теплоспоживання: на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання, технологічні потреби.

Вибір принципової схеми підключення системи гарячого водопостачання до теплової мережі виконується за рекомендаціями [28, 34-41, 47].

Навантаження гарячого водопостачання підключають до тепломережі за залежною або незалежною схемами.

При залежній схемі (відкрита тепломережа) вода для гарячого водопостачання береться безпосередньо з тепломережі.

При незалежній схемі (закрита тепломережа) до тепломережі підключають поверхневі теплообмінники, в яких підігрівують воду для гарячого водопостачання.

При проектуванні теплових мереж максимальні теплові потоки на опалення $Q_{O.макс.}$, вентиляцію $Q_{В.макс.}$, гаряче водопостачання $Q_{Г.В.макс.}$ житлових, громадських та виробничих споруд приймаються за відповідними індивідуальними та типовими проектами. За відсутності проектів опалення, вентиляції та гарячого водопостачання теплові потоки, Вт, для житлових районів міст та інших населених пунктів визначають за формулами:

а) максимальний тепловий потік на опалення житлових та громадських споруд:

$$Q'_{O.макс.} = q_0 A (1 + K_1); \quad (6.4.1)$$

б) максимальний тепловий потік на вентиляцію громадських споруд:

$$Q_{В.макс.} = K_1 K_2 q_0 A; \quad (6.4.2)$$

в) середній тепловий потік на гаряче водопостачання житлових та громадських споруд в опалювальний період:

$$Q_{Г.В.сеп.} = \frac{1,2 \times m \times (a + b) \times (55 - t_{Х.З.})}{24 \times 3,6} \times c; \quad (6.4.3)$$

або

$$Q_{Г.В.сеп.} = q_n m; \quad (6.4.4)$$

г) максимальний тепловий потік на гаряче водопостачання житлових та громадських споруд:

$$Q_{Г.В.макс.} = 2,4 \cdot Q_{Г.В.сеп.}; \quad (6.4.5)$$

д) середній тепловий потік на опалення:

$$Q_{О.сеп.} = Q_{О.макс.} \frac{t_B - t_{сеп.о.}}{t_B - t_{р.о.}}, \quad (6.4.6)$$

те саме на вентиляцію:

$$Q_{В.сеп.} = Q_{В.макс.} \frac{t_B - t_{сеп.о.}}{t_B - t_{р.о.}}; \quad (6.4.7)$$

е) середній тепловий потік на гаряче водопостачання житлових та громадських споруд у неопалювальний період:

$$Q_{Г.В.сеп.}^Л = Q_{Г.В.сеп.} \frac{55 - t_{Х.Л.}}{55 - t_{Х.Л.}} \cdot \beta. \quad (6.4.8)$$

У формулах (6.4.1) - (6.4.8):

q_0 - питомий показник максимального теплового потоку на опалення житлових будинків на 1 м² загальної площі, Вт;

q_n - питомий показник середнього теплового потоку на гаряче водопостачання на одну людину відповідно до таблиці 6.4.1;

A - загальна площа житлових будинків, м²;

K_1 - коефіцієнт, що враховує тепловий потік на опалення громадських споруд;

K_2 - коефіцієнт, що враховує тепловий потік на вентиляцію громадських споруд;

t_B - розрахункова температура внутрішнього повітря опалюваних споруд, °С;

$t_{р.о.}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення та вентиляції, °С;

1,2 - коефіцієнт, що враховує тепловіддачу в приміщення від теплопроводів систем гарячого водопостачання (опалення ванних кімнат, сушіння білизни);

a - норма витрати води на гаряче водопостачання, л, за температури 55 °С, на одну людину на добу, що проживає в будинку з гарячим водопостачанням;

в - норма витрати води на гаряче водопостачання, л, що споживається в громадських спорудах, за температури 55 °С; приймається відповідно до [29];

Табл. 6.4.1. Питомий показник середнього теплового потоку на гаряче водопостачання на одну людину

Середня за опалювальний період норма витрати води за температури 55 °С на гаряче водопостачання на добу на одну людину, що проживає в будинку з гарячим водопостачанням, л	Питомий показник середнього теплового потоку на гаряче водопостачання на одну людину, Вт, що проживає в будинку		
	з гарячим водопостачанням	з гарячим водопостачанням з урахуванням споживання в громадських будинках	без гарячого водопостачання з урахуванням споживання в громадських будинках
85	247	320	73
90	259	332	73
105	305	376	73
115	334	407	73

m - кількість людей;

$t_{х.з.}, t_{х.л.}$ - температура холодної води відповідно в опалювальний (зимовий) та неопалювальний (літній) періоди (за відсутності гідрогеологічних даних приймають $t_{х.з.} = 5$ °С, $t_{х.л.} = 15$ °С);

c - питома теплоємність води, приймається в розрахунках 4,187 кДж (кг·°С);

$t_{сер.о.}$ - середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, °С;

β - коефіцієнт, який враховує зміну середньої витрати води на гаряче водопостачання в неопалювальний період по відношенню до опалювального періоду; за відсутності даних приймається для житлово-комунального сектора 0,8 (для курортних та південних міст $\beta = 1,5$), для підприємств - 1,0.

При визначенні сумарних теплових потоків житлових та громадських споруд, що приєднуються до теплових мереж, за наявності технічної можливості враховують теплові потоки на гаряче водопостачання існуючих будівель, що підлягають централізованому тепlopостачанню, а також не мають централізованих систем гарячого водопостачання.

У сумарних теплових потоках також враховуються нормативні втрати теплової енергії в теплових мережах.

6.4.2. Визначення розрахункових витрат мережної води.

Розрахункову витрату води, т/год, визначається за формулами:

а) на опалення:

$$G_{o.макс.} = \frac{3,6 \cdot Q_{o.макс.}}{c \times (\tau_1 - \tau_2)} \cdot 10^{-3}; \quad (6.4.9)$$

б) на вентиляцію:

$$G_{в.макс.} = \frac{3,6 \cdot Q_{в.макс.}}{c \times (\tau_1 - \tau_2)} \cdot 10^{-3}; \quad (6.4.10)$$

в) на гаряче водопостачання у відкритих системах тепlopостачання:

-середній:

$$G_{1г.в.сеп.} = \frac{3,6 \cdot Q_{г.в.сеп.}}{c \times (t_г - t_{х.з.})} \cdot 10^{-3}; \quad (6.4.11)$$

-максимальний:

$$G_{1г.в.макс.} = \frac{3,6 \cdot Q_{г.в.макс.}}{c \times (t_г - t_{х.з.})} \cdot 10^{-3}; \quad (6.4.12)$$

г) на гаряче водопостачання в закритих системах тепlopостачання при паралельній схемі приєднання водопідігрівачів:

-середній:

$$G_{2г.в.сеп.} = \frac{3,6 \cdot Q_{г.в.сеп.}}{c \times (\tau'_1 - \tau'_3)} \cdot 10^{-3}; \quad (6.4.13)$$

-максимальний:

$$G_{2г.в.макс.} = \frac{3,6 \cdot Q_{г.в.макс.}}{c \times (\tau'_1 - \tau'_3)} \cdot 10^{-3}; \quad (6.4.14)$$

д) на гаряче водопостачання в закритих системах тепlopостачання при двоступеневих схемах приєднання водопідігрівачів:

- середній:

$$G_{3г.в.сеп.} = \frac{3,6 \cdot Q_{г.в.сеп.}}{c \times (\tau'_1 - \tau'_2)} \cdot \left(\frac{t_г - t'}{t_г - t_{х.з.}} + 0,2 \right) \cdot 10^{-3}; \quad (6.4.15)$$

-максимальний:

$$G_{3г.в.макс.} = \frac{3,6 \cdot Q_{г.в.макс.}}{c \times (\tau'_1 - \tau'_2)} \cdot 10^{-3}. \quad (6.4.16)$$

Сумарна розрахункова витрата мережної води, т/год, у двотрубних теплових мережах відкритих та закритих систем теплопостачання при якісному регулюванні відпуску теплоти:

$$G_p = G_{o.макс.} + G_{в.макс.} + k_3 G_{2.в.сер.} \quad (6.4.17)$$

Коефіцієнт k_3 , що враховує частку середньої витрати води на гаряче водопостачання при регулюванні за навантаженням опалення, приймається за табл. 6.4.2. При регулюванні за сумісним навантаженням опалення та гарячого водопостачання коефіцієнт k_3 приймається нульовим.

Для споживачів при $\frac{Q_{2.в.макс.}}{Q_{o.макс.}} > 1,0$ відсутності баків-акумуляторів, а також із тепловим навантаженням 10 МВт і менше сумарна розрахункова витрата води:

$$G_p = G_{o.макс.} + G_{в.макс.} + G_{2.в.макс.} \quad (6.4.18)$$

Табл. 6.4.2. Коефіцієнт k_3 , що враховує частку середньої витрати води на гаряче водопостачання

Системи теплопостачання	Коефіцієнт k_3
Відкрита, з тепловим навантаженням, МВт:	
100 та більше	0,6
менше 100	0,8
Закрита, з тепловим навантаженням, МВт:	
100 та більше	1,0
менше 100	1,2
Примітка. Для закритих систем теплопостачання при регулюванні за навантаженням опалення та тепловим навантаженням менше 100 МВт за наявності баків-акумуляторів у споживачів коефіцієнт k_3 слід приймати 1.	

Розрахункова витрата води, т/год, у двотрубних водяних теплових мережах у неопалювальний період:

$$G_p^L = \beta G_{2.в.макс.} \quad (6.4.19)$$

При цьому максимальну витрату води на гаряче водопостачання, т/год, визначають для відкритих систем теплопостачання за формулою (6.4.12) за температури холодної води в неопалювальний період, а для закритих систем при всіх схемах приєднання водопідігрівачів гарячого водопостачання - згідно з формулою (6.4.14).

Витрату води у зворотному трубопроводі двотрубних водяних теплових мереж відкритих систем теплопостачання слід приймати у

розмірі 10 % від розрахункової витрати води, визначеної за формулою (6.4.19).

Витрати води, т/год, у теплових мережах відкритих систем тепlopостачання для гiдравлiчних режимiв при максимальному водорозборi iз подавального або зворотного трубопроводiв:

$$G_{p_1} = G_{o.макс.} + G_{в.макс.} + k_4 G_{12.в.сер.}, \quad (6.4.20)$$

де k_4 - коефiцiєнт, що враховує змiну середньої витрати води на гаряче водопостачання в залежностi вiд температурного графiка регулювання вiдпускання теплоти та режиму водорозбору з теплової мережi, що визначається вiдповiдно до табл. 6.4.3.

У формулах (6.4.9) - (6.4.20):

c - питома теплоємнiсть води в розрахунках 4,187 кДж (кг °С);

τ_1 - температура води в подавальному трубопроводi теплової мережi за розрахункової температури зовнiшнього повітря $t_{p.o.}$, °С;

τ_2 - те саме, в зворотному трубопроводi теплової мережi, °С;

t_r - температура води, яка надходить у систему гарячого водопостачання споживачiв, °С;

Табл. 6.4.3. Коефiцiєнт k_4 , що враховує змiну середньої витрати води на гаряче водопостачання

Режим водорозбору	Найменування трубопроводiв	Значення коефiцiєнта k_4	
		при центральному якiсному регулюванні за навантаженням опалення	при центральному якiсному регулюванні за сумiсним навантаженням опалення та гарячого водопостачання
Максимальний iз подавального трубопроводу	Подавальний Зворотний	1 -1,4	1,4 -1
Мiнимальний iз зворотного трубопроводу	Подавальний Зворотний	0,6 -1,8	1,2 -1,2

τ'_1 - температура води в подавальному трубопроводi теплової мережi в точцi зламу графiка температур води, °С;

τ'_2 - те саме, в зворотному трубопроводi теплової мережi пiсля системи опалення будiвель, °С;

τ'_3 - температура води після паралельно включеного водопідігрівача в точці зламу графіка температур води, рекомендується приймати $\tau'_3 = 30$ °С;

β - коефіцієнт, який враховує зміну середньої витрати води на гаряче водопостачання в неопалювальний період по відношенню до опалювального періоду, за відсутності даних приймається для житлово-комунального сектора 0,8 (для курортних та південних міст $\beta = 1,5$), для підприємств - 1,0.

6.4.3. Схема прокладання тепломереж та їх гідравлічний розрахунок.

На генплані (житлового кварталу, підприємства тощо) намічається траса теплових мереж з урахуванням мінімальної протяжності, після чого визначаються характеристики тепломереж при гідравлічному розрахунку. Відповідно до принципів трасування мереж, на розрахунковій схемі тепломереж розставляються нерухомі опори, компенсатори, перекривальна арматура та інше обладнання.

Гідравлічний розрахунок теплових мереж.

Головним завданням гідравлічного розрахунку при проектуванні теплових мереж є правильний підбір діаметрів трубопроводів, залежно від розрахованих загальних втрат тиску (по довжині та у місцевих опорах), які зумовлюються розрахунковими витратами теплоносія.

Для вже існуючих теплових мереж за допомогою гідравлічного розрахунку визначають витрати теплоносія. А для запроєктованих тепломереж – навпаки, під задані проектні витрати підбирають діаметри трубопроводів.

Зазвичай, гідравлічний розрахунок мереж виконується за допомогою спеціальних програм на ПК.

Загальні теоретичні основи гідравлічного розрахунку теплових мереж наведено у літературі [34, 35, 41 та ін.].

Існують різні методи гідравлічного розрахунку теплових мереж, від вибору методу залежить витрата часу на розрахунок та ступінь його точності.

Якщо втрати тиску на тертя (по довжині) та у місцевих опорах приблизно рівні, доцільно застосовувати **метод питомих втрат** на тертя, при якому втрати на розрахунковій ділянці трубопроводу:

$$\Delta p = Rl + \Delta p_M = \left(\frac{\lambda}{d} l + \sum \xi\right) \frac{v^2}{2} \rho .$$

У формулі:

- втрати тиску на тертя (по довжині), Па:

$$Rl = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \rho l,$$

де питома втрата тиску, Па/м, на 1 м довжини l ділянки трубопроводу:

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \rho$$

(v , м/с - швидкість руху теплоносія густиною ρ , кг/м³, у трубопроводі з розрахунковим діаметром d , м);

- втрати тиску у місцевих опорах ділянки трубопроводу, Па:

$$\Delta p_M = \sum \xi \cdot \frac{v^2}{2} \rho,$$

де $\sum \xi$ - сума коефіцієнтів місцевого опору ділянки трубопроводу.

Метод питомих втрат на тертя застосовують при розрахунку парових мереж низького тиску і внутрішніх мереж тепlopостачання: систем опалення, систем тепlopостачання калориферів тощо [34, 35, 41 та ін.].

У зовнішніх теплових мережах втрати у місцевих опорах складають 30 – 40 % від втрат на тертя (по довжині). Тому для їх гідравлічного розрахунку послуговуються **методом розрахунку трубопроводів за приведеними довжинами** – зручний у випадку, коли втрати на тертя (по довжині) є основними, а втрати у місцевих опорах – незначні. При цьому місцеві опори замінюються еквівалентними довжинами. Еквівалентною довжиною l_{ekv} називається довжина труби, на якій втрати на тертя рівні динамічному тиску (або втратам у місцевому опорі при коефіцієнті місцевого опору $\xi = 1$).

Формула для визначення еквівалентної довжини на ділянці:

$$l_{ekv} = \sum \xi \frac{d}{\lambda}.$$

У даному методі розрахунку теплової мережі приведена довжина ділянки мережі, м, становить:

$$l_{np} = l + l_{ekv}.$$

Тоді, сумарні втрати тиску на ділянці, Па, за методом розрахунку трубопроводів за приведеними довжинами:

$$\Delta p = Rl_{ekv}.$$

За допомогою **методу характеристик** виконують гідравлічний розрахунок для існуючих теплових мереж при потребі визначення їх

пропускної здатності. Через пропуску здатність (витрату) можна записати швидкість на ділянці мережі, за рівнянням нерозривності:

$$v = \frac{4G}{\pi d^2 \rho},$$

де витрата теплоносія q , м³/с, переведена у кг/с:

$$G = q\rho.$$

Падіння тиску на ділянці:

$$\Delta p = \left(\frac{\lambda}{d}l + \sum \xi\right) \frac{16}{2\pi^2 d^4 \rho} G^2.$$

У цій формулі характеристикою чи опором ділянки теплової мережі, Па · с²/кг², називають величину:

$$S = \left(\frac{\lambda}{d}l + \sum \xi\right) \frac{16}{2\pi^2 d^4 \rho}.$$

Для існуючої ділянки при $\rho = const$ характеристика є величиною постійною. При відомій характеристиці S втрата тиску на ділянці:

$$\Delta p = SG^2. \quad (6.4.21)$$

Ця рівність дозволяє визначити витрату теплоносія на ділянці, тобто пропуску здатність ділянки, при відомому опорі ділянки і відомому падінні тиску на ній.

Для послідовно з'єднаних ділянок сумарна втрата тиску рівна сумі втрат тиску на усіх ділянках. Наприклад, для трьох послідовних ділянок (рис. 6.4.1,а):

$$\Delta p_{1-3} = S_{1-3}G^2 = (S_1 + S_2 + S_3)G^2.$$

При паралельно з'єднаних ділянках втрати тиску на них рівні між собою, для трьох паралельних ділянок (рис. 6.4.1,б):

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p_3 = p_A - p_B = \Delta p.$$

З рівняння (13.2.21) витрата теплоносія на ділянці:

$$G = \frac{1}{\sqrt{S}} \sqrt{\Delta p} = a \sqrt{\Delta p},$$

де $a = \frac{1}{\sqrt{S}}$ - провідність ділянки. Сумарна витрата теплоносія при

паралельному з'єднанні є сумою витрат ділянок, а сумарна провідність – сумою провідностей ділянок:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 = a_{1-3} \sqrt{\Delta p} = (a_1 + a_2 + a_3) \sqrt{\Delta p}.$$

Опір паралельно з'єднаних ділянок:

$$S_{1-3} = 1 / a_{1-3}^2.$$

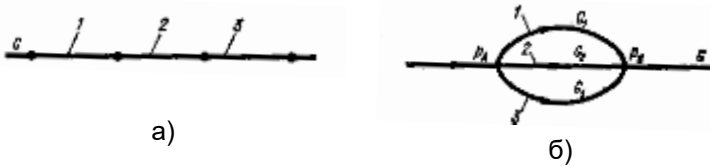


Рис. 6.4.1. Послідовне (а) і паралельне (б) з'єднання ділянок:
1 – 3 – ділянки теплової мережі

Гідрравлічний розрахунок водяних теплових мереж виконується у два етапи – попередній та кінцевий. При попередньому гідрравлічному розрахунку втрати тиску у місцевих опорах:

$$\Delta p_M = \alpha \cdot \Delta p_{mp},$$

де α - коефіцієнт врахування частки втрат тиску у місцевих опорах.

Попередній гідрравлічний розрахунок інколи виконують на стадії проектного завдання при техніко-економічних розрахунках. При кінцевому гідрравлічному розрахунку втрати тиску на місцевих опорах розраховують більш точно, після розставлення компенсаторів і вимикаючої арматури. Гідрравлічний розрахунок виконується для подавального трубопроводу; діаметр зворотнього трубопроводу і падіння тиску у ньому приймають такими ж, як і у подавальному.

Попередній та кінцевий розрахунки зазвичай суміщають, при цьому розрахунок виконують у такому порядку. На трасі трубопроводу визначають головну магістраль, визначають розрахункові витрати теплоносія та довжини для її ділянок та усіх інших ділянок теплової мережі. Головна магістраль внутрішньоквартальних теплових мереж встановлюється за найбільшими довжиною і тепловим навантаженням, як правило, від джерела тепла до найвіддаленішого споживача.

Для гідрравлічного розрахунку теплових мереж значення діаметрів трубопроводів уточнюються: за питомими втратами тиску R , Па/м, виходячи з орієнтовних питомих втрат тиску до 80 Па/м; за розрахунковими витратами теплоносія на опалення і вентиляцію будівель. Відгалуження розраховуються за наявним перепадом тисків; при цьому, питома втрата тиску не повинна перевищувати 300 Па/м, а швидкість теплоносія – 3,5 м/с.

Тема 7. Системи та схеми вентиляції. Проектний розрахунок систем вентиляції

7.1. Загальні відомості про вентиляцію

Вентиляція приміщень виконується для забезпечення потрібних метеорологічних умов. Тобто, забезпечення потрібних значень параметрів внутрішнього повітря: температури, швидкості руху повітря, вологості, допустимих значень ГДК шкідливих речовин.

У приміщеннях з довготривалим перебуванням людей вентиляція служить для підтримування комфортних умов мікроклімату.

Допустимі та оптимальні метеорологічні умови (температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря) в обслуговуваній зоні (висота до 1,5 – 2,0 м від підлоги) житлових приміщень приймаються за [29].

Організм людини при помірній температурі повітря і невеликому фізичному навантаженні виділяє 40 – 75 г/год водяної пари. Прийнято вважати, що жінки виділяють 85 %, а діти – в середньому 75 % тепла і вологи у порівнянні з чоловіками. Людина у стані спокою вдихає-видихає близько 500 л/год (0,5 м³/год) повітря. Склад повітря при цьому змінюється, зокрема, у % до об'єму: вміст кисню зменшується з 20,9 до 16,4, а вуглецю – збільшується з 0,03 до 3,57.

До факторів, шкідлива дія яких усувається за допомогою вентиляції, відносяться: надлишкове тепло (конвекційне, що викликає підвищення температури повітря) і променеве; надлишкова водяна пара – волога; гази і пара хімічних речовин загальнотоксичної чи подразнюючої дії; токсичний і нетоксичний пил; радіоактивні речовини.

Зокрема, шкідливо впливають на організм людини:

1) пил, що містить двоокис кремнію, азбестові пилинки, отруйні речовини (окис свинцю тощо). Найшкідливішим є пил, у якому пилинки дрібні і загостреної форми. Він легко проникає в легені, при певній концентрації – вибухонебезпечний;

2) мікроорганізми впливають на санітарний стан повітря приміщень, запиленість збільшує їх концентрацію. Повітря приміщень вважається забрудненим, якщо концентрація мікроорганізмів у ньому понад 4500 мікроорганізмів на м³.

Санітарними нормами встановлені ГДК шкідливих речовин у повітрі приміщень, враховуючи радіоактивні.

За одиницю виміру холоду (тепла) в техніці прийнята така його величина, яка потрібна для нагрівання (охолодження) 1 кг води на 1 °С – 1 ккал.

Вологовміст повітря (вимірюється у г/кг) – це кількість водяної пари в грамах, що міститься у вологому повітрі, суха частина якого становить масу 1 кг.

Відносна вологість повітря (вимірюється у %) – відношення парціального тиску (мм рт. ст.) водяної пари при даній температурі до парціального тиску водяної пари при тій же температурі і повному насиченні.

Тепловміст вологого повітря (вимірюється у ккал/кг) – кількість тепла (ккал), що міститься у вологому повітрі, суха частина якого становить масу 1 кг.

Повітрообмін – часткова або повна заміна забрудненого повітря чистим атмосферним.

Кратність повітрообміну – кількість повітря, поданого чи видаленого з приміщення за 1 год, віднесена до внутрішньої кубатури приміщення:

$$\pm n = L / V ,$$

де L, м³ - поданий чи видалений об'єм повітря;

V, м³ – внутрішній об'єм повітря приміщення;

У цій формулі знак „+” – для подачі (припливу) повітря, а „-” – для видалення (витяжки).

Формули для визначення повітрообміну для різних типів тепловиділень та інших шкідливих виділень наведено у [34-39].

Основними принципами організації повітрообміну є такі.

1. Місцева витяжна вентиляція локалізує шкідливі викиди у місцях їх утворення, запобігаючи їх розповсюдженню по приміщенню.

2. Загальнообмінна вентиляція розчиняє і видаляє шкідливі виділення, що поступають у приміщення, забезпечуючи у обслуговуваній зоні допустимі значення параметрів – температури, відносної вологості, швидкості руху повітря і концентрації шкідливих речовин у ньому.

3. Припливне повітря подається так, щоб при поступанні у зону дихання людей (обслуговувану зону приміщень) воно було чистим і мало температуру і швидкість руху відповідно до вимог санітарних норм.

Загальні рекомендації з організації повітрообміну такі.

1. Траєкторія подачі припливного повітря не повинна перетинати забруднених ділянок приміщення, забезпечуючи обслуговувану зону чистим повітрям.

2. У теплий період року в усіх випадках доцільніше подавати припливне повітря в обслуговувану зону.

3. При вирішенні роздавання повітря потрібна перевірка рівня температури і швидкості руху повітря на робочих місцях, при цьому

слід враховувати взаємний вплив струменевих течій, обмеженість струменів огороженнями і технологічним обладнанням.

4. При значних надлишках явного тепла у приміщенні припливне повітря у холодний період року слід подавати з мінімально допустимою температурою, враховуючи його підігрівання від надлишкового тепла.

5. При недостатній кількості тепла у приміщенні і поєднанні вентиляції з опаленням припливне повітря треба подавати у обслуговувану зону.

7.2. Класифікація вентиляційних систем

Забезпечення санітарних норм якості повітря приміщення виконується видаленням забрудненого повітря та подачею чистого зовнішнього повітря. Відповідні системи поділяють на витяжні і припливні (притічні).

За способом переміщення повітря розрізняють вентиляцію:

- природну:
 - неорганізовану (інфільтрація);
 - організовану (аерація);
- механічну (штучну).

Природна неорганізована вентиляція (інфільтрація) – коли повітрообмін у приміщеннях здійснюється під дією різниці тисків зовнішнього і внутрішнього повітря, вітру через нещільності огорожувальних конструкцій, а також при відкриванні кватирок, фрамуг, дверей.

Природна організована вентиляція (аерація) – коли повітрообмін у приміщеннях здійснюється під дією різниці тисків зовнішнього і внутрішнього повітря (з використанням теплового і вітрового тисків) через спеціально влаштовані у зовнішніх огорожувальних конструкціях фрамуги (вентиляційно-світлові ліхтарі) з регульованим ступенем відкриття на кожному боці будівлі. Аерація поширена у виробничих будівлях з великими тепловими надлишками (наприклад, прокатні та ливарні цехи) і дозволяє здійснювати повітрообміни, які досягають мільйонів кубічних метрів за 1 год.

При проектуванні будівель визначають потрібну площу відкритих фрамуг, при цьому розглядають найбільш несприятливі умови, коли швидкість вітру рівна нулю. Площу припливних отворів приймають якнайбільшою, щоб забезпечити відносно малі швидкості поступання повітря в цех і стійкість висхідних конвекційних потоків.

Орієнтовна кількість повітря L , м³/год, що виходить з однопролітного цеху через 1 м² отвору, з урахуванням лише теплового тиску і при умові рівності площ у отворах в стінах і ліхтарях:

$$L = 700\mu\sqrt{h\Delta t} ,$$

де μ - коефіцієнт витрати повітря, залежить від його витікання;

h , м – відстань між центрами нижніх і верхніх отворів;

Δt , град. – різниця температур: середньої (по висоті) в приміщенні і зовнішньої.

Аерація з використанням вітрового тиску полягає у тому, що на навітрених поверхнях будівлі виникає надлишковий тиск, а на завітрених сторонах – розрідження.

Механічна (штучна) вентиляція – це примусовий повітрообмін (подача/видалення), за допомогою вентилятора. Цей спосіб дозволяє швидко змінювати температуру, вологість, чистоту, швидкість руху повітря, витрату повітря.

Система кондиціонування повітря – система механічної вентиляції з автоматичним підтриманням заданих метеорологічних умов внутрішнього повітря незалежно від зміни параметрів зовнішнього повітря.

За способом організації повітрообміну у приміщеннях розрізняють загальну, місцеву, локалізуючу, змішану, аварійну вентиляцію.

Загальна (загальнообмінна) – застосовується для створення однакових метеорологічних умов у всьому приміщенні (підтримання швидкості руху, температури, вологості, чистоти), особливо – у робочій зоні (1,5 – 2 м). Приклад: вентиляція житлових кімнат.

Місцева – застосовується для створення місцевих (на робочих місцях) умов, що відповідають санітарно-гігієнічним вимогам і можуть відрізнитись від умов у решті об'єму приміщення. Приклад: місцевий приплив – повітряний душ на робоче місце; місцева витяжка – витяжний кашкет над газовою плитою на кухні. Можливі системи з одночасним влаштуванням місцевого притоку і витяжки.

Локалізуюча – здійснюється вловлювання забрудненого повітря безпосередньо з джерела забруднення за допомогою спеціальних перекриттів, які запобігають доступу шкідливих виділень у приміщення. Приклад: витяжка від виробничих установок; витяжка з газового водонагрівача (колонки) на кухні.

Змішані системи – це комбінації загальнообмінної вентиляції з місцевою. Такі системи застосовуються, переважно, у виробничих приміщеннях, особливо системи з подачею повітря загальнообмінною і витяжкою місцевою системами.

Аварійні вентиляційні установки - застосовуються для видалення аварійного різкого збільшення шкідливих речовин у повітрі приміщення. Діють лише в аварійних ситуаціях.

Поширеним є використання:

- у гарячих цехах – аерації, місцевого відсмоктування, повітряного душу;

- у холодних цехах – загальнообмінної припливно-витяжної, кондиціонування;
- у громадських приміщеннях (театрах, кінотеатрах, магазинах, спортзалах, басейнах, аудиторіях) – загальнообмінної припливно-витяжної, кондиціонування;
- у житлових будівлях – витяжної природної (інколи механічної) з припливом через вікна, двері, квартирки, спеціальні пристрої під вікнами.

7.3. Основне обладнання систем вентиляції

Основне визначення вентиляції наведено у:

- ДСТУ 2388-94 Системи вентиляційні. Терміни та визначення;
- ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування [29].

Згідно цих нормативів, вентиляція - обмін повітря у приміщенні для видалення надлишків теплоти, вологи, шкідливих та інших забруднюючих речовин з метою забезпечення допустимого мікроклімату та чистоти повітря у робочій зоні або в зоні обслуговування при середній незабезпеченості 400 год/рік - при цілодобовій роботі та 300 год/рік - при однозмінній роботі у денний час.

Отже, ці вимоги повинні забезпечуватись при конструюванні систем вентиляції.

До основного обладнання систем вентиляції відносяться:

- повітровідні системи – повітропроводи (прямолінійні ланки; відводи – на поворотах; перехідники – на змінах поперечного розміру повітропроводи; трійники – на приєднаннях чи відгалуженнях) та деталі мереж (розподільники повітря, регулятори витрати тощо), з'єднувальні деталі різного призначення та кріплення, елементи мереж (запірно-регульовальні пристрої (клапани та заслінки), шибер та дросельний клапан, зворотній клапан, протипожежні клапани та їх різновид – протидимові клапани, тощо);

- обладнання та пристрої – вентилятори, пристрої для нагрівання повітря, знепилюючі пристрої (пиловловлювачі, фільтри, мокрі пристрої, електрофільтри, ультразвукові пиловловлювачі) тощо.

Вентиляційні канали можуть прокладатися у стінах будівель (наприклад з цегли, бетону), з урахуванням забезпечення вимог герметичності, теплоізоляції, стійкості до впливу вологи та/чи вогнебезпеки.

За формою поперечного перерізу розрізняють повітропроводи:

- круглі та прямокутні (як варіант – квадратні) - найбільш поширені;
- овальні, трикутні та інші – менш поширені.

За видами матеріалів виготовлення розрізняють повітропроводи з труб і коробів:

- металеві – зі сталі з покриттям цинком чи алюмоцинком, нержавіючої сталі, титанових сплавів, листового алюмінію, міді тощо;

- металопластикові - зі сталі з покриттям (полівінілхлоридною плівкою; спіненого пінополіуретану із захистом ззовні алюмінієвою фольгою), металополімерні гнучкі армовані пружною металевою спіраллю (зі склотканини, силікону, алюмополіетілену, поліуретану, полівінілхлориду, вініуретану) тощо;

- неметалеві – з бетону та залізобетону, керамзитобетону, арболіту, вапняно-гіпсових плит, азбестоцементу (за санітарними нормами азбестовмісні матеріали заборонено для припливних ділянок), з полімерних матеріалів (поліетилен (ПЕ), поліпропілен (ПП), полівінілхлорид (ПВХ), вініпласт, склопластик), текстильні (виготовлені з синтетичних тканин), тощо.

При виборі матеріалу повітропроводу обов'язково враховують його стійкість до агресивного впливу складників повітря, а також межу вогнестійкості – для забезпечення вимог пожежної безпеки будівлі.

В системах механічної вентиляції використовують вентилятори низького тиску (до 1 кПа), середнього тиску (1-3 кПа) і високого тиску (3-12 кПа). Вентилятори низького і середнього тиску застосовують у вентиляційних установках і установках кондиціонування повітря, а вентилятори високого тиску – у технологічних установках.

За конструкцією розрізняють вентилятори:

- відцентрові (радіальні) – при обертанні робочого колеса (у вигляді барабану з лопатками) у напрямку розвороту слимакоподібного кожуха повітря всмоктується через вхідний отвір і під дією відцентрової сили викидається через вихідний отвір (вхідний і вихідний отвори перпендикулярні між собою);

- осьові (аксіальні) - при обертанні робочого лопаткового колеса у циліндричному кожусі повітря всмоктується через вхідний отвір і, пройшовши вздовж осі обертання колеса, викидається через вихідний отвір (вихідний отвір продовжує вхідний, за віссю обертання колеса).

Вентилятори можуть бути правого обертання (оберти колеса з боку всмоктування - за годинниковою стрілкою) і лівого обертання.

Розміри вентиляторів характеризуються присвоєними їм номерами, що чисельно відображають значення діаметру робочого колеса у мм (наприклад, вентилятор № 5 має колесо діаметром 500 мм). Зазвичай, для здолення опорів мережі до 200 Па використовують осьові вентилятори, а понад 200 Па – відцентрові. Осьові вентилятори створюють менший шум при роботі.

До пристроїв для нагрівання повітря відносяться калорифери, які за конструктивними ознаками поділяють на такі типи: змонтовані з

радіаторів, гладкотрубні, пластинчасті і поребрени. У них повітря (вторинний теплоносіє) забирає тепло, омиваючи поверхню трубок (трубок з ребрами чи пластинками), по яких протікає первинний теплоносіє (гаряча вода, пара).

У системах повітряного опалення можуть застосовуватись повітряно-опалювальні агрегати, що містять такі основні елементи, як калорифери, вентилятори і електродвигуни. Основні вимоги, що висуваються до агрегатів: витрата металу і електроенергії на одиницю тепла не більше максимально можливої, рівень шуму при роботі агрегату не більше максимально допустимого, компактна конструкція агрегату.

Від пилу очищують:

- зовнішнє припливне повітря з концентрацією пилу понад норму;
- внутрішнє повітря при підмішуванні його до зовнішнього припливного повітря (причому вміст пилу у такому змішаному повітрі, що подається в приміщення, не повинен перевищувати 30 % від ГДК);
- внутрішнє відпрацьоване повітря при видаленні його назовні.

Очищення повітря може бути грубим (затримуються частинки пилу більші за 100 мкм), середнім (затримуються частинки пилу розміром до 100 мкм при кінцевому вмісті пилу у повітрі до 100 мг/м³) і тонким (затримуються частинки пилу розміром до 100 мкм при кінцевому вмісті пилу у повітрі до 1 - 2 мг/м³).

Ефективність роботи знепилювальних пристроїв оцінюється ступенем очищення (G_1 та G_2 , кг – кількість пилу в повітрі, відповідно, після та перед знепилювальним пристроєм):

$$n = [(G_2 - G_1) / G_2] \cdot 100\% .$$

Питання експлуатації систем природної та механічної вентиляції детальніше розглянуто у [34-39].

7.4. Системи кондиціонування повітря

Кондиціонування повітря - автоматична підтримка в зачинених приміщеннях усіх або окремих параметрів повітря (температури, відносної вологості, швидкості руху, чистоти) з метою забезпечення, головним чином, оптимальних мікрокліматичних умов, найбільш сприятливих для самопочуття людей, ведення технологічного процесу, забезпечення збереження цінностей [29].

Відповідно до цих вимог здійснюється проектування і робота обладнання систем кондиціонування повітря.

Термодинамічними параметрами вологого повітря є температура, відносна вологість, вологовміст, тепловміст. Внаслідок нагрівання, охолодження, зволоження, осушування повітря змінюється значення його термодинамічних параметрів, які зв'язані між собою певними залежностями. З метою підтримання у приміщеннях певних

параметрів повітря його кондиціонують, тобто надають повітрю певних якостей щодо чистоти і термодинамічних параметрів.

Термодинамічні параметри зовнішнього повітря відрізняються в теплу і холодну пори року, тому і обробка повітря, яке подають у приміщення при наданні йому певних якостей, має різний характер. У теплий період зовнішнє повітря має більш високі температуру, тепловміст, а часто і вологовміст порівняно з внутрішнім кондиціонованим повітрям. Через це його перед подачею у приміщення охолоджують і осушують зі зменшенням тепловмісту. Для цього потрібні природні або штучні джерела холоду.

У районах з жарким і сухим кліматом зниження температури повітря можна досягти без зовнішніх джерел холоду, застосовуючи випарне охолодження повітря (одно- і двоступінчасте), але при цьому вологовміст збільшується, а тому таке охолодження недоцільне для приміщень, де виділяється багато вологи.

У холодну пору року зовнішнє повітря порівняно з внутрішнім має низьку температуру та дуже малий вологовміст (хоч відносна вологість може бути високою). Тому перед подачею у приміщення його спочатку нагрівають, а потім зволожують. Внаслідок зволоження температура оброблюваного повітря зменшується, і тому його вдруге (після зволоження) нагрівають до потрібної (розрахункової) температури.

Усі процеси термодинамічної обробки повітря здійснюються за допомогою спеціальних пристроїв, що входять у склад систем кондиціонування повітря (СКП).

СКП призначені для створення і автоматичного підтримання потрібних параметрів повітря у приміщеннях і спорудах незалежно від мінливих зовнішніх умов і змінних надходжень тепла і вологи.

СКП складається з установки кондиціонування повітря (УКП), у якій його обробляють (фільтрація, охолодження, нагрівання, осушування, зволоження); обладнання для транспортування і розподілу повітря в приміщеннях, а також для видалення з них забрудненого повітря; джерела і комунікації для тепло- і холодопостачання; обладнання, що зменшує поширення шуму; засобів автоматичного регулювання, контролю і керування.

За тиском, що розвивають вентилятори, розрізняють СКП низького, середнього, високого тиску.

За способом постачання холодом УКП можуть бути:

- неавтономними (з централізованим холодопостачанням від різних джерел холоду);
- автономними (в УКП вмонтовано холодильну машину) і випарними (із застосуванням випарного охолодження повітря рециркуляційною водою).

Залежно від характеру зв'язку УКП з приміщеннями бувають центральні, місцеві і центрально-місцеві (комбіновані).

У центральних системах апарати з тепловологісного обробітку повітря розташовані в одному агрегаті, від якого приготовлене повітря розподіляється по окремих приміщеннях.

У місцевих системах повітря обробляється у невеликих кондиціонерах, розташованих у обслуговуваних приміщеннях, тому розподільна система повітропроводів у будівлі відсутня.

За принципом централізації окремих елементів і характером теплохолодопостачання СКП поділяють на автономні і неавтономні.

У автономних СКП кожен кондиціонер має свою систему теплохолодопостачання (складається з вмонтованої у нього холодильної машини з мережею підвідних трубопроводів) і апарати з тепловологісної обробки повітря.

Неавтономні системи мають централізовані, єдині для усієї будівлі, генератори тепла і холоду, від яких теплохолодоносій по розгалуженій мережі може підводитись до окремих місцевих кондиціонерів.

У великих громадських і промислових будівлях застосовують комбіновані СКП. У них зовнішнє повітря підлягає централізованій первинній обробці і потім подається у місцеві доводжувачі, розташовані у окремих зонах або приміщеннях будівлі. У доводжувачах його додатково обробляють і отримують припливне повітря потрібних для приміщення кондицій.

За сезонністю роботи СКП поділяють на:

- літні – для очищення, охолодження і осушення повітря;
- зимові – для очищення, нагрівання і зволоження повітря;
- цілорічні – для виконання усіх вказаних функцій.

Розрізняють системи кондиціонування:

- комфортного (для створення комфортних умов для перебування людей);
- технологічного (для підтримання умов нормального проходження технологічного процесу).

За використанням рециркуляційного повітря центральні системи кондиціонування поділяють на:

- прямотічні (обробляють лише зовнішнє повітря);
- працюючі з одною чи двома рециркуляціями (підмішують до основного потоку оброблюваного зовнішнього повітря до або до і після його зволоження внутрішнього повітря в певних пропорціях).

Центральні СКП найбільш поширені у практиці вітчизняного будівництва. Їх обладнують, як правило, неавтономними або випарними кондиціонерами.

Конструктивне виконання центральних кондиціонерів може бути секційним або блочним. Промисловість виготовляє центральні секційні кондиціонери продуктивністю за об'ємом повітря від 10 до 250 тис. м³/год.

Технічна справність та безперебійна і ефективна робота СКП забезпечуються постійним наглядом, своєчасним і якісним їх ремонтом. Правильна організація обслуговування СКП сприяє їх довговічності, а також зниженню витрат на експлуатацію і ремонт.

7.5. Розрахунок повітропроводів

Запроектована конструкція системи вентиляції повинна здійснювати рух повітря, яке долає опір стінок вентканалів, вентрешіток та ін. елементів системи. Цей рух забезпечується завдяки природному тиску або, якщо природний тиск недостатній, завдяки тиску, створеному механічно (вентиляторами).

Природний (гравітаційний) тиск виникає внаслідок перепаду температур холодного зовнішнього і теплого внутрішнього повітря:

$$\Delta p = gh_i(\rho_z - \rho_e), \quad \text{Па} \quad (7.5.1)$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

h_i , м – вертикальна відстань від центра витяжного отвору (вентрешітки) відповідного поверху до устя витяжної шахти;

ρ_z, ρ_e , кг/м³ – густина повітря, що відповідає температурі t_z та t_e зовнішнього та внутрішнього повітря. Для житлових і громадських будівель приймається $\rho_z = \rho_e = 1,27 \text{ кг/м}^3$ для $t_z = 5 \text{ С}$, ρ_e – залежно від t_e конкретного приміщення.

Для нормальної роботи системи природної вентиляції потрібно, щоб виконувалась умова:

$$\sum(R/\beta + Z) \leq (0,85 \dots 0,9) \Delta p, \quad \text{Па} \quad (7.5.2)$$

де $(0,85 \dots 0,9)$ – запас у 10-15% на невраховані в розрахунку гідравлічні опори елементів системи вентиляції;

R , Па/м – питомі втрати на тертя повітря зі стінками повітропроводу на розглядуваній ділянці довжиною l , м;

β – поправочний коефіцієнт на шорсткість поверхні;

Z , Па – втрати тиску у місцевих опорах:

$$Z = \sum \xi \cdot \rho_v, \quad (7.5.3)$$

де $\sum \xi$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів, які визначаються для кожної ділянки за розробленими таблицями (наприклад за [42, дод.22, с. 288-290], [52, дод.14, с. 263-265], он-лайн інформацією фірми Вентс) та зводяться в таблицю (див. [52, с.312]);

ρ_v , Па – динамічний тиск:

$$\rho_v = \frac{v^2}{2} \rho, \quad (7.5.4)$$

його також часто визначають за номограмою або таблицями.

Для визначення питомих втрат на тертя, R , потрібно знати:

1. Розміри вентканалів.

Для великих каналів це їх внутрішній діаметр d , а для прямокутних – еквівалентний діаметр:

$$d_e = \frac{2ab}{a+b}, \quad \text{м} \quad (7.5.5)$$

де a, b , м – розміри сторін прямокутного повітропроводу.

2. Швидкості руху повітря у кожній ділянці системи.

Ділянка – це частина повітропроводу довжиною l , м з постійною витратою повітря L , м³/год.

Для систем з природнім збудженням можна попередньо приймати значення швидкості руху повітря в каналах:

- верхніх поверхів $v=0,5 - 0,8$ м/с;
- нижнього поверху $v=1$ м/с;
- у збірних повітропроводах на горіщі $v \geq 1$ м/с;
- у витяжній шахті $v=1 - 1,5$ м/с.

Швидкість руху залежить від об'єму повітря, який повинен пройти через канал за одиницю часу, тобто заданої витрати L , м³/год.

Для відомої площі живого перерізу можна знайти швидкість руху повітря (рівняння постійності витрати):

$$v = \frac{L}{3600f} \quad \text{м/с} \quad (7.5.6)$$

де f , м² – площа поперечного перерізу вентканалу.

І навпаки, для потрібної швидкості руху повітря по повітропроводу можна знайти площу поперечного перерізу вентканалу:

$$f = \frac{L}{3600v} \quad \text{м}^2 \quad (7.5.7)$$

Маючи d, v, L можна знайти R для кожної ділянки за номограмою або таблицями (часто ці дані дають у каталогах чи сайтах фірми-виробники вентобладнання).

Вимоги до повітрообміну і відповідних витрат, L , повітря в системах вентиляції будівель визначають за відповідними нормативами для проектування цих будівель, наприклад для житлових будівель – за ДБН В.2.2-15:2019 Житлові будинки. Основні положення.

При розрахунку витрат, L , повітря передусім враховують теплове навантаження будівлі (кожної зони окремо та усіх зон сумарно). При цьому, витрати, L , повітря для систем кондиціонування повинні забезпечити показники мікроклімату на рівні комфортних умов для більшості користувачів протягом усього року.

7.6. Методика аеродинамічного розрахунку повітропроводів витяжної вентиляції

Нижче наведено методику розрахунку каналної природної витяжної вентиляції без організованого притоку повітря, найбільш використовуваної в житлових будинках (приміщеннях кухні, ванни, туалету тощо).

Результатом розрахунку повітропроводів системи вентиляції є правильний вибір розмірів вентканалів системи вентиляції, тобто заповнена таблиця розрахунку.

Заповнення цієї таблиці разом з виконанням відповідних креслень виконується у такому порядку.

1. Визначаються повітрообміни для кожного приміщення за кратністю повітрообміну, n , чи величиною повітрообміну L , м³/год.

2. На планах поверхів прорисовують вентканали.

Санвузли не об'єднують в систему з кухнями. У будівлях до 5 поверхів від приміщення кожного поверху проектується окремий вентканал. Для будинків висотою більше 5 поверхів допускається об'єднання окремих вертикальних витяжних каналів з кожних 4 – 5 поверхів в один збірний магістральний. Схеми об'єднання показані у [1, 34-39, 41].

3. Викреслюється аксонометрична схема з позначенням ділянок. Проставляються номери ділянок, значення L (м³/год) та l (м).

Приклади схем подано в [1].

Порядок нумерації ділянок – від найгіршої ділянки до устя витяжної шахти.

Найгіршою у даному випадку є ділянка, що здійснює витяжку повітря з найвищого приміщення і розташована найдалше (найбільша довжина повітропроводів) від устя витяжної шахти. Тобто від цієї ділянки буде найбільший опір рухові повітря по вентканалах $R/\beta+Z$.

4. За формулою (7.5.1) знаходиться Δp для кожного поверху.

5. Перед знаходженням Z визначаються коефіцієнти місцевого опору ξ .

Для кожної гілки (ланцюга ділянок від найдалшої до устя шахти) за довідковою таблицею знаходиться $\sum(R/\beta+Z)$ і перевіряється умова (7.5.2). Якщо ця умова не виконується, то потрібно виконати перепроєктування системи, наприклад збільшити розміри вентканалів, скоротити довжини повітропроводів (особливо по горизонталі), зменшити кількість (або вплив) місцевих опорів тощо, тобто виконати заходи, що впливають з аналізу умови (7.5.2).

В іншому випадку, коли $\sum(R/\beta+Z) > \Delta p$ (наприклад, для приміщень верхнього поверху), потрібно запроєктувати механічну витяжну вентиляцію з відповідним аеродинамічним розрахунком.

Цей розрахунок виконується аналогічно до викладеного вище, тільки в умові (7.5.2) замість природного тиску приймають тиск, створований підібраним вентилятором, p_v :

$$\Sigma(R/\beta+Z)=(0,85\dots0,9) p_v. \quad \text{Па}$$

При цьому, також потрібно запроєктувати припливну вентиляцію (природну або механічну).

Цей повітрообмін задається коефіцієнтом кратності повітрообміну, що залежить від призначення приміщень, інтенсивності забруднень та тепловиділень у них. Приклади аеродинамічного розрахунку систем механічної вентиляції - у [1].

При влаштуванні механічної вентиляції зростають швидкості руху повітря у вентканалах (тобто, втрати тиску), неправильно підібрана пропорція припливу-витяжки повітря може підвищити швидкість руху повітря у приміщеннях понад дозволені норми (спричинити протяги).

Результатом аеродинамічного розрахунку системи вентиляції є правильно підібрані розміри повітропроводів та технічні параметри обладнання вентиляційної системи.

Ефективними для забезпечення мікроклімату приміщень на рівні комфортних умов для більшості користувачів є системи автоматичного регулювання показників мікроклімату (передусім - температури повітря). Причому, найбільшої ефективності та економії ресурсів можна досягти при автоматичному регулюванні мікроклімату окремо по кожному приміщенню. При такому регулюванні значення витрати повітря не повинно бути нижчим санітарних вимог.

Методика проектування, будівництва і експлуатації систем вентиляції (головним чином, до механічних систем витяжної та припливної вентиляції, а також до механічної частини комбінованих систем вентиляції) та кондиціонування повітря приміщень громадських будівель, які призначені для постійного або тимчасового перебування людей (крім виробничих приміщень) викладена у нормативі: ДСТУ EN 16798-3:2019 Енергоефективність будівель. Вентиляція будівель. Частина 3. Вентиляція в нежитлових будівлях. Експлуатаційні вимоги до систем вентиляції та кондиціонування повітря в приміщенні (модулі М5-1, М5-4) (EN 16798-3:2017, IDT).

Тема 8. Газопостачання населених пунктів, пром підприємств, будівель та споруд

8.1. Класифікація горючих газів

Для газопостачання міст та інших населених пунктів використовуються природні і штучні горючі газу. До природних

належать: гази, добуті з чисто газових родовищ; попутні гази, виділені з видобутої нафти; гази, отримані з газоконденсатних родовищ; зріджені вуглеводні гази, вилучені з попутних газів та із газоконденсатних родовищ.

Гази чисто газових родовищ складаються переважно з метану і належать до пісних газів, які містять тяжких вуглеводів, крім етану, менше 50 г/м³. Тяжкі вуглеводні у горючих газах – етан, пропан, бутан, пентан і гексан. Попутні гази – суміш сухого газу з важкими вуглеводнями; вони відносяться до категорії жирних газів. Вміст важких вуглеводнів в них – понад 150 г/м³.

Гази газоконденсатних родовищ – це суміш сухого газу з парами конденсату важких вуглеводнів. При зниженні тиску до певних величин важкі вуглеводні випадають з газу у вигляді рідини. Зріджені вуглеводні гази – це суміш важких вуглеводнів, переважно пропану і бутану. При порівняно невеликому надлишковому тиску чи пониженої температурі вони знаходяться у рідкому стані, при нормальних умовах – у пароподібному вигляді. До штучних відносяться гази, вироблені на газових заводах у процесі термічної переробки твердого і рідкого палива, а також виділені як вторинні продукти при доменному процесі, отриманні коксу, переробці нафти тощо.

За методом виробництва штучні горючі гази діляться на дві групи: гази середньотемпературної (до 600 °С) та високотемпературної (до 1000 °С) сухої перегонки твердого чи рідкого палива без доступу повітря (коксовий, сланцевий гази, газ піролізу нафти тощо); гази беззалишкової газифікації, отримувані шляхом часткового спалювання твердого палива у потоці повітря, кисню чи їх сумішей з водяною парою (гази підземної газифікації, генераторний, водяний, доменний).

Властивості газового палива визначаються властивостями його горючих і негорючих компонентів, а також домішок, викладених у довідковій літературі. Горюча частина газового палива складається із вуглеводнів, водню, і оксиду вуглецю. В негорючу частину входять вуглекислий газ, азот і кисень. До домішок відносяться сірководень, аміак, ціаністі сполуки, водяні пари, нафталін, смоли, пил та ін. Негорючі компоненти у домішку є баластом, який погіршує експлуатаційні властивості газу, тому вміст їх у газі доводиться до лімітованого мінімуму за відповідним ДСТУ.

8.2. Зовнішні мережі газопостачання

Магістральний трубопровід (як правило, підземний), по якому природний газ транспортується від родовища, газобензинового заводу до міста є комплексом споруд: власне газопровід з відгалуженнями, компресорні станції (КС) для перекачування газу і газорозподільні станції (ГРС). Компресорні станції, що знаходяться на відстані 120 –

150 км, забезпечують подачу газу з тиском $p_{\text{надл}}$ до 5 МПа до ГРС, які є головною спорудою при вводі газу у населений пункт. На ГРС газ проходить через фільтри, регулятори тиску, одоризується (одоризація – підмішування до газу речовин, що сильно пахнуть: етилмеркаптану, пропилмеркаптану). Тиск газу, що поступає з ГРС у газорозподільні мережі, зазвичай не перевищує 1,2 МПа.

По газорозподільних мережах, прокладених на території міста чи іншого населеного пункту, газ подається до споживачів.

За максимальним робочим тиском, газорозподільні мережі поділяються на газопроводи: низького тиску (до 0,005 МПа); середнього тиску (до 0,005-0,3 МПа); високого тиску (до 0,3-0,6 МПа або до 0,6-1,2 МПа).

До газопроводів низького тиску під'єднуються житлові і громадські будівлі і дрібні комунально-побутові підприємства.

Газопроводи середнього і високого тиску $p_{\text{надл}}$ до 0,6 МПа служать для живлення газорозподільних мереж низького тиску через газорегуляторні пункти (ГРП), а також великих споживачів газу (промислових підприємств, хлібозаводів тощо).

На промпідприємствах дозволяється застосування газу низького, середнього і високого тиску до 0,6 МПа (6 кгс/см²), а для технологічних потреб – до 1,2 МПа (12 кгс/см²).

За схемою живлення споживачів газорозподільні мережі поділяються на одноступеневі, двоступеневі, триступеневі, багатоступеневі. Застосування конкретної схеми визначається величиною населеного пункту, плануванням його забудови, розташуванням житлової (селітебної) і промислової зон, і витратою газу окремими споживачами. У невеликих населених пунктах з малою витратою газу виконується одноступенева система низького тиску. У середніх містах застосовується, переважно, двоступеневі системи, а у великих – триступеневі (або багатоступеневі), оскільки при великих витратах газу промисловими і комунально-побутовими підприємствами з подаванням його на великі відстані робота на низькому тиску потребує збільшення діаметру газопроводів і ускладнює підтримання потрібного тиску у віддалених від ГРП споживачів.

Від міських розподільних мереж газ подається до споживача по відводу (відгалуженні), тобто по тій частині газопроводу, яка йде від розподільної її частини до засувки, встановлюваної на вводі у підприємство чи прибудинкову територію. Ділянка газопроводу від вимикаючої засувки до вводу в будівлю називається дворовим (внутріквартирним) газопроводом. Всередині будівлі газопровід від його вводу до газоспоживачого приладу називається внутрішнім (внутрідомовим або внутріцеховим).

Газорегулювальні пункти (ГРП) і установки (ГРУ) служать для зниження тиску газу і підтримання його на потрібному заданому рівні. ГРП зазвичай споруджують для живлення розподільних мереж, а ГРУ – для живлення окремих споживачів. ГРП розташовують в окремих будівлях чи шафах ззовні будівлі, ГРУ – у приміщеннях підприємства, де розташовані агрегати, що використовують газ. Відстані між окремо розташованими ГРП, іншими будівлями і спорудами, інженерними та транспортними мережами нормуються [30]. ГРП і ГРУ не влаштовуються у підвальних та напівпідвальних приміщеннях, а також у житлових і громадських будівлях, навчальних, дитячих і лікувальних закладах. Приміщення для ГРП повинно відповідати нормативним вимогам з пожежної безпеки, опалюватись (не нижче +15°C) і мати самостійний вихід (якщо це прибудова до будівлі).

Газопроводи, особливо середнього і високого тиску, є найнебезпечнішими з усіх видів міських підземних споруд, оскільки газ при пошкодженні трубопроводу може просочитись через ґрунт, проникнути у підвали будівель, колодязі та канали (колектори) та накопичитись там, створюючи загрозу вибуху газоповітряної суміші.

Прокладання зовнішніх газопроводів незалежно від призначення і тиску газу проектується, як правило, підземним. При виборі траси газопровід прокладається якнайдалі від будівель, споруд та інших комунікацій, особливо працюючих неповним перерізом (каналізація) і прокладених в каналах (теплова мережа), а також від водопровідних і телефонних колодязів та трамвайних шляхів. Надземне прокладання газопроводів допускається на території промислових і комунально-побутових підприємств, а також всередині житлових кварталів і дворів. Відстані від підземних газопроводів до споруд, будівель і комунікацій нормуються [24, 25, 30 та ін.].

Газопроводи виконують зі сталевих труб, з'єднуючи їх зварюванням. У місцях приєднання газових приладів, арматури і іншого обладнання застосовують фланцеві і різьбові з'єднання. Глибина закладання газопроводів – нижче середньої глибини промерзання ґрунту (при вологому газі) чи не менше 0,8 м від поверхні ґрунту (при осушеному газі). Похил трубопроводів – не менше 0,002, для забезпечення відведення конденсату з газу у конденсатозбірники і попередження утворення водяних пробок. Для виключення окремих ділянок газопроводу або відключення споживачів встановлюється запірна арматура (у колодязі). Для запобігання розривів зварних стиків чи засувок, через зміну температурних умов, у колодязях встановлюються лінзові компенсатори (після засувки за рухом газу).

8.3. Внутрішні мережі газопостачання

Джерелом газопостачання будівлі є вуличні газопроводи або газобалонні установки зрідженого газу. Житлові будинки найчастіше приєднуються до газопроводів низького тиску, а при їх відсутності або недостатній потужності можливе підключення до газопроводів середнього і високого тиску з обов'язковим встановленням ГРП. Багато населених пунктів газифікують зрідженим газом. У невеликих будівлях використовуються балонні установки, а у багатоповерхових – підземні резервуари (за 8 – 45 м від будівель з можливістю під'їзду автоцистерн).

Система газопостачання будівлі складається з відгалужень дворових (внутріквартильних) мереж, вводів, внутрішніх газопроводів, газових приладів і арматури. На промислових мережах передбачаються також продувні трубопроводи (для видалення газу із системи при ремонтах). Вводи у житлових будівлях проходять через нежитлові приміщення, доступні для огляду (сходові клітки, кухні, коридори). У громадські, комунально-побутові, промислові будівлі, підприємства громадського харчування вводи передбачають на сходових клітках, приміщеннях з газовими приладами чи суміжних приміщеннях, які мають не менше як 3-кратний годинний повітрообмін і з'єднані з основним дверним прорізом. Через вибухонебезпечність не допускається прокладання вводів у підвали, машинні відділення, ліфтові приміщення, вентиляційні камери і шахти, сміттєзбірники, електророзподільні пристрої, склади. При прокладанні газових мереж у внутріквартильних колекторах можливе влаштування вводів у технічних підвалах і коридорах. При просушеному газі ввід прокладають ззовні будівлі, він проходить через стіну вище фундаменту. При вологому чи зрідженому газі, де можливе утворення конденсату чи льодяних пробок, діаметр вводу збільшується на один-два розміри (відносно розрахункового), теплоізолюється або прокладається всередині будівлі. У доступному освітленому місці монтують кран або засувку для відключення внутрібудинкової мережі. При вводі в кухню житлового будинку кран встановлюють ззовні будівлі в ніші.

Ввід газопроводу прокладається з ухилом 0,002 у бік дворової мережі, а його діаметр, через можливість забруднень вводу осадами і відкладеннями, приймається не менше 50 мм.

Внутрішні газопроводи складаються із розвідних трубопроводів, стояків, поверхових розведень та мають запірну, регульовальну і запобіжну арматуру. Газопроводи кріплять за допомогою скоб, хомутів, підвісок аналогічно водопровідним трубам.

Газові стояки розміщуються у місцях зосередження газових приладів. У житлових будівлях вони прокладаються у приміщеннях кухонь, коридорах, на сходових клітках. У житлових, ванних кімнатах, санвузлах прокладання стояків не допускається.

Конденсатозбірники збирають рідину (конденсат), що виділяється з вологого газу при його охолодженні. В основному це вода, а також важкі вуглеводні (бутан, пропан і т.д.). Конденсатозбірники з'єднують з трубою зварюванням. Їх встановлюють у понижених ділянках газопроводу (куди стікає конденсат) нижче глибини промерзання. Регулятори тиску газу використовують для зниження тиску газу, підтримання його на заданому рівні. Вони є з'єднувальною ланкою між мережами високого, середнього, низького тиску або газобалонною установкою і газовим приладом.

Газові прилади широко застосовуються на різні побутові і виробничі потреби: у житлових будинках – плитки, водонагрівачі (для опалення і гарячого водопостачання), котли, каміни, інфрачервоні випромінювачі; на підприємствах громадського харчування – кип'ятильники, котли для варіння їжі, ресторанный плити, холодильники; у пральнях – сушильні і прасувальні машини; на промпідприємствах – у котлах та ін. тепловому обладнанні. Газові прилади характеризуються теплонавантаженням, ККД, витратою і тиском газу, при яких вони роблять. Характеристики приладів: номінальні – при режимах найкращої роботи приладу (максимальні ККД і повнота спалювання і т.д.); граничні – максимально можливі відхилення значень параметрів, при яких у деталях приладу не виникає небезпечних теплонапружень і можлива нормальна експлуатація приладу.

Теплове навантаження - кількість хімічного тепла в газі, що подається приладу, рахуючи по нижній теплоті згоряння Q_H^T , кДж/м³(ккал/м³): $N = Q_{\text{ага}} Q_i^0 / 3,6$, Вт, де: $Q_{\text{газ}}$, м³/год – кількість газу. ККД приладу – кількість тепла, переданого тілу, що нагрівається (теплопродуктивність приладу), $\eta = N_{\text{п}} / N$, де $N_{\text{п}}$, Вт (ккал/год). Витрата газу, потрібна для роботи приладу $Q_{\text{газ.пр}} = N / Q_H^T$, вимірюється в умовах, приведених до нормальних, тобто при 0 °С і 0,1 МПа (1 кгс/см²). Використовують об'ємні газові лічильники або витратоміри із звужувальними пристроями і дифманометрами, у промбудівлях - ротацийні лічильники. Тиск газу, при якому працює прилад, p , вимірюється біля місця підключення приладу до газопроводу. Для побутових приладів номінальна величина p приймається 2 кПа (200 мм вод. ст.), якщо вони працюють на

природному газі з $Q_H^T=33,4-41,8$ МДж/м³ (8000-10000 ккал/м³), 1,3 кПа (130 мм вод.ст.) – для штучних і змішаних газів з $Q_H^T=14,6-18,6$ МДж/м³ (3500–4500 ккал/м³), 3 кПа (300 мм вод.ст.) – для зріджених газів з $Q_H^T=92,0-116,0$ МДж/м³ (22000–28000 ккал/м³).

8.4. Проектування внутрішніх мереж газопостачання

Основним нормативом, що використовується при проектуванні мереж газопостачання є ДБН В.2.5-20:2018 Газопостачання [30]. Цей норматив також містить вимоги до умов розташування газового обладнання, вентиляції приміщень.

Розрахунок системи газопостачання складається із визначення розрахункових витрат на кожній ділянці розрахункового шляху руху газу (від точки приєднання до джерела газопостачання до найвіддаленішого і високо розташованого газового приладу) і визначення діаметрів трубопроводу за допустимими втратами тиску в мережі [30, 34, 35, 41-44].

При розрахунку систем газопостачання нерівномірність споживання газу враховується коефіцієнтом нерівномірності, тобто відношенням максимальної витрати до середньої за певний відрізок часу (місяць, добу, годину).

Розрахункова витрата газу, нм³/год, визначається за сумою номінальних витрат газу, які приймаються за технічними характеристиками газових приладів, з урахуванням одночасності роботи приладів:

$$V = k_0 \sum_{i=1}^{i=m} V_i n_i, \quad (8.4.1)$$

де k_0 - коефіцієнт одночасності роботи газових приладів;

V_i - номінальна витрата газу на один прилад, нм³/год;

m - кількість типів газових приладів;

n_i - кількість однотипних газових приладів.

Значення коефіцієнта одночасності роботи газових приладів приймається залежно від кількості встановлених приладів, їх потужності і режиму роботи. Для житлових будинків він приймається залежно від кількості квартир у будівлі, типу і кількості приладів у квартирі.

Гідравлічний розрахунок газопроводів виконують за таблицями чи номограмами. Для гідравлічного розрахунку складають розрахункову схему, на якій вказують довжину розрахункових ділянок, фасонні частини, арматуру і встановлене обладнання. Розрахунок починається з газопроводу для найбільш віддалених газових приладів.

Розрахунок втрат тиску у системі виконується з урахуванням впливу на значення питомих втрат тиску по довжині таких показників як вид газу (від нього залежить теплота згоряння і, відповідно, витрата газу), густина та кінематична в'язкість газу. Втрати тиску у місцевих опорах враховуються, як правило, як відсоток від втрат по довжині: на газопроводах від вводу у будівлю до стояка – 25 %, на стояках – 20 %, в квартирному розведенні: при довжині 1 – 2 м – 450 %; 3 – 4 м – 200 %; 5 – 7 м – 120 %; 8 – 12 м – 50 %.

При розрахунку багатопверхових будівель потрібно враховувати додатковий природний тиск, Па, створюваний газом, густина якого менша від густини повітря.

Діаметри трубопроводів розведень, які підводять газ до приладів, приймаються рівними діаметру підведень. Діаметри решти трубопроводів підбираються так, щоб сума втрат тиску на всіх ділянках розрахункового шляху з врахуванням втрат на місцеві опори і додатковий природний тиск не перевищувала допустиму суму. В іншому випадку потрібно здійснити перерахунок із збільшенням діаметрів трубопроводів.

Список рекомендованої літератури

1. Розрахунок систем інженерного обладнання будівель: навч. пос. / Кравченко В.С., Проценко С.Б., Кравченко Н.В.; За ред. В.С. Кравченка. - Рівне: НУВГП, 2016.– 495 с.
2. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація: Підр. - Кондор, 2022 – 288 с.
3. Шадура В.О., Кравченко Н.В. Водопостачання та водовідведення: навч. посібник. – Рівне : НУВГП, 2018. – 343 с.
4. Hamilton S, Charalambous B, Wyeth G. Improving Water Supply Networks: Fit for Purpose Strategies and Technologies - IWA Publishing, 2021. - 103 p. <https://doi.org/10.2166/9781780409207>
5. Орлов В.О., Шадура В.О., Филипчук В.Л. Міські інженерні мережі та споруди: Навч. посібник. - Рівне: НУВГП, 2011. – 200 с.
6. Тугай А.М., Орлов В.О., Шадура В.О., Шадура С.Ю. Міські інженерні мережі та споруди: підручн.– Київ: Укреліотех, 2010. – 256 с.
7. Ткачук О. А. Міські інженерні мережі : навч. посіб. / О. А. Ткачук. - Рівне : НУВГП, 2015. - 412 с.
8. Інженерні мережі. Електронний навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 Архітектура та будівництво спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія денної та заочної форм навчання / уклад.: Синій С.В., Сунак П.О. – Луцьк: ЛНТУ, 2022. URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/Синій%201/index.html
9. Лівінський О.М. та ін. Конструкції та технологія будівництва інженерних мереж та споруд: Підручник. – К : МП Леся, 2013. – 232 с.
10. Деркач І.Л., Клімов А.О., Ковальов Д.О. Експлуатація інженерних мереж. – Х.: ХНАМГ, 2013. – 180 с.
11. Якименко О. В., Морковська Н. Г. Технічна експлуатація інженерних мереж : навч. посібник. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 289 с.
12. Бруква В.В., Несторенко Т.М., П'ятничук Т.В. Сучасні матеріали і технології санітарно-технічних систем та устаткування. – К.: Освіта, 2013. – 306 с.
13. Хомутецька Т.П., Хоружий В.П. Водозабірні споруди з поверхневих та підземних джерел: навч. посіб. – Київ: КНУБА, 2023. – 288 с.
14. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води: Підручник. - К.: Вища шк., 2005 – 671 с.
15. Ліпянін В.А., Стародуб І.В. Інженерна підготовка і благоустрій міських територій. Навчальний посібник. – Рівне. : 2015. – 293 с.
16. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Зі Зміною № 1 – К.: Мінрегіон України, 2019.
17. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Зі Зміною № 1 – К.: Мінрегіон України, 2019.
18. ДБН В.2.5-64:2013 Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. Зі Зміною № 1 – К.: Мінрегіон України, 2019.
19. ДСТУ Б А.3.2-14:2011 Експлуатація водопровідних і каналізаційних споруд і мереж. Загальні вимоги безпеки (ГОСТ 12.3.006-75, MOD). – К: Мінрегіон України, 2012.

20. ДСанПІН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною (Наказ № 400 від 12.05.2010) – К: МОЗ України, 2010.
21. Закон України "Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання" (від 22.06.2017, № 2119-VIII) 2017 р., ВВР № 34 (від 25.08.2017).
22. ДБН А.3.1-5-2016 Організація будівельного виробництва. – К.: Мінрегіонбуд та ЖКГ України, 2016.
23. ДБН А.3.2-2-2009 Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012.
24. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування і забудова територій. - Київ: Мінрегіон України, 2019.
25. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. Зі Зміною № 1 - Київ: Мінрегіон України, 2018.
26. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – К: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022.
27. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. - К.: Мінрегіонбуд України, - 2011.
28. ДБН В.2.5-39:2008 Теплові мережі. Зі Зміною № 1 - К.: Мінрегіонбуд України, - 2018.
29. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Мінрегіон України, 2013.
30. ДБН В.2.5-20:2018 Газопостачання. З урахуванням Зміни № 1 – К.: Мінрегіон України, 2019.
31. ДСТУ EN 12831-1:2017 Енергоефективність будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження. Частина 1. Теплове навантаження, Модуль М3-3 (EN 12831-1:2017, IDT); чинний з 15.12.2017.
32. Energy Performance of Buildings Directive (2024/1275, the "EPBD") (Директива про енергетичну ефективність будівель, 2024).
33. ДСТУ EN 12831-1:2017 Енергоефективність будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження. Частина 1. Теплове навантаження, Модуль М3-3 (EN 12831-1:2017, IDT). ДП УкрНДНЦ, 2017.
34. Шульга М.О. Теплогазопостачання та вентиляція: навч. посібник / М.О. Шульга, О.О. Алексахін, Д.О. Шушляков; ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. – Х. : ХНУМГ, 2014. – 191 с.
35. Алексахін О. О., Панчук О. В. Теплогазопостачання і вентиляція. Вибрані задачі: Навч. посібник. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – 230 с.
36. Zhiqiang John Zhai. Energy Efficient Buildings : Fundamentals of Building Science and Thermal Systems. USA : John Wiley & Sons, 2022. 384 p.
37. Довгалюк В.Б. Аеродинаміка вентиляції: навчальний посібник / В.Б. Довгалюк. – ІВНВКП «Укреліотех», 2015. – 366 с.
38. Джеджула, В. В. Вентиляція та кондиціонування громадських об'єктів : навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 71 с.
39. Мілейковський В. О., Котелков Л.М. Вентиляція індивідуального житлового будинку – Дніпро: Середняк Т. К., 2018 — 156 с.
40. Пирков В. В. Особливості проектування сучасних систем водяного опалення. — К.: ІІ ДП «Такі справи», 2003. — 176 с.
41. Теплогазопостачання та вентиляція: навч. посібник / О. Т. Возняк, О. О. Савченко, Х. В. Миронюк, С. П. Шаповал, Н. А. Сподинюк, Б. І. Гулай. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 276 с.

42. Сідак В.С. Сучасні та інноваційні технології в безпеці газопостачання: монографія / В. С. Сідак, В. М. Супонєв, Ю. Ф. Броневський; за заг. ред. В.С. Сідака. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. – 433 с.
43. Пономарчук, І. А. Газопостачання : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання / І. А. Пономарчук, Н. М. Слободян. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 103 с.
44. Слободян, Н. М. Системи транспортування газу для комунальних та промислових підприємств : навчальний посібник / Н. М. Слободян, І. А. Пономарчук. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 63 с.
45. Пирков В.В. Сучасні теплові пункти. Автоматика та регулювання. – К.: ІІ ДП «Такі справи», 2008.– 252 с.
46. Пономарчук, І. А. П. Опалення : навчальний посібник / І. А. Пономарчук, К. В. Колесник – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 125 с.
47. Теплообмінні апарати в системах тепlopостачання: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / О. О. Алексахін, А.М. Ганжа, О. В. Круглякова. Харків: вид-во «Друкарня Мадрид», 2023. 249 с.
48. Клименко В. В., Солдатенко В. П., Плешков С. П., Скрипник О. В., Саченко А.І. Альтернативні джерела енергії та технології їх використання: підруч. / за ред. д.т.н., проф. Клименко В. В. – МОН України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ПП Ексклюзив-Систем, 2023. – 268 с.
49. Ратушняк, Г.С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела тепlopостачання : навчальний посібник / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, К. В. Анохіна – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 170 с.
50. Арсеньєв В. М. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку : навчальний посібник / В. М. Арсеньєв, С. С. Мелейчук. – Суми : Сумський державний університет, 2018. – 364 с.
51. Електротехніка у будівництві : підручник / за ред. В. М. Охріменка; – 2-ге вид., випр. і доп. – Харків : ХНУМГ, 2015. – 447 с.
52. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) / Наказ від 21.07.2017 № 476. – К: Міненерговугілля України, 2017.
53. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Наказ від 25.07.2006 № 258 (зі змінами за Наказом від 11.01.2017 № 7). – К: Міненерговугілля України, 2017.
54. НПАОП 0.00-1.02-08 Правила будови і безпечної експлуатації ліфтів / Наказ N 190 від 01.09.2008 – К: Держгірпромнагляд, 2008.

Додатки

Додаток А. Таблиця співвідношення між деякими одиницями фізичних величин в системах МКГСС, МТС, СГС та Si

Назва величини	Одиниця		Співвідношення
	МКГСС, МТС, СГС	Si	
Сила навантаження, вага.	кгс тс гс	Н	1 кгс = 9,8 Н ≈ 10 Н 1 тс = 9,8 · 10 ³ Н ≈ 10 кН 1 гс = 9,8 · 10 ⁻³ Н ≈ 10 мН
Тиск, напір, висота всмоктування чи нагнітання.	кгс/см ² ат мм вод.ст. мм рт.ст.	Па	1 кгс/см ² = 1 ат = 9,8 · 10 ⁴ Па ≈ 10 ⁵ Па = 0,1 МПа ≈ 1 атм 1 мм вод.ст. = 9,8 Па ≈ 10 Па 1 мм рт.ст. = 133,3 Па 1 бар ≈ 10 м вод.ст. ≈ 10 ⁵ Па
Робота (енергія)	кгс·м	Дж	1 кгс·м = 9,8 Дж ≈ 10 Дж 1 Дж = 1Н·м
Кількість теплоти	кал ккал	Дж	1 кал ≈ 4,2 Дж 1 ккал ≈ 4,2 кДж
Потужність	кгс·м/с к. с. кал/с ккал/год	Вт	1 кгс·м/с = 9,8 Вт ≈ 10 Вт 1 к. с. ≈ 735,5 Вт 1 кал/с ≈ 4,2 Вт 1 ккал/год ≈ 1,16 Вт
Питома теплоємність	кал/(г·°С) ккал/(кг·°С)	Дж/(кг·К)	1 кал/(г·°С) ≈ 4,2 · 10 ³ Дж/(кг·К) 1 ккал/(кг·°С) ≈ 4,2 кДж/(кг·К)
Теплопровідність	кал/(с·см·°С) ккал/(год·м·°С)	Вт/(м·К)	1 кал/(с·см·°С) ≈ 420 Вт/(м·К) 1 ккал/(год·м·°С) ≈ 1,16 Вт/(м·К)
Коефіцієнт теплообміну, тепловіддачі, теплопередачі	кал/(с·см ² ·°С) ккал/(год·м ² ·°С)	Вт/(м ² ·К)	1 кал/(с·см ² ·°С) ≈ 42 · 10 ³ Вт/(м ² ·К) = 42 кВт/(м ² ·К) 1 ккал/(год·м ² ·°С) ≈ 1,16 кВт/(м ² ·К)
Витрата (об'ємна) рідини, газу; об'ємна продуктивність	м ³ /с см ³ /с	м ³ /с	1 см ³ /с = 10 ⁻⁶ м ³ /с
Довжина, діаметр	м	м	дюйм, 1" = 2,54 см ≈ 2,5 · 10 ⁻² м
Об'єм	м ³	м ³	1 л = 10 ⁻³ м ³ = 1 дм ³

Додаток Б. Умовні проходи і відповідні їм уніфіковані зовнішні діаметри сталевих труб

D _y	D _{зовн} за сортаментами					
	Водогазопровідні (ДСТУ 8936:2019)		Зварні (ДСТУ 8943:2019)		Безшовні	
	Загального призначення	Під накатку різьби	Загального призначення	Під накатку різьби	ДСТУ 8938: 2019	ДСТУ 8939: 2019
6	10,2	-	10	-	-	10
8	13,5	-	14	-	-	13
10	17	16	16	16	-	16
15	21,3	20	22	20	-	20
20	26,8	26	26	26	-	26
25	33,5	32	33	32	32	32
32	42,3	41	42	40	42	42
40	48	47	48	48	50	48
50	60	59	57	57	57	57
65	75,5	74	76	73	76	76
80	88,5	-	89	-	89	89
100	114	-	108	-	108	108
125	140	-	133	-	133	130
150	165	-	159	-	159	160
200	-	-	219	-	219	220
250	-	-	273	-	273	-
300	-	-	325	-	325	-
350	-	-	377	-	377	-
400	-	-	426	-	426	-
450	-	-	480	-	480	-
500	-	-	530	-	530	-
600	-	-	630	-	630	-
700	-	-	720	-	720	-
800	-	-	820	-	-	-
1000	-	-	1020	-	-	-
1200	-	-	1220	-	-	-
1400	-	-	1420	-	-	-
1600	-	-	1620	-	-	-

Примітки:

1. ДСТУ 8936:2019 Труби сталеві водогазопровідні. Технічні умови.
2. ДСТУ 8943:2019 Труби сталеві електрозварні. Технічні умови.
3. ДСТУ 8938:2019 Труби сталеві безшовні гарячедеформовані. Технічні умови.
4. ДСТУ 8939:2019 Труби сталеві безшовні холоднореформовані. Технічні умови.

Інженерні мережі [Текст]: конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньо-професійної програми «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 Архітектура та будівництво спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія денної та заочної форм навчання / уклад. С. СИНІЙ. – Луцьк: ЛНТУ, 2025. – 120 с.

Комп’ютерний набір та верстка: С. СИНІЙ

Редактор: С. СИНІЙ

Підп. до друку «__» _____ 2025 р. Формат 60x84/16. Папір офс.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 7,5.
Тираж __ прим.

Луцький національний технічний університет
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75