

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

Гаряче водопостачання

Методичні вказівки

до виконання лабораторної роботи з теми «Експериментальне визначення
нерівномірності споживання гарячої води громадської будівлі»
для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика»

Київ 2024

УДК 697.34.001.63

Г20

Укладачі: П.М. Гламаздин, доцент;
Н.В. Чепурна, канд. техн. наук, доцент;
Б.І. Козячина, аспірант

Рецензент К.О. Габа, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск: М.А. Кириченко, канд. техн. наук,
доцент, завідувач кафедри

*Затверджено на засіданні кафедри теплотехніки, протокол
№3 від 12 жовтня 2022 року.*

В авторській редакції.

Гаряче водопостачання : методичні вказівки до виконання
Г20 лабораторної роботи з теми «Експериментальне визначення
нерівномірності споживання гарячої води громадської будівлі» /
уклад. : П.М. Гламаздин, Н.В. Чепурна, Б.І. Козячина. – Київ :
КНУБА, 2024. – 60 с.

Містять методику виконання лабораторної роботи, знайомлять
студентів з методом і приладами для визначення витрати води,
сприяють глибшому засвоєнню здобутих знань щодо режимів
водоспоживання громадської будівлі та способів нагріву води.

Призначені для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика»
денної та заочної форм навчання.

© КНУБА, 2024

Загальні положення

Лабораторні роботи проводяться з метою закріплення теоретичних знань, отриманих під час лекційного курсу навчальної дисципліни «Гаряче водопостачання» і сприяють набуттю практичних навичок і знань.

Здобуті дані і результати їхньої обробки під час виконання лабораторної роботи подаються у формі звіту, який повинен містити:

1. Титульний лист (приклад наведено в дод.1).
2. Тема лабораторної роботи.
3. Мета роботи.
4. Основні теоретичні відомості.
5. Принципова схема лабораторного стенду із зазначенням основних елементів.
6. Таблиці для внесення фіксації експериментальних даних.
7. Обробка експериментальних даних.
8. Висновок.

До виконання лабораторних робіт можуть бути допущені студенти, які пройшли інструктаж з охорони праці та правил протипожежної безпеки.

Якщо має місце невиконання всіх вимог інструкцій з охорони праці та протипожежної безпеки, а також встановлених правил, студенти негайно залишають лабораторію, щоб уникнути нещасних випадків.

Для успішного виконання лабораторних робіт кожен студент повинен:

- ознайомитися з основними положеннями і розрахунковими формулами лабораторної роботи, її метою і методикою виконання лабораторної роботи, а також з принципом роботи лабораторних приладів;
- відповісти викладачеві на контрольні запитання та отримати допуск до виконання лабораторної роботи;
- тільки після дозволу від викладача або лаборанта починати виконання лабораторної роботи;
- загальну послідовність проведення лабораторних робіт виконувати згідно з положеннями методичних вказівок;
- провести експериментальні дослідження, заповнити таблицю експериментальних даних. Представити викладачеві на перевірку отримані результати експериментів;

– здійснити необхідну обробку експериментальних даних, провести розрахунки, побудувати графіки. Зробити висновки щодо роботи.

– виконувати вимоги викладача, що веде заняття, і лаборанта.

Якщо виявлено поломки або незначні несправності експериментальної установки, необхідно повідомити про це лаборанта або викладача.

Після виконання лабораторної роботи студент повинен підготувати і представити до захисту звіт, оформлений на аркушах формату А 4.

Викладач перевіряє оформлений звіт про виконану роботу студентом. Після цього проводиться співбесіда зі студентом.

Необхідно, щоб студент добре володів матеріалом і міг пояснювати представлені в роботі результати і висновки. Якщо у викладача в ході захисту роботи виникли зауваження, вони фіксуються на титульному аркуші роботи. Для успішного захисту роботи необхідно усунути недоробки.

Студент не може бути допущений до іспиту (заліку) з навчальної дисципліни, якщо він не виконав і не захистив лабораторні роботи, зазначені в навчальному плані.

Короткі теоретичні основи

Визначаючи кількість теплової енергії, необхідної для функціонування системи гарячого водопостачання (ГВП) для будь-якої будівлі, виникає питання вибору способу нагріву. Можливі два способи отримання гарячої води: в ємнісному теплообміннику та проточному [1].

Нагрів води в ємнісному теплообміннику вимагає значно меншої потужності джерела теплоти порівняно з проточним, адже він передбачає акумулювання гарячої води для покриття піків режиму водоспоживання. Величина потужності джерела теплоти має безпосередній вплив на його вартість та вартість супутнього обладнання. Крім того, підбір джерела теплоти надмірної потужності призведе до додаткових втрат теплоти, спричинених надмірним опаленням в перехідні періоди. Через це спосіб нагріву води в ємнісному теплообміннику доцільно застосовувати в тих випадках, коли миттєве теплове навантаження системи ГВП значно перевищує навантаження системи опалення. Також цей спосіб добре підходить для будівель, режим водоспоживання яких характеризується

короткими проміжками високого і середнього рівня водоспоживання та довготривалими проміжками низького або відсутнього водоспоживання. За такого режиму вода нагріватиметься упродовж проміжків мінімального або відсутнього водорозбору. Однак відсутність постійного водорозбору за недостатньої автоматизації призведе до додаткових втрат теплової енергії, адже закумульована вода буде поступово охолоджуватись. Цей спосіб не здатен забезпечувати задану температуру води за тривалих водорозборів, а отже не підходить будівлям, для яких характерний такий режим споживання гарячої води. Крім того, ємнісний водонагрівач має значний об'єм та матеріалоємність порівняно з проточним теплообмінником. Принципову схему роботи ємнісного водонагрівача наведено на рис. 1.

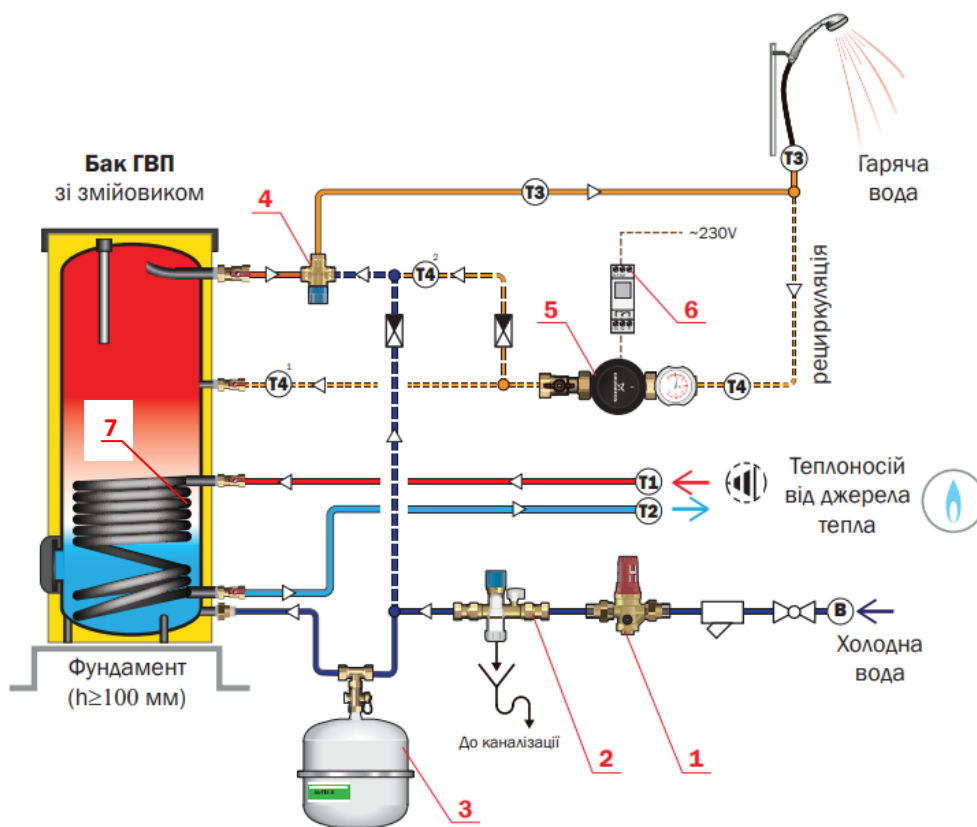


Рис. 1. Принципова схема нагріву води в ємнісному водонагрівачі:

1 – регулятор тиску; 2 – запобіжно-сکیدний клапан; 3 – мембранний розширювальний бак; 4 – змішувач термостатичний; 5 – насос рециркуляції; 6 – реле часу; 7 – теплообмінник

Система ГВП з нагрівом в проточному теплообміннику має значно менший об'єм, а отже меншу інерційність та втрати теплоти. Через швидкісний нагрів води цей спосіб підходить для будівель як з постійним,

так і з нерівномірним характером водоспоживання. Принципову схему швидкісного теплообмінника наведено на рис. 2.

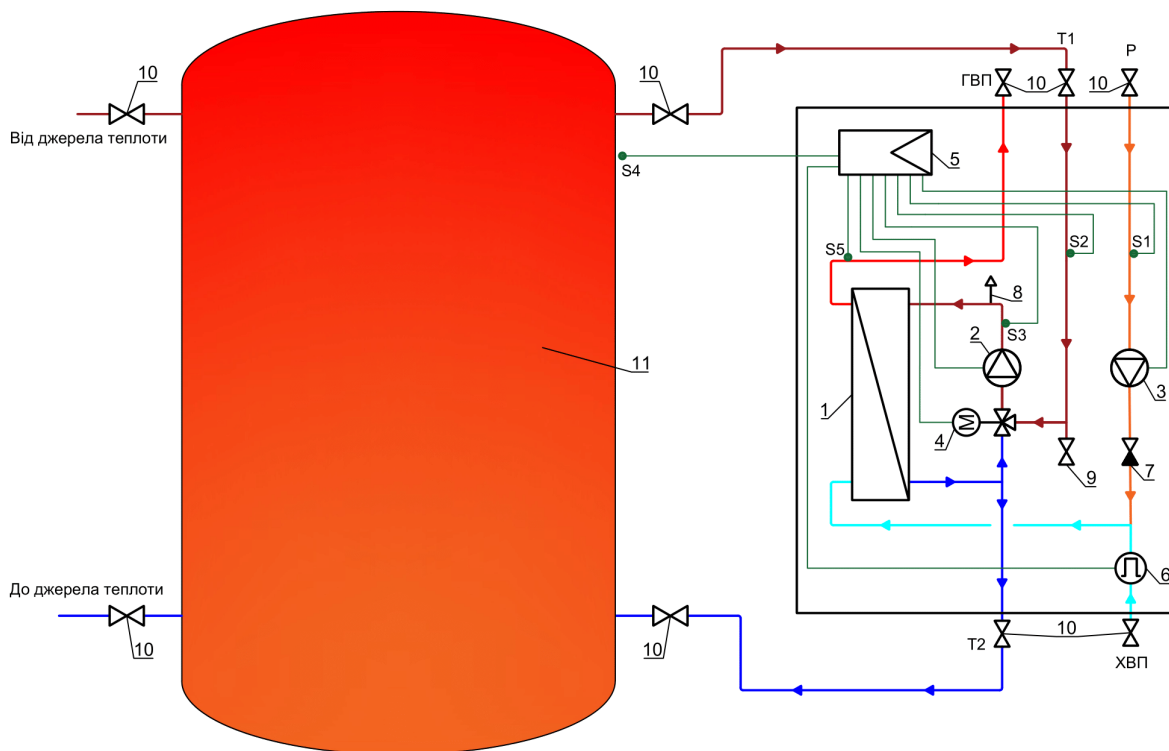


Рис. 2. Принципова схема нагріву води з використанням швидкісного теплообмінника ГВП:

1 – пластинчастий теплообмінник; 2 – циркуляційний насос теплоносія; 3 – циркуляційний насос водопровідної води; 4 – 3-ходовий змішувач з електроприводом; 5 – електронний контролер; 6 – датчик витрати; 7 – зворотній клапан;

8 – повітровідвідник; 9 – зливний кран; 10 – запірні крани; 11 – буферна ємність; S1– датчик температури лінії рециркуляції; S2 – датчик температури подаючої лінії (перед змішувачем); S3 – датчик температури подаючої лінії (після змішувача); S4 – датчик температури буферної ємності; S5 – датчик температури гарячої води

Однак швидкісний нагрів води вимагає значно більшої потужності теплообмінника, а отже і значно більшої потужності джерела теплоти через необхідність швидко нагріти потрібну кількість води. Тому зазвичай його не доцільно використовувати в тих випадках, коли миттєве теплове навантаження системи опалення менше за навантаження системи ГВП.

Крім того, таке обладнання вимагає встановлення проміжної буферної ємності (проміжний акумулятор теплоти), в якій акумулюватиметься деяка кількість теплоти, необхідна для забезпечення

роботи проточного теплообмінника до моменту запуску джерела теплоти під час неопалювального періоду.

Варто зазначити, що немає необхідності у великому об'ємі буферної ємності, адже час відгуку джерела теплоти (час запуску та виходу на номінальний режим) зазвичай становить близько 5 хв [2].

Існує і третій спосіб – комбінований, він поєднує в собі переваги першого і другого способів [3].

Комбінований спосіб передбачає встановлення і бака акумулятора, і швидкісного теплообмінника разом. Тобто вода нагріватиметься в проточному теплообміннику і акумулюватиметься в баці.

У цьому випадку проточний теплообмінник може бути меншої потужності через можливість закумуляувати необхідну кількість води для проходження піку водоспоживання. Система здатна забезпечити більш тривалий водорозбір, адже швидкісний теплообмінник буде постійно підживлювати бак щойно нагрітою водою.

Отже, така система задовольнить потреби будівлі як з постійним, так і з нерівномірним режимом водоспоживання. Але вартість такої системи буде вищою.

Принципову схему комбінованого способу приготування ГВП наведено на рис. 3.

Надважливими параметрами, що впливають на підбір будь-якого водонагрівача, є загальна розрахункова витрата гарячої води системою та різниця температур між гарячою та холодною водою.

Температура гарячої води в точках водорозбору за чинними нормативними документами повинна становити не менше 55°C, а температура циркуляційної води не нижче 50°C в будь-якій точці системи [4]. Дані вимоги висунуті, щоб запобігти появі бактерії Legionella. Здатність бактерії до розмноження зберігається за температури від 15°C до 46°C, за підвищеної температури до 48°C та вище бактерії гинуть [1].

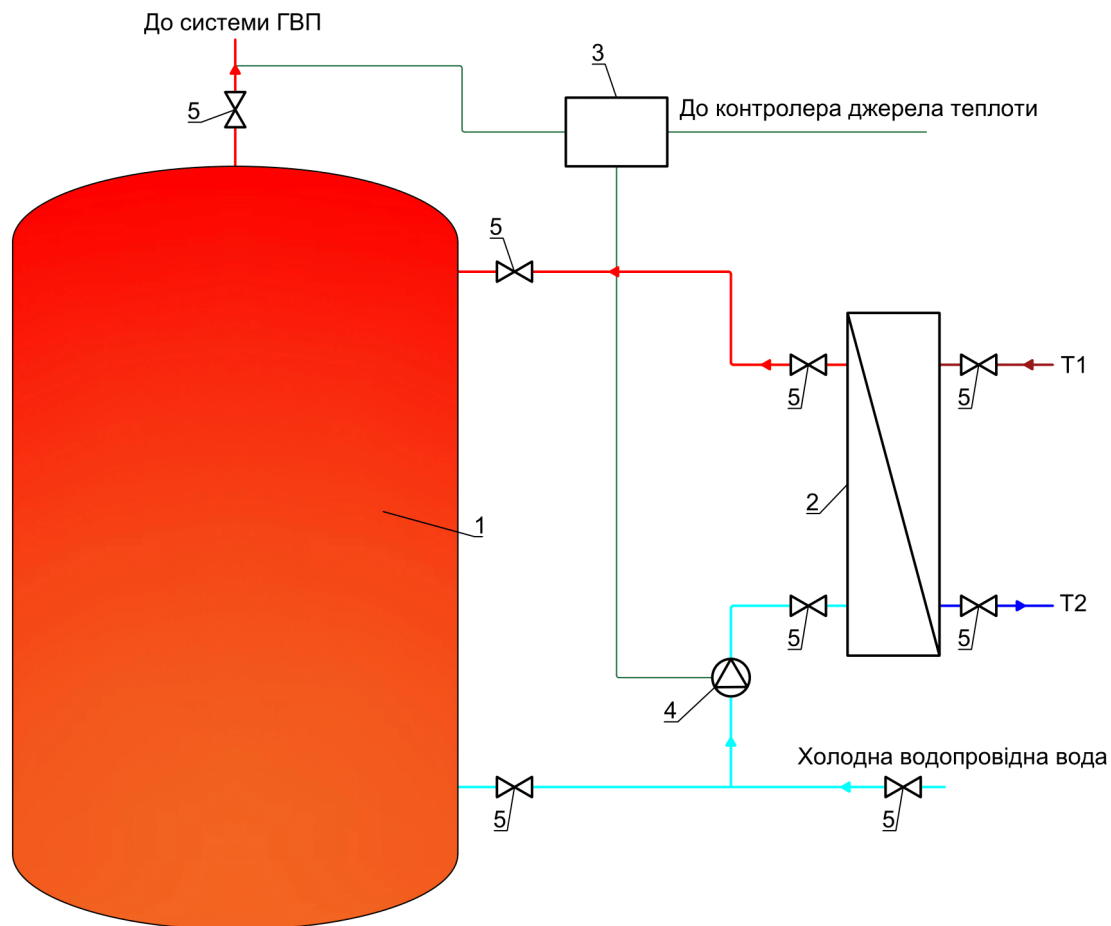


Рис. 3. Принципова схема комбінованого способу приготування ГВП:

1 – ємнісний водонагрівач; 2 – швидкісний теплообмінник; 3 – блок керування;
 4 – циркуляційний насос; 5 – запірні арматури; T1 – теплоносій від джерела теплоти; T2 – теплоносій до джерела теплоти

Температуру холодної води під час розрахунку та підборі водонагрівача треба приймати для зимового періоду, тобто рівною 5°C [5]. Якщо прийняти температуру холодної води для літнього періоду, то різниця температур, а отже і визначена потужність теплообмінника, буде меншою. В результаті водонагрівач не зможе нагріти розрахункову витрату води під час зимового періоду. Будь-який водонагрівач потрібно підбирати таким чином, щоб він був здатен забезпечити необхідну для розрахункового водорозбору витрату гарячої води. Методика розрахунку водонагрівача відрізнятиметься залежно від типу прийнятого способу нагріву води [1]. Оскільки проточний спосіб передбачає нагрів води в момент водорозбору, то для підбору такого обладнання важлива саме максимальна можлива секундна витрата гарячої води, щоб запроєктований теплообмінник був здатен нагріти цю витрату під час піків режиму водоспоживання. Натомість нагрів та акумулювання води під час періодів

без водорозбору або мінімального водорозбору, що передбачає накопичувальний метод приготування ГВП, вимагає визначення загального об'єму гарячої води, який необхідний для забезпечення усього періоду водоспоживання.

У процесі підбору теплообмінника для проточного способу нагріву необхідно визначити максимально можливу секундну витрату гарячої води. Розрахункова максимальна секундна витрата складається з витрат окремих водорозбірних приладів, які працюють одночасно та визначається за формулою [6]:

$$q_{max}^{\Gamma} = q_i^{\Gamma} \cdot n, \quad (1)$$

де q_{max}^{Γ} – загальна витрата гарячої води системою, л/с;

q_i^{Γ} – витрата гарячої води одним приладом, л/с;

n – кількість одночасно працюючих приладів, штук.

Отже, найбільша витрата гарячої води буде в момент, коли з усіх приладів почне розбиратися вода. Ймовірність такого перебігу подій стрімко зменшується із збільшенням кількості водорозбірних приладів, а складність точного визначення загальної витрати зростає [1]. Чим більше водорозбірних приладів передбачено в системі ГВП, тим важливіше враховувати неодноразовність їхнього використання. Адже при завищеній розрахунковій витраті капітальні витрати будуть більшими, а потенціал підбраного обладнання ніколи не буде використаний, натомість при заниженій витраті водонагрівач не зможе забезпечити систему ГВП необхідною кількістю гарячої води.

Визначити максимальну секундну витрату гарячої води можна двома способами:

- за методикою, наведеною в Державних будівельних нормах України ДБН В.2.5-64:2012 [4];

- за реальним спостереженням режиму водоспоживання будівлі.

Максимальна розрахункова витрата води за секунду, згідно з ДБН В.2.5-64:2012 [4], визначається за таблицями залежно від кількості водорозбірних приладів та кількості споживачів.

Щоб визначити максимальну секундну витрату за кількістю водорозбірних приладів, спочатку потрібно визначити розрахункову

середню за годину витрату гарячої води одним приладом, що залежить від типу водорозбірних приладів та призначення будівлі.

Розрахункову середню за годину витрату гарячої води визначають за табл. А.3 [4]. Потім залежно від розрахункової середньої за годину витрати гарячої води кожного приладу та загальної кількості приладів, за табл. А.5 [4] визначається загальна максимальна секундну витрату гарячої води.

Щоб визначити максимальну секундну витрату гарячої води, відштовхуючись від кількості споживачів, спочатку потрібно визначити розрахункову середню за добу витрату, що включає витрати холодної і гарячої води одним споживачем, за табл. А.1 [4] для житлових будівель, за табл. А.2 [4] для будівель іншого призначення. Потім за табл. А.6 [4] залежно від середньої за добу витрати води одним споживачем та кількості споживачів можна визначити загальну максимальну секундну витрату гарячої води.

Отримані значення вже враховують неодночасність використання водорозбірних приладів. Визначивши максимальну секундну витрату гарячої води, потрібно розрахувати мінімальну потужність теплообмінника, кВт, необхідну для нагріву даної витрати в проточному режимі, за формулою [7]:

$$Q = \frac{G_{max}^{\Gamma} \cdot c \cdot (t^{\Gamma} - t^X)}{3600}, \quad (2)$$

де G_{max}^{Γ} – масова годинна розрахункова витрата гарячої води, кг/год;
 c – теплоємність води, кДж/кг · °С, середня теплоємність води в межах температур від –5°С до +55°С становить $c = 4,19$ кДж/кг · °С;
 t^{Γ}, t^X – температура гарячої та холодної води, °С.

Перевести об’ємну загальну секундну витрату в масову годинну можна за формулою:

$$G_{max}^{\Gamma} = \frac{q_{max}^{\Gamma} \cdot \rho \cdot 3600}{1000}, \quad (2a)$$

де q_{max}^{Γ} – загальна витрата гарячої води системою, л/с;
 ρ – густина води, кг/м³, середня густина води в межах температур від –5°С до +55°С становить $\rho = 992$ кг/м³.

До переваг нормативної методики необхідно віднести можливість визначення максимальної секундної витрати гарячої води для великої кількості будівель різного призначення, маючи дані щодо загальної кількості споживачів або загальної кількості і типу водорозбірних приладів.

Однак неможливо передбачити напевно наскільки швидкісний теплообмінник, розрахований за цією методикою, відповідатиме реальним потребам системи ГВП, адже невідомо, наскільки точно представлені в нормах середні витрати описують режими водоспоживання будівель різного призначення, зокрема навчальних закладів.

Другий спосіб визначення максимальної секундної витрати передбачає проведення спостережень за реальним режимом водоспоживання будівлі та визначення дійсного рівня максимального водорозбору. Сутність моніторингу полягає у фіксації рівня водоспоживання впродовж періодів водорозбору будівлі. Здійснити моніторинг можна за допомогою встановлення витратомірів, об'ємних лічильників або ж простим спостереженням за користуванням водорозбірних приладів. На основі спостережень будуються ступінчасті графіки водоспоживання, за якими визначається пікове значення витрати гарячої води. Отримане пікове значення витрати і буде розрахунковою максимально можливою секундною витратою. Приклад ступінчастого графіка водоспоживання будівлі наведено на рис. 4.

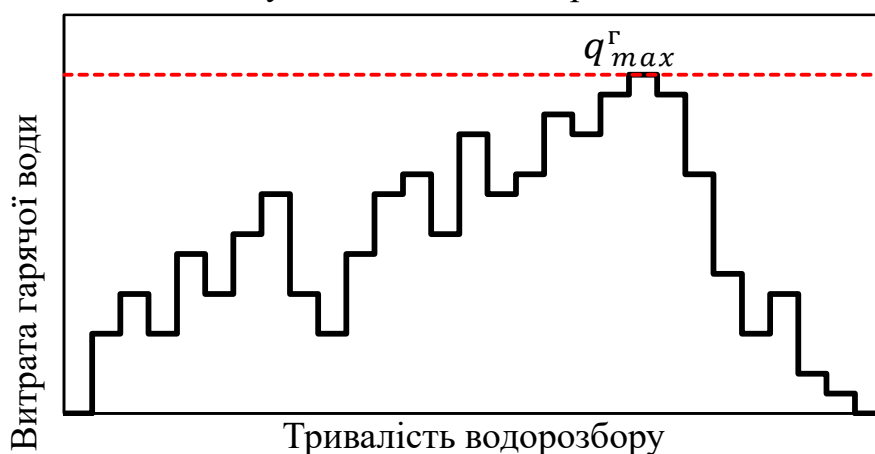


Рис. 4. Ступінчастий графік водоспоживання на основі спостережень за періодами водорозбору будівлі

Після визначення максимальної секундної витрати переходять до розрахунку мінімальної потужності теплообмінника, необхідної для нагріву даної витрати в проточному режимі. За формулою (2) розраховуємо мінімальну потужність теплообмінника.

Оскільки для визначення максимальної секундної витрати в другому способі використовуються дані, отримані в результаті моніторингу за реальним режимом водоспоживання, то підібраний за цією витратою швидкісний теплообмінник найбільш точно відповідатиме потребам системи ГВП будівлі.

Однак моніторинг за режимом водоспоживання можливо виконати лише для існуючої системи, а отже даний метод можна використати тільки у випадку реконструкції або при типовому будівництві, тобто під час застосування його на вже експлуатованому аналогічному об'єкті.

Алгоритм розрахунку параметрів швидкісного теплообмінника під час проточного способу приготування ГВП зображено на рис. 5.

На відміну від проточного способу основними параметрами для підбору ємнісного водонагрівача є його об'єм та потужність вбудованого теплообмінника.

Мінімальний об'єм ємнісного водонагрівача дорівнює об'єму гарячої води, який потрібно закумулювати для забезпечення певного періоду водорозбору. Тобто об'єм бака залежить від тривалості та величини водорозбору.

Мінімальна потужність вбудованого теплообмінника прямопропорційно залежить від об'єму бака водонагрівача та обернено пропорційна від тривалості нагріву.

Визначити мінімальний об'єм ємнісного водонагрівача можна двома способами:

- за середньою розрахунковою витратою та тривалістю водорозбору, згідно з ДБН В.2.5-64:2012 [4];
- за реальною тривалістю водорозбору та спожитим упродовж цього періоду об'ємом води, визначеними в результаті моніторингу за режимом водоспоживання.

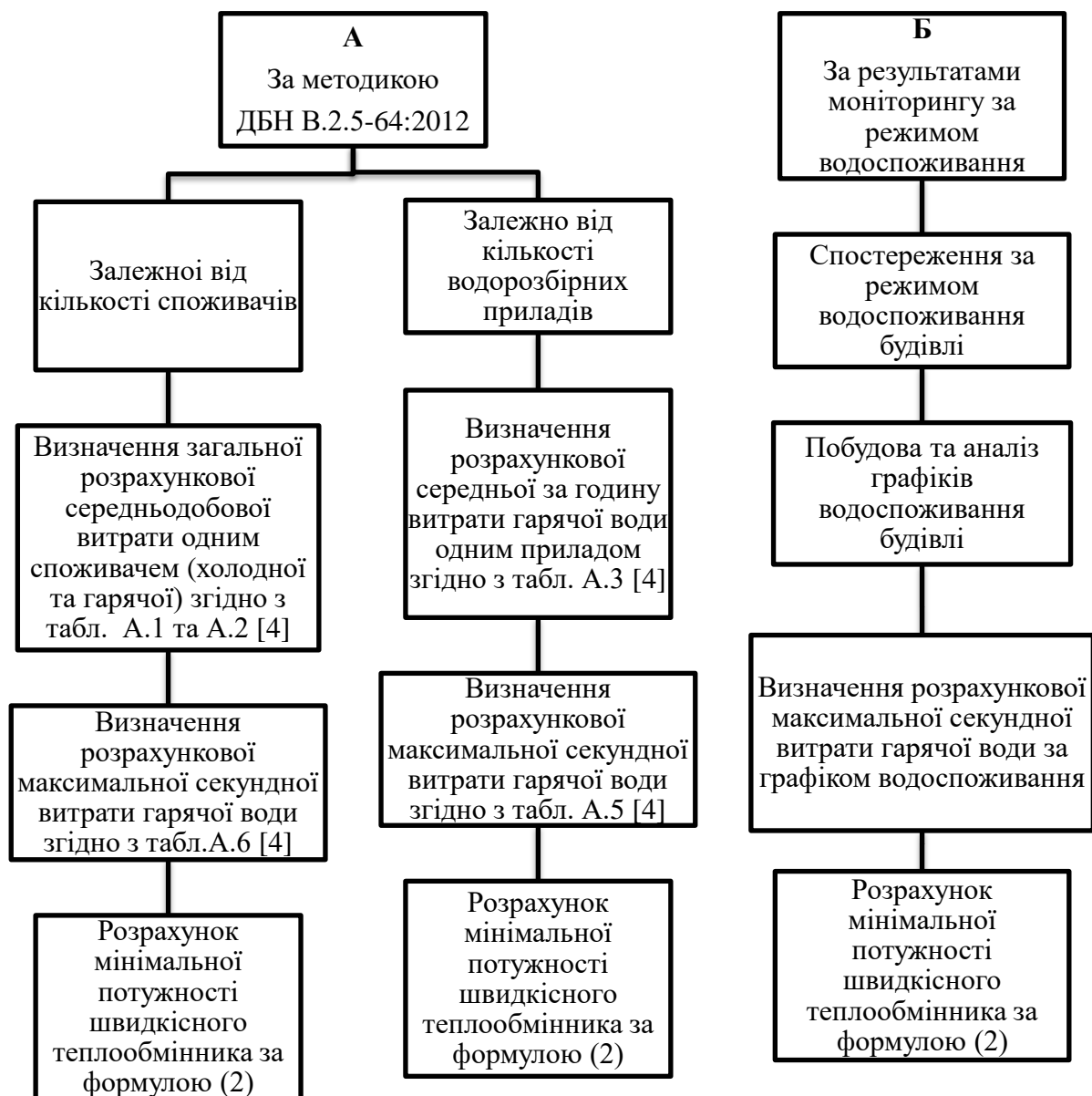


Рис. 5. Алгоритми розрахунку параметрів швидкісного теплообмінника:

А – за методикою ДБН В.2.5-64:2012;

Б – за результатами спостережень

Щоб розрахувати об'єм ємнісного водонагрівача, згідно з методикою, наведеною в ДБН В.2.5-64:2012 [4], необхідно визначити середню за період водоспоживання витрату гарячої води, залежно від кількості споживачів або водорозбірних приладів, та помножити її на тривалість цього періоду.

Отже визначаємо об'єм ємнісного водонагрівача за формулою [4]:

$$V = q_{\text{сер}}^{\Gamma} \cdot n \cdot \tau, \quad (3)$$

де $q_{\text{сер}}^{\Gamma}$ – загальна середня за період водоспоживання витрата гарячої води в розрахунку на одного споживача або водорозбірний прилад, л/год;

n – загальна кількість споживачів або водорозбірних приладів відповідно, штук;

τ – розрахункова тривалість періоду водоспоживання, год.

Середню за період водоспоживання витрату для будівель різного призначення можна визначити, згідно ДБН В.2.5-64:2012 [4], залежно від кількості споживачів або кількості водорозбірних приладів.

Визначити середню за годину витрату гарячої води, відштовхуючись від кількості водорозбірних приладів, можна за табл. А.3 [4] залежно від типів приладів та призначення будівлі.

Щоб визначити середню добову витрату гарячої води, відштовхуючись від кількості споживачів для житлової будівлі – потрібно звернутись до табл. А.1 [4], для будівель іншого призначення – до табл. А.2 [4].

Нормативний метод дозволяє досить просто, за відомої тривалості водорозбору та кількості споживачів або кількості приладів, визначити необхідний об'єм водонагрівача. Однак за даного способу розрахунку об'єму водонагрівача ми припускаємо, що прийнята витрата триває впродовж усього розрахункового періоду водорозбору, що в реальності є малоймовірним. Крім того, неможливо передбачити точність, з якою представленими в нормах середніми витратами одним споживачем або приладом, описується реальний рівень водоспоживання будівель різного призначення. Отже, об'єм та потужність, підбраного за цією методикою ємнісного водонагрівача, можуть бути завищеними або навпаки – заниженими.

Графічне представлення першого способу визначення об'єму ємнісного водонагрівача, за методикою ДБН В.2.5-64:2012 [4], зображено на рис. 6.

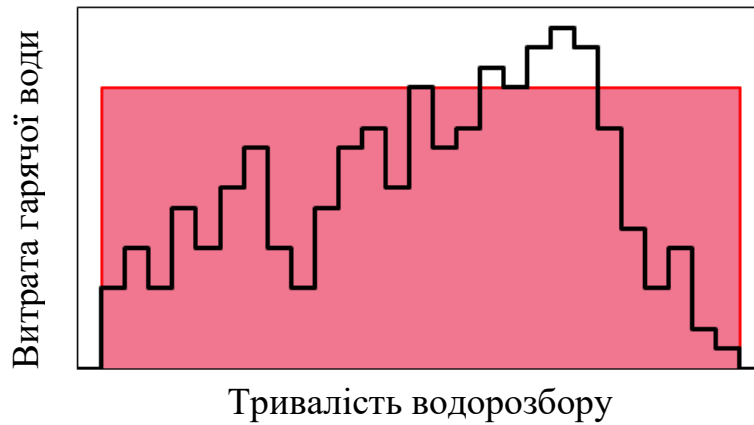


Рис. 6. Графічне представлення розрахунку об'єму ємнісного водонагрівача за середньою витратою

У реальних умовах витрата гарячої води системою постійно змінюється через постійну зміну кількості споживачів, а тому точнішим буде другий спосіб – провести спостереження за рівнем водоспоживання будівлі та визначити дійсний об'єм води, який необхідно закумулювати.

Сутність моніторингу полягає в спостереженнях за витратою гарячої води впродовж періодів водоспоживання будівлі та визначення реального найбільш повторюваного рівня водоспоживання з високим відсотком забезпеченості.

Графічний метод даного способу розрахунку об'єму ємнісного водонагрівача наведено на рис. 7.

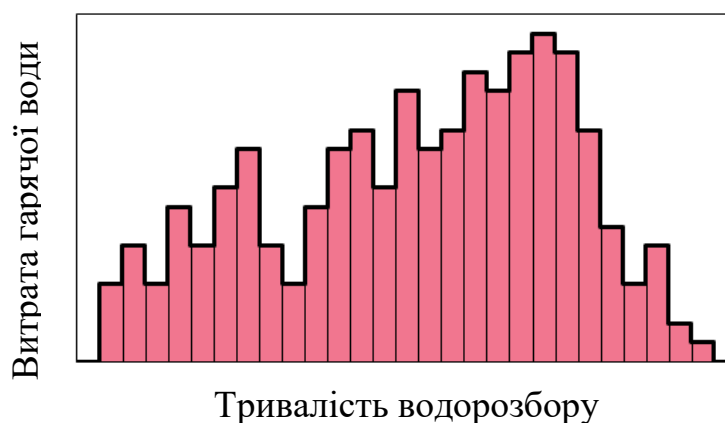


Рис. 7. Графічне представлення розрахунку мінімального об'єму ємнісного водонагрівача за даними спостережень за режимом водоспоживання

Щоб визначити загальний об'єм спожитої води за даними спостережень, необхідно розрахувати площу фігури під ступінчастою діаграмою режиму водоспоживання. Для цього потрібно знайти суму площ усіх утворених прямокутників (рис. 7), зробити це можна за допомогою формули:

$$V = \sum_i^n (q_{\text{заг } i}^{\Gamma} \cdot \tau_i), \quad (4)$$

де $q_{\text{заг } i}^{\Gamma}$ – загальна витрата гарячої води системою, що утримується впродовж i -ого періоду водорозбору τ_i , л/с;
 τ_i – тривалість i -ого періоду водорозбору, с.

Моніторинг за режимом водоспоживання дозволяє з достатньою точністю передбачити тривалість та величину рівня водоспоживання, що виникне упродовж майбутніх періодів водорозбору, тому використання другого способу дозволить підібрати об'єм ємнісного водонагрівача, який найбільш точно відповідатиме потребам системи гарячого водопостачання.

Наступним не менш важливим параметром у процесі підбору ємнісного водонагрівача є потужність вбудованого теплообмінника. Основними чинниками, які впливають на визначення мінімальної потужності теплообмінника ємнісного водонагрівача, є розрахунковий об'єм та тривалість нагріву. Значення розрахункової тривалості нагріву води залежить від режиму водоспоживання, а тому відрізняється для будівель різного призначення.

Визначивши мінімальний об'єм та розрахункову тривалість нагріву, можна розрахувати мінімальну потужність теплообмінника, кВт, за формулою [7]:

$$Q = \frac{m \cdot c \cdot (t^{\Gamma} - t^{\text{X}})}{3600 \cdot \tau_{\text{H}}}, \quad (5)$$

де m – маса води, кг;

τ_{H} – розрахункова тривалість нагріву води, год.

Розрахувати масу води, кг, за відомого об'єму можна за формулою:

$$m = \rho \cdot V \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

де ρ – густина води, кг/м³, середня густина води в межах температур від – 5 °С до +55 °С становить $\rho = 992 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

V – об'єм води, л.

Залежно від режиму водоспоживання будівлі можливі два варіанти об'єму бака та потужності теплообмінника ємнісного водонагрівача для відповідних режимів його роботи:

- *Перший варіант* – об'єм ємнісного водонагрівача повинен забезпечити увесь розрахунковий період водорозбору, а основний нагрів відбувається впродовж залишкового періоду без водорозбору. Даний режим роботи передбачається під час розрахунку об'єму ємнісного водонагрівача за середньою витратою згідно ДБН В.2.5-64:2012, адже під час розрахунку за середньою витратою ми оцінюємо лише середній водорозбір, який виникає упродовж доби. Тому періоди відсутнього водорозбору, які можуть виникати в ті періоди, коли водорозбір очікується, залишаються невідомими.

- *Другий варіант* – об'єм ємнісного водонагрівача підбирається для акумулювання об'єму гарячої води, який споживається за найбільший період водорозбору. До того ж, крім основного нагріву – в період відсутнього водоспоживання, застосовується проміжний нагрів – в короткі періоди мінімального або відсутнього водоспоживання, що виникають упродовж періоду розрахункового водорозбору. Проміжний нагрів потрібен, щоб закумуляувати об'єм гарячої води, необхідний для забезпечення наступного періоду водорозбору середнього або високого рівня. Підібрати обладнання для даного режиму роботи можливо лише за результатами спостережень, проаналізувавши реальний режим водоспоживання будівлі. За такого режиму роботи об'єм підбраного ємнісного водонагрівача буде меншим за об'єм, розрахований для першого режиму роботи, але розрахункова потужність теплообмінника буде вищою, залежно від тривалості періодів проміжного нагріву.

Вибір режиму роботи залежить не тільки від методу розрахунку параметрів водонагрівача, але і від режиму водоспоживання, що в свою

чергу залежить від призначення будівлі. Якщо в результаті моніторингу за водоспоживанням виявляється, що впродовж розрахункового періоду водорозбору рівень водоспоживання більш-менш постійний, тобто періоди без водорозбору практично відсутні, то в цьому випадку підійде тільки перший варіант роботи ємнісного водонагрівача або ж нагрів у проточному режимі.

Розглянемо детальніше обидва варіанти роботи ємнісного водонагрівача на прикладі режиму водоспоживання вищого навчального закладу. Орієнтовний графік водоспоживання університету зображено на рис. 8.

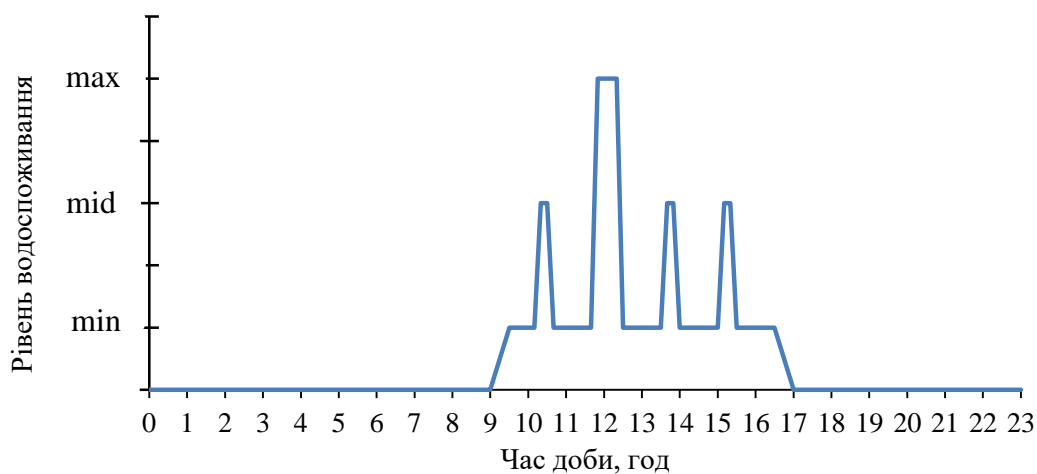


Рис. 8. Орієнтовний графік режиму водоспоживання університету:

- min – під час занять;
- mid – під час звичайної перерви;
- max – під час великої перерви

Із графіка (рис. 8) видно, що найбільший водорозбір відбувається під час коротких проміжків часу (перерв). Упродовж занять водорозбір мінімальний та зовсім відсутній після їх закінчення і у вихідні дні.

Загальна тривалість водорозбору впродовж доби становить 8 годин (з 9:00 до 17:00), з них 1 година – це водорозбір середнього і високого рівня (сума усіх перерв) та 7 годин водорозбору низького рівня. Проміжки між перервами (періодами найбільшого водорозбору) становлять 1,3 години (80 хвилин – тривалість одного заняття).

З достатньою точністю можна стверджувати, що даної тривалості вистачить для використання проміжного нагріву без надмірного підвищення потужності теплообмінника (порівняно з проточним способом нагріву). Отже, проаналізувавши режим водоспоживання університету,

можна стверджувати, що для даної будівлі підійдуть обидва варіанти конфігурацій ємнісного водонагрівача.

Спочатку підберемо ємнісний водонагрівач для першого режиму роботи, при якому об'єму води, закумульованої в ньому, повинно вистачити для забезпечення безперебійного постачання гарячої води впродовж усього розрахункового водорозбору. Отже, приймаємо об'єм водонагрівача, який дорівнює загальному об'єму гарячої води, що споживається

упродовж 8 годин. Отже, тривалість нагріву становитиме 16 годин.

Розділимо умовно загальний об'єм закумульованої води між усіма періодами водорозбору. Нехай під час занять утримується постійний водорозбір низького рівня, що становить 5% від усього водорозбору за кожне заняття. Після закінчення останньої перерви утримується водорозбір такого ж низького рівня, що триває до закінчення робочих годин університету (з 9:00 до 17:00), загальна тривалість цього періоду становить 1,7 години (100 хвилин). Під час перерв тривалістю 10 хвилин утримується постійний водорозбір середнього рівня та споживається 15% закумульованої гарячої води за кожну коротку перерву. Залишається тільки велика перерва з тривалістю 30 хвилин, упродовж неї утримується водорозбір високого рівня, що становить 30% від загального об'єму водонагрівача.

Робочий цикл при першому варіанті конфігурації ємнісного водонагрівача зображено на рис. 9.

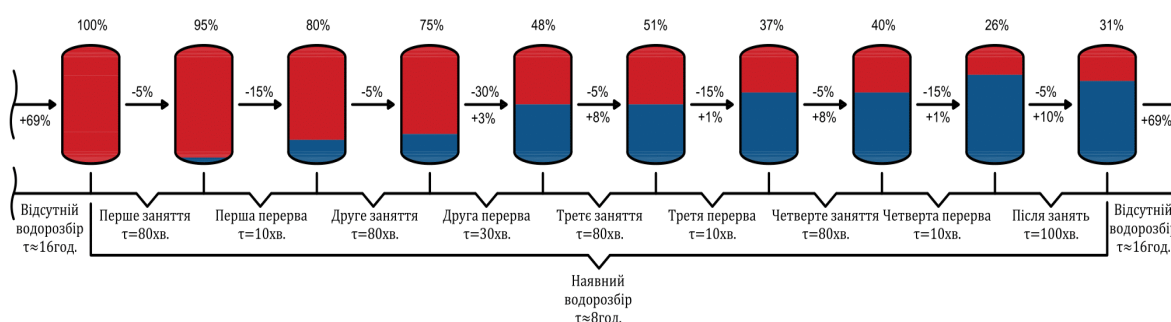


Рис. 9. Режим роботи ємнісного водонагрівача при підборі його об'єму для забезпечення усього розрахункового водорозбору

Аналіз даних (рис. 9) показує, що навіть за такого режиму роботи розрахункової мінімальної потужності теплообмінника (потужність розрахована, щоб нагріти 100% об'єму води за 16 годин) достатньо, щоб закумулявати деякий об'єм води під час періодів водорозбору.

Отже, в кінці робочого дня в ньому ще залишається деякий об'єм нагрітої води, а отже основний нагрів відбувається швидше, ніж за розрахункові 16 годин.

Згідно з рис. 9 видно, що нагрів розпочався лише після другого заняття, коли об'єм закумуляованої води становив 75% від загального об'єму. Це пов'язано з розташуванням датчика температури, який передає сигнал до джерела теплоти за необхідності розпочати нагрів. Зазвичай цей датчик встановлюється нижче середини бака, але не в самому низу. Це здійснюється для того, щоб забезпечити можливість майже повного завантаження ємнісного водонагрівача гарячою водою, але уникнути частого увімкнення нагріву під час періодів низького водоспоживання за завантаженого бака.

Гістограма з відсотком зарядженості ємнісного водонагрівача упродовж робочого дня при першому варіанті його параметрів зображено на рис. 10.

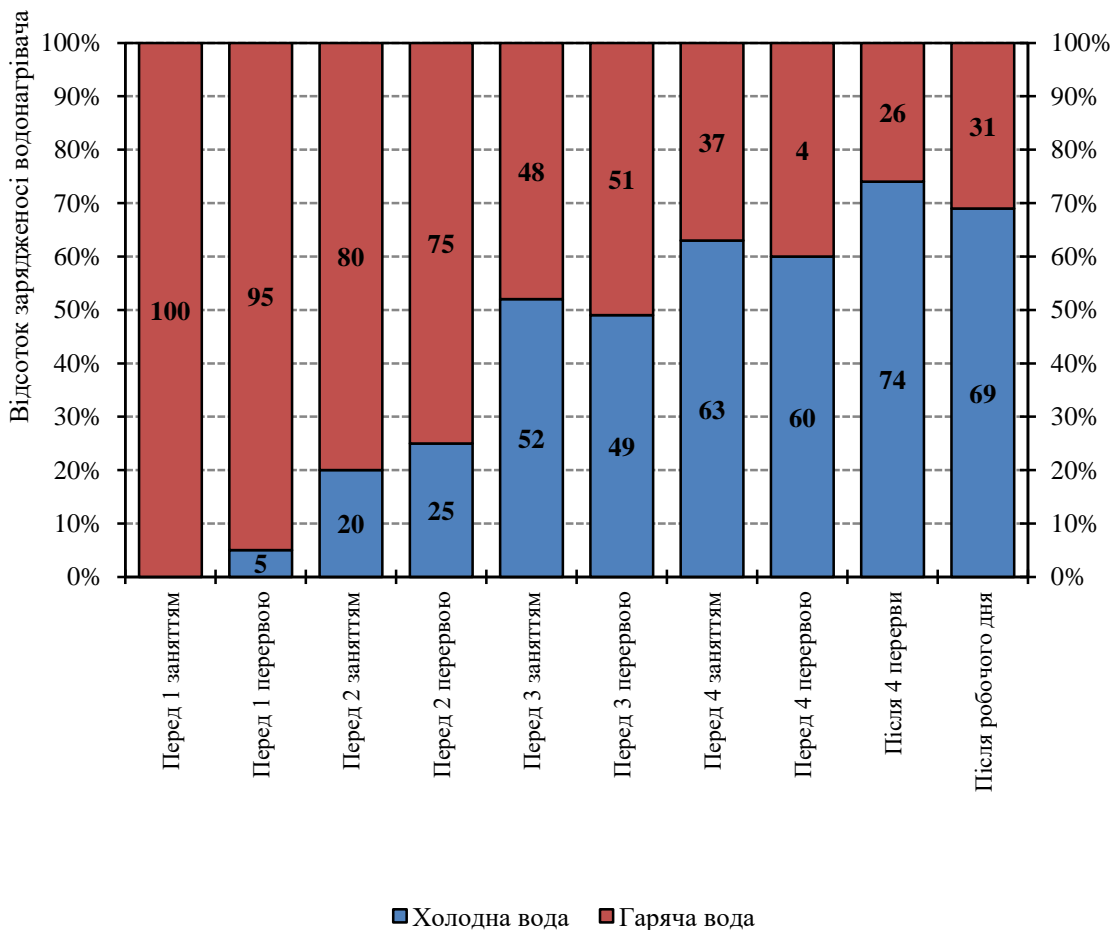


Рис. 10. Відсоток зарядженості водонагрівача упродовж робочого дня при першому варіанті конфігурації його параметрів

Тепер підберемо ємнісний водонагрівач для другого режиму роботи, за якого його об'єму повинно вистачити лише, щоб забезпечити водорозбір найбільшої перерви. До того ж теплообмінник повинен забезпечити нагрів необхідного об'єму води упродовж заняття, тобто тривалість проміжного нагріву становитиме 1,3 години (80 хвилин). Приймаємо, що об'єм водонагрівача дорівнює об'єму гарячої води, який споживається упродовж великої перерви (тривалістю 0,5 години). Отож за велику перерву споживається 100% закумульованої гарячої води.

Приймаємо співвідношення рівнів водоспоживання стосовно один одного, таке ж, як і в першому варіанті, тобто під час кожного заняття споживається 17% від загального об'єму водонагрівача, а під час звичайних перерв (тривалість 10 хв) – 50% від загального об'єму.

Робочий цикл при другому варіанті конфігурації ємнісного водонагрівача зображено на рис. 11.

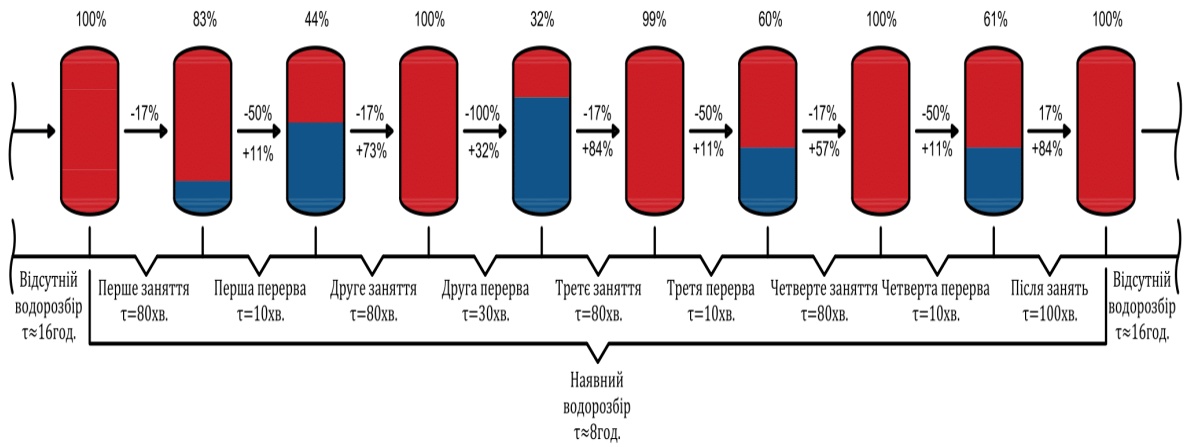


Рис. 11. Режим роботи ємнісного водонагрівача при підборі його об'єму для забезпечення найбільшого періоду водорозбору

Гістограма з відсотком зарядженості ємнісного водонагрівача упродовж робочого дня при другому варіанті його параметрів зображено на рис. 12.

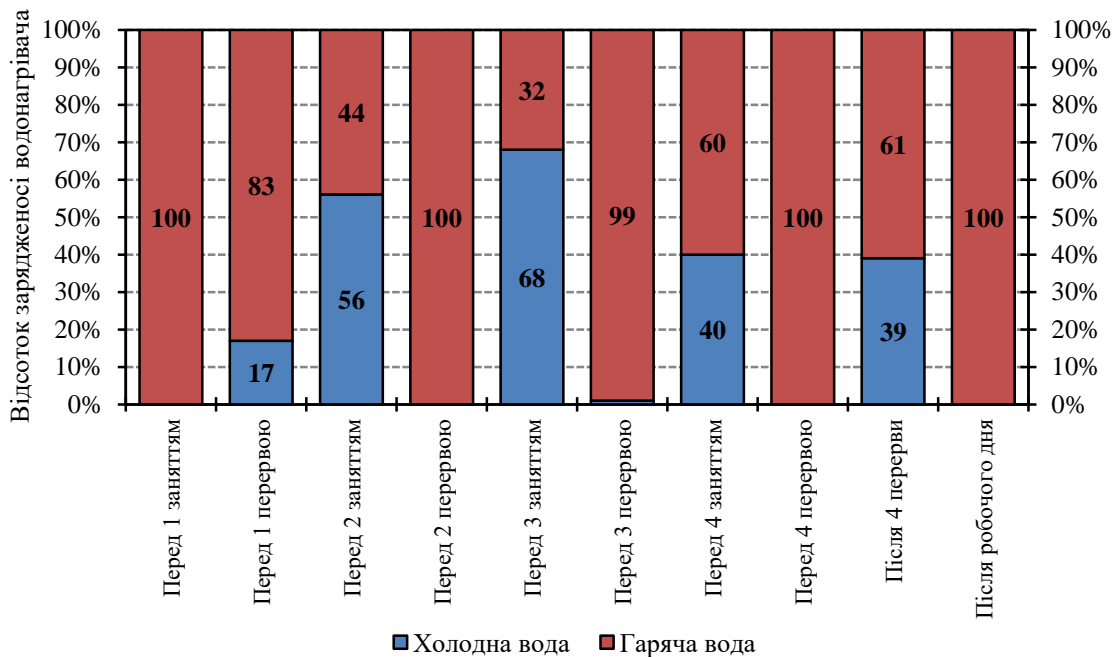


Рис. 12. Відсоток зарядженості водонагрівача упродовж робочого дня при другому варіанті конфігурації його параметрів

Щоб визначити, який відсоток об'єму водонагрівача необхідно догріти перед великою перервою (період з найбільшим водорозбором), необхідно визначити на скільки розрядиться ємність водонагрівача до її початку.

Для цього необхідно визначити загальний об'єм води, який споживається перед розрахунковим найбільшим водорозбором, для даного прикладу:

$$17\% + 50\% + 17\% = 84\%$$

Отже, без проміжного нагріву перед великою перервою в ємнісному водонагрівачі залишиться закумуляовано майже 16% від загального об'єму гарячої води. Тому для забезпечення водорозбору великої перерви, необхідно догріти 84% від загального об'єму водонагрівача впродовж одного заняття (тривалість 1,3 години).

Якщо підібраний теплообмінник здатен нагріти 84% ємності водонагрівача за 1,3 години, то 100% ємності він нагріє за 1,5 години. У зв'язку з тим, що вже під час першої перерви відсоток зарядженості ємності водонагрівача гарячою водою знизився нижче 75%, то датчик температури передав вказівку джерелу теплоти розпочати нагрів.

На рис. 8 видно, що потужності теплообмінника за такого режиму достатньо для повного зарядження ємності навіть під час розрахункового періоду водорозбору. Тому наприкінці робочого дня ємність виявляється повністю зарядженою, що призведе до виникнення додаткових тепловтрат, через поступове охолодження води в період відсутнього водорозбору.

Для того, щоб цього уникнути, необхідно припинити нагрів раніше, розрахувавши його тривалість таким чином, щоб в кінці робочого дня ємність була майже повністю розрядженою. Спостереження за режимом водоспоживання упродовж тривалого періоду дають змогу з достатньою точністю прогнозувати тривалість та величину кожного водорозбору, тому дозволяють також і спланувати нагрів. Робочий цикл при другому варіанті конфігурації ємнісного водонагрівача з передбаченою тривалістю нагріву зображено на рис. 13.

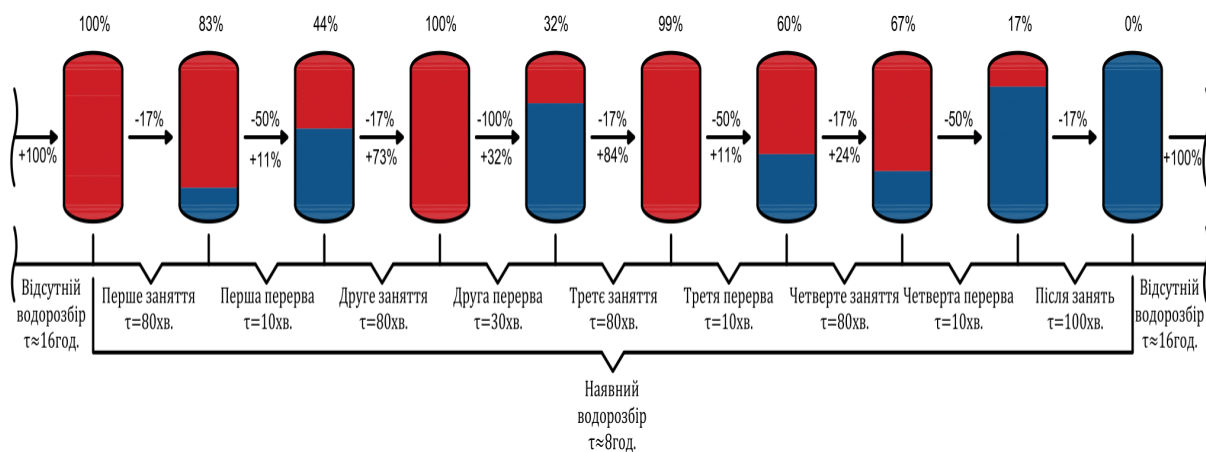


Рис. 13. Режим роботи ємнісного водонагрівача при підборі його об'єму для забезпечення найбільшого періоду водорозбору та передбаченою тривалістю нагріву

Гістограма з відсотком зарядженості ємнісного водонагрівача упродовж робочого дня при другому варіанті його параметрів та передбаченою тривалістю нагріву зображено на рис. 14.

За другого режиму роботи об'єм водонагрівача буде приблизно в 3,3 раза меншим, порівняно з першим режимом, однак мінімальна потужність теплообмінника буде приблизно в 3,5 раза більшою. Але варто зазначити, що вона в будь-якому разі буде меншою за потужність теплообмінника для проточного нагріву, оскільки процес нагріву розтягується в часі.

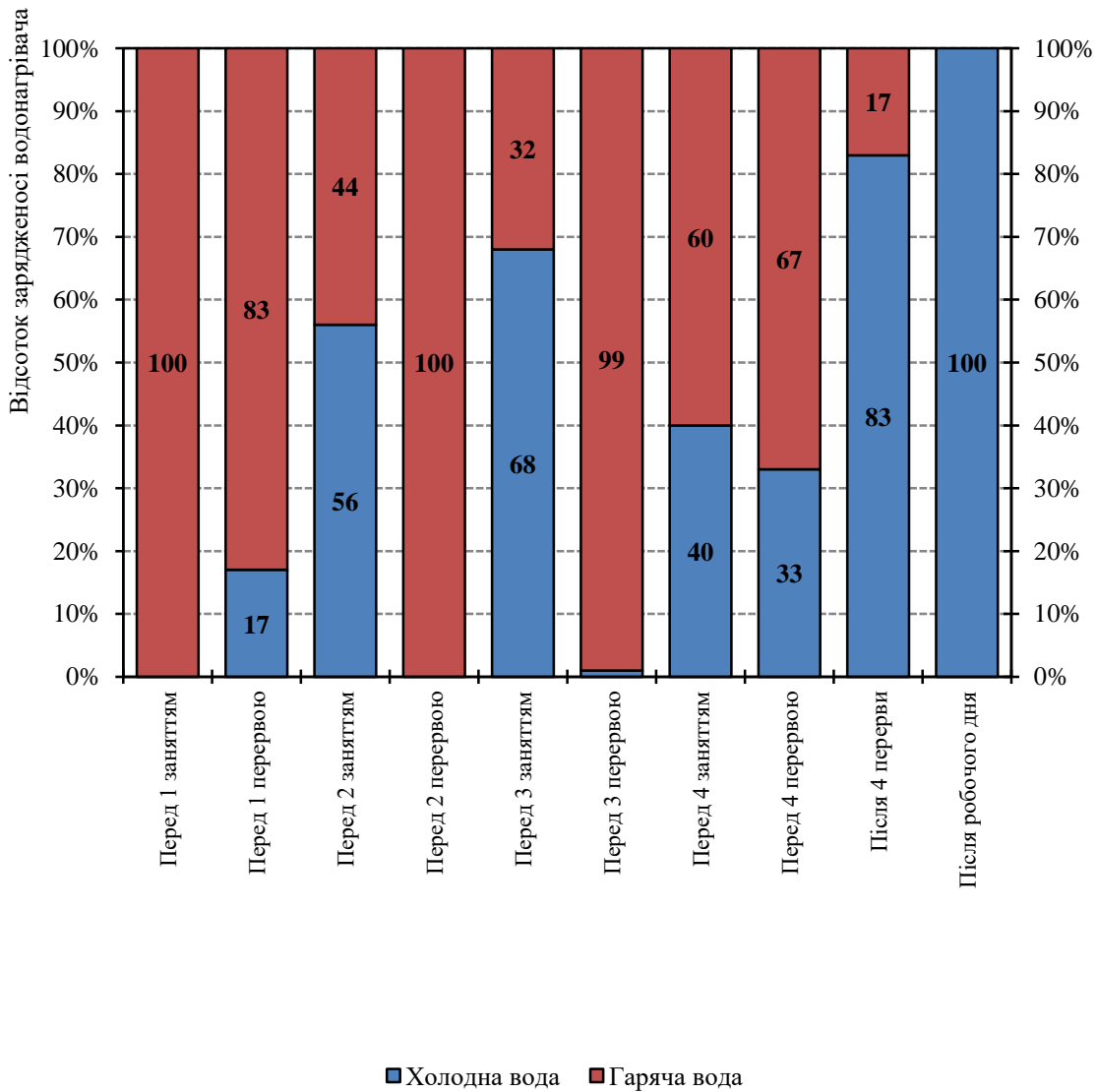


Рис. 14. Відсоток зарядженості водонагрівача упродовж робочого дня при другому варіанті конфігурації його параметрів з розрахованою тривалістю нагріву

Алгоритм розрахунку параметрів смісного водонагрівача зображено на рис. 15.

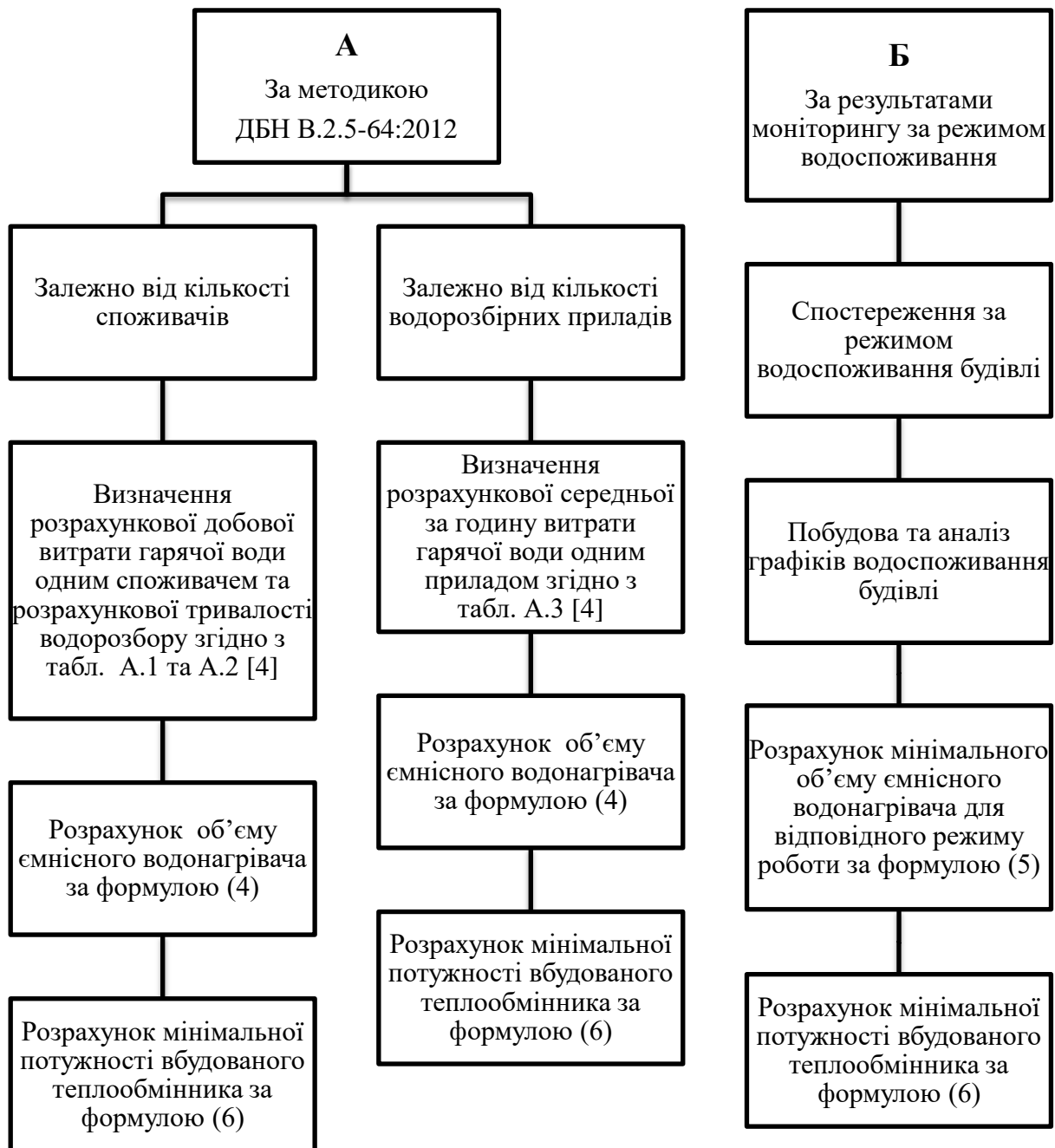


Рис. 15. Алгоритм розрахунку параметрів ємнісного водонагрівача:

А – за методикою ДБН В.2.5-64:2012;

Б – за результатами спостережень

1. Методика проведення лабораторної роботи

Тема: експериментальне визначення нерівномірності споживання гарячої води громадської будівлі.

Мета: закріпити здобуті знання щодо режимів водоспоживання громадської будівлі та способів нагріву води. Розглянути врахування неодночасності використання водорозбірних приладів та реального рівня водоспоживання гарячої води при визначенні кількості теплоти, необхідної для функціонування системи гарячого водопостачання (ГВП).

Завдання: спостереження за дійсним режимом водоспоживання громадської будівлі, а саме: головного корпусу Київського національного університету будівництва і архітектури (КНУБА) впродовж періодів найбільшого водорозбору та визначення таких параметрів, як реальна максимально можлива витрата гарячої води та загальний об'єм гарячої води, спожитий системою за цей період. За цими параметрами необхідно буде визначити мінімальну потужність теплообмінника у разі нагріву води проточним способом та мінімальну потужність вбудованого теплообмінника і об'єм бака у випадку нагріву води в ємнісному водонагрівачі. А також провести порівняння характеристик обладнання, розрахованого за витратами, визначеними в результаті спостережень з тими, що визначені за чинними будівельними нормами.

Робота поділяється на два етапи:

- спостереження за рівнем водоспоживання університету впродовж перерв із занесенням отриманих даних до таблиць, фіксацією даних спостереження;
- обробка результатів спостереження.

1.1. Проведення дослідів

У головному корпусі КНУБА не передбачено душових чи ванних кімнат, тому єдиними споживачами гарячої води є умивальники. Найбільший водорозбір відбувається під час коротких проміжків часу (перерв) і дуже малий або зовсім відсутній після закінчення занять та у вихідні дні. Таким чином можна стверджувати, що режим водоспоживання будівлі нерівномірний, йому характерні короткочасні піки з максимальною

і середньою витратою та довготривалі проміжки з мінімальним та нульовим споживанням води (рис. 8).

Для більш-менш точного визначення одночасності використання приладів необхідно провести спостереження та визначити реальну кількість споживачів гарячої води впродовж перерв (періодів найбільшого водоспоживання), спостерігаючи відсоток відкритості водорозбірних приладів.

В університеті передбачено 21 вбиральню, з них 10 чоловічих та 11 жіночих. У кожній встановлено від 1 до 3 умивальників. Завданням кожного спостерігача буде вчасно прийти до відповідної вбиральні та прослідкувати за користуванням встановленими там приладами впродовж перерв.

Кількість варіантів спостережень відповідно до кількості вбиралень становить 21, з них 10 варіантів з чоловічими та 11 з жіночими. Розташування потрібної вбиральні в університеті зображено на поверхових планах для відповідного варіанту роботи.

Приклад плану розташування вбиральні зображено на рис. 16.

У протоколах лабораторної роботи біля номера варіанту буквою **ж** позначені місця спостережень для жінок, буквою **ч** – для чоловіків.

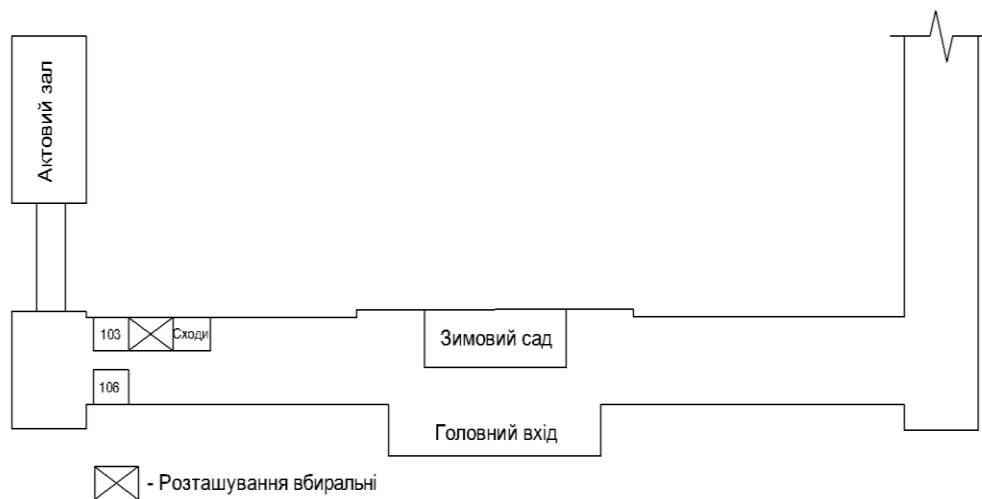


Рис. 16. План розташування чоловічої вбиральні варіанту 1

Приладдя, необхідні для проведення спостережень:

- телефон з доступом до мобільного інтернету;
- таблиці для занесення спостережень (надаються викладачем кожному спостерігачу);
- ручка або олівець.

Необхідно прийти до потрібної вбиральні у відповідний час (початок перерви) та відкрити на телефоні сайт із точним часом в м. Києві. На нього можна перейти за посиланням: <https://time.is/uk> або відсканувавши QR-код.



Використання точного часу дозволить синхронізувати усі зафіксовані дані між собою та усунути можливу появу систематичної похибки, пов'язаної з деяким можливим відставанням чи поспіхом годинника в телефоні окремих учасників спостережень.

У кожній вбиральні встановлено від 1 до 3 умивальників.

Прийшовши до відповідної вбиральні, спершу потрібно умовно пронумерувати всі умивальники. Далі необхідно спостерігати за використанням кожного умивальника та заносити час користування відповідним приладом до відповідного стовбця таблиці.

В табл. 1 – 4 на протоколах лабораторної роботи необхідно заносити час відкриття та закриття приладів відвідувачами (у форматі hh:mm:ss або mm:ss, наприклад: відкрив – 10:21:45, зактив – 10:22:20). Також необхідно фіксувати ступінь відкриття приладу (якщо водорозбірний прилад відкрито приблизно наполовину – потрібно записати « $\approx 50\%$ », відкрито повністю – « $\approx 100\%$ »).

Схематичне пояснення визначення відсотка відкриття водорозбірного приладу зображено на рис. 17.

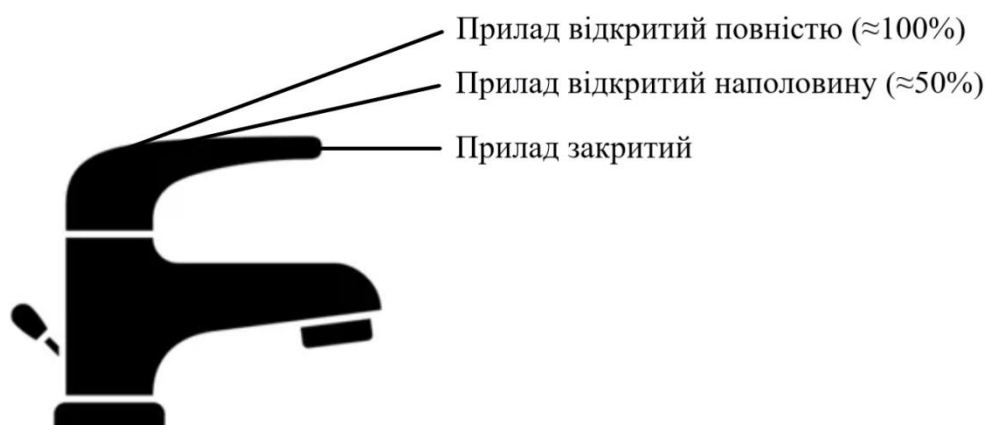


Рис. 17. Визначення відсотка відкриття водорозбірного приладу

Описані дії необхідно провести з чотирма таблицями, заповнюючи значення спостережень за відповідні перерви.

Приклад заповнення таблиці наведено на рис. 18.

| | | | | | |
|---------------------------------|---------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Перша перерва 10:20 – 10:30 | № відвідувача | | Умивальн. №1 | Умивальн. №2 | Умивальн. №3 |
| | 1 | Час відкриття крану | <i>10:21:15</i> | <i>10:21:50</i> | <i>10:20:11</i> |
| | | Час закриття крану | <i>10:21:34</i> | <i>10:22:32</i> | <i>10:20:48</i> |
| | | На скільки % було відкрито кран | <i>≈100%</i> | <i>≈50%</i> | <i>≈100%</i> |
| | 2 | Час відкриття крану | <i>10:22:22</i> | <i>10:24:58</i> | <i>10:24:17</i> |
| | | Час закриття крану | <i>10:22:53</i> | <i>10:25:29</i> | <i>10:25:04</i> |
| | | На скільки % було відкрито кран | <i>≈100%</i> | <i>≈50%</i> | <i>≈50%</i> |
| | 3 | Час відкриття крану | <i>10:23:07</i> | <i>10:27:28</i> | <i>10:27:58</i> |
| | | Час закриття крану | <i>10:23:27</i> | <i>10:28:15</i> | <i>10:28:36</i> |
| | | На скільки % було відкрито кран | <i>≈100%</i> | <i>≈50%</i> | <i>≈50%</i> |
| | 4 | Час відкриття крану | <i>10:24:06</i> | <i>10:28:27</i> | <i>10:29:17</i> |
| | | Час закриття крану | <i>10:24:38</i> | <i>10:29:17</i> | <i>10:29:48</i> |
| | | На скільки % було відкрито кран | <i>≈100%</i> | <i>≈50%</i> | <i>≈100%</i> |
| | 5 | Час відкриття крану | <i>10:26:56</i> | <i>10:29:38</i> | |
| | | Час закриття крану | <i>10:27:39</i> | <i>10:29:59</i> | |
| | | На скільки % було відкрито кран | <i>≈50%</i> | <i>≈100%</i> | |
| | 6 | Час відкриття крану | <i>10:27:57</i> | | |
| | | Час закриття крану | <i>10:28:26</i> | | |
| | | На скільки % було відкрито кран | <i>≈100%</i> | | |
| | 7 | Час відкриття крану | <i>10:29:08</i> | | |
| | | Час закриття крану | <i>10:29:46</i> | | |
| На скільки % було відкрито кран | | <i>≈50%</i> | | | |

Рис. 18. Приклад занесення результатів спостереження до таблиці

1.2. Обробка результатів спостережень

Оброблення результатів починається з обчислення споживання води приладом у кожній вбиральні. Значення витрати одного приладу залежить від таких факторів: тиск води в системі, відсоток відкриття приладу та його конструкція.

Конструкція приладів аналогічна для всіх вбиралень, тому можна вважати, що вона не впливає на витрату. Гідростатичний тиск стовпа води в трубопроводі має прямий вплив на витрату, тому на нижчих поверхах витрата більша, ніж на вищих за однакового відкриття приладів.

Ступінь відкриття приладу також прямопропорційно впливає на витрату, тобто чим більше він відкритий, тим вище значення витрати. Через необхідність визначення максимальної секундної витрати одним приладом, що викликана відсутністю таких значень в чинному ДБН В.2.5-64:2012 [4], в головному корпусі КНУБА були проведені попередні об'ємні вимірювання та визначені витрати окремими приладами кожної із вбиралень на тих поверхах, де це було можливо за відсотка відкриття кранів 50% та 100% [8].

Усереднені по поверхах результати вимірювань [8] наведено на гістограмі на рис. 19.

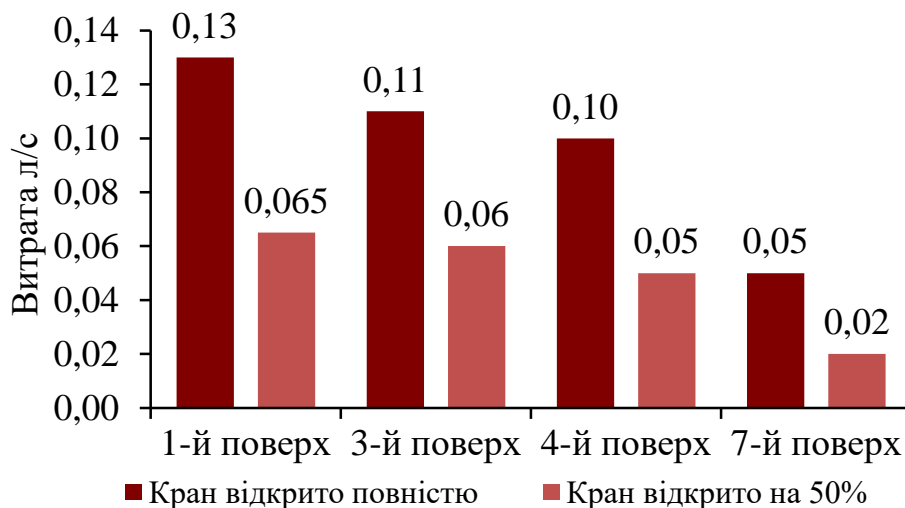


Рис. 19. Усереднені по поверхах секундні витрати одним приладом у вбиральнях головного корпусу КНУБА

Для суттєвого спрощення розрахунків максимально можливої секундної витрати гарячої води та загального об'єму спожитої за період водорозбору води, отримані значення витрат одним приладом були усереднені за відсотком відкриття приладу для окремих вбиралень та між поверхами.

Завдяки прийнятому припущенню, що через короткотривалість перерв люди поспішатимуть, тому відкриватимуть водорозбірний прилад не менше, ніж на 50%, але і не на 100%, щоб не намочити одяг краплями води, можна з достатньою вірогідністю стверджувати, що усереднення між відкриття приладів 50% та 100% не призведе до суттєвого викривлення отриманих максимально можливої секундної витрати та об'єму спожитої гарячої води від істинних значень.

Для усереднення витрати одним приладом між поверхами були прийняті значення витрати одним приладом вбиралень з 1 по 4 поверх. Оскільки саме на цих поверхах знаходиться 99% усіх навчальних аудиторій, можна стверджувати, що витрати приладів у вбиральнях з 5 по 7 поверх не мають суттєвого впливу на загальний рівень водоспоживання будівлі.

Прийнята секундна витрата гарячої води одним приладом для головного корпусу КНУБА становить $q_i^r = 0,086$ л/с, тому на графіках водоспоживання на допоміжній вертикальній осі розставлено витрати гарячої води, що відповідають кількості відкритих в цей момент водорозбірних приладів.

За даними табл. 1–4 з протоколу лабораторної роботи необхідно побудувати графіки тривалості використання окремих приладів та графіки споживання води для кожної перерви.

Під час побудови графіків значення часу необхідно округлювати з точністю до 10 секунд (тобто $10:21:56 \dots 10:22:05 \approx 10:22:00$; $10:22:06 \dots 10:22:15 \approx 10:22:10$; $10:22:16 \dots 10:22:25 \approx 10:22:20$).

Приклади побудови графіка тривалості використання приладів наведено на рис. 21 (дод. 2) та графіка споживання води для окремої вбиральні за даними прикладу заповнення таблиці (рис. 18) зображено на рис. 22 (дод. 3).

Наступним кроком оброблення даних є побудова графіків споживання води усією будівлею. Саме за допомогою цих графіків можна визначити загальну максимально можливу витрату гарячої води системою.

Для їх побудови необхідно скласти разом дані про використання приладів усіх вбиралень університету (тобто ці графіки будуть спільними для всіх варіантів). Для цього потрібно підсумувати кількість водорозбірних приладів, що працювали в i -ий момент часу та поставити точку біля відповідної кількості приладів на осі y .

Отримане пікове значення витрати i буде вказувати на максимально можливу витрату та максимальну кількість одночасно працюючих приладів.

Приклад побудови графіка водоспоживання для всієї будівлі зображено на рис. 23 (дод. 4).

1.3. Розрахунок характеристик обладнання

1.3.1. Завдання 1

Розрахувати мінімальну потужність теплообмінника, необхідну для нагріву визначеної методом спостережень максимальної секундної витрати в проточному режимі. Порівняти розраховану мінімальну потужність теплообмінника із тією, що була визначена за максимальною секундною витратою згідно з ДБН В.2.5-64:2012 [4].

1.3.2. Завдання 2

Визначити об'єм ємнісного водонагрівача та потужність вбудованого теплообмінника для двох режимів роботи:

– для випадку, коли об'єму гарячої води, закумульованої в баці, вистачає для забезпечення системи ГВП упродовж перерви з найбільшим рівнем водоспоживання, а завантаження бака відбувається упродовж заняття: за 1 год. 20 хв.

– для випадку, коли об'єму гарячої води, закумульованої в баці, вистачає для забезпечення системи ГВП упродовж усього робочого дня (усіх перерв), а завантаження бака відбувається в неробочий час, упродовж 16 годин.

Порівняти розраховані мінімальну потужність вбудованого теплообмінника та об'єм ємнісного водонагрівача із тими, що були визначені за загальною середньою витратою гарячої води згідно з ДБН В.2.5-64:2012 [4].

1.4. Приклади виконання завдань

1.4.1. Завдання 1

Для того, щоб визначити максимально можливу секундну витрату гарячої води системою за даними спостережень, необхідно проаналізувати побудовані графіки водоспоживання будівлі упродовж усіх періодів водорозбору. Найбільше з усіх періодів водорозбору пікове значення і буде максимально можливою секундною витратою гарячої води.

Приклад визначення максимальної секундної витрати гарячої води за графіком водоспоживання представлено на рис. 22, дод. 3 (продубльований з рис. 23, дод. 4). При цьому припускається, що саме під час першої перерви загальна секундна витрата гарячої води є максимальною:

$$q_{max}^r = 1,462 \text{ л/с},$$

тобто одночасно розбирається вода з 17 приладів.

Після цього максимальна об'ємна секундна витрата переводиться в максимальну масову годинну за допомогою формули (3):

$$G_{max}^r = \frac{1,462 \cdot 992 \cdot 3600}{1000} = 5221 \text{ кг/год.}$$

Отримане значення підставляється до формули (2) та знаходиться мінімальна потужність теплообмінника:

$$Q = \frac{5221 \cdot 4,19 \cdot (55 - 5)}{3600} = 303,8 \text{ кВт.}$$

Отже, для того, щоб нагріти розрахункову максимальну витрату гарячої води $q_{max}^F = 1,462$ л/с в проточному режимі, потрібен теплообмінник з мінімальною потужністю $Q = 303,8$ кВт.

Далі розраховується мінімальна потужність теплообмінника за максимальною розрахунковою витратою, вказаною в ДБН В.2.5-64:2012 [4], та порівнюється з отриманою вище.

Максимальна розрахункова витрата води за секунду, згідно з ДБН В.2.5-64:2012 [4], визначається за таблицями залежно від кількості водорозбірних приладів та кількості споживачів.

Щоб визначити максимальну секундну витрату гарячої води, відштовхуючись від кількості споживачів, спочатку потрібно визначити розрахункову середню за добу витрату, що включає витрати холодної і гарячої води одним споживачем.

Згідно з табл. А.2 [4] (фрагмент табл. представлений в дод. б) розрахункова (питома середня за рік) добова загальна витрата води для будівель навчально-освітніх та спеціалізованих шкіл, професійно-навчальних закладів, вищих навчальних закладів, інститутів підвищення кваліфікації з душовими при гімнастичних залах і їдальнях, які працюють на півфабрикатах, становить:

$$Q_T^{tot} = 20 \text{ л/добу в розрахунку на одного студента.}$$

Потім за табл. А.6 [4] залежно від середньої за добу витрати води одним споживачем та кількості споживачів потрібно визначити загальну максимальну секундну витрату гарячої води.

Однак найменша загальна середньодобова витрата, запропонована в табл. А.6 [4], становить:

$$Q_T^{tot} = 150 \text{ л/добу на одного споживача,}$$

що в 7 разів більше за загальну середню за добу витрату на одного споживача, визначену за табл. А.2 [4] для будівель вищих навчальних закладів, що говорить про орієнтованість даного методу на розрахунок максимальної секундної витрати для житлових будівель.

Щоб визначити максимальну розрахункову витрату гарячої води за секунду, відштовхуючись від кількості приладів, потрібно визначити

розрахункову середню за годину витрату гарячої води одним приладом за табл. А.3 [4] (представлена в дод. 2).

Для раковини зі змішувачем в навчальних закладах, загальноосвітніх установах та адміністративних будівлях вона становить:

$$q_T^h = 12 \text{ л/год.}$$

Тепер визначається загальна розрахункова секундна витрата, за табл. А.5 [4] (представлена в дод. 3). На перетині значення середньої за годину витрати:

$q_T^h = 12$ л/год та кількості водорозбірних приладів 42 (визначається методом інтерполяції) знаходиться значення максимальної секундної витрати гарячої води системою:

$$q_{max}^r = 0,87 \text{ л/с.}$$

Після цього розраховується кількість приладів, які працюватимуть одночасно за такої максимальної розрахункової витрати.

За витрату гарячої води одним приладом приймається значення витрати, визначене об'ємним методом в головному корпусі КНУБА:

$$q_i^r = 0,086 \text{ л/с [8].}$$

За допомогою формули (1) розраховується максимальна кількість приладів, що зможуть працювати одночасно:

$$n = 0,87 \div 0,086 = 10 \text{ приладів.}$$

Розрахункова об'ємна секундна витрата переводиться в масову годинну за формулою (3):

$$G_{max}^r = \frac{0,87 \cdot 992 \cdot 3600}{1000} = 3107 \frac{\text{кг}}{\text{год.}}$$

Для того, щоб забезпечити нагрів розрахункової витрати, визначеної з ДБН В.2.5-64:2012 [4], в проточному режимі потужність теплообмінника повинна становити не менше:

$$Q = \frac{3107 \cdot 4,19 \cdot (55 - 5)}{3600} = 180,8 \text{ кВт.}$$

Отримані результати розрахунків заносяться до порівняльної табл. 1.

Порівняння методів визначення максимальної секундної витрати гарячої води

| Розрахункові параметри обладнання | Методи визначення витрати | |
|--|---------------------------|--------------------------------------|
| | ДБН В.2.5-64:2012 | Моніторинг за режимом водоспоживання |
| Максимальна розрахункова витрата гарячої води системою, л/с | 0,87 | 1,462 |
| Кількість водорозбірних приладів, що зможуть працювати одночасно | 10/42 | 17/42 |
| Мінімальна потужність теплообмінника для проточного нагріву, кВт·год | 180,8 | 303,8 |

Далі необхідно провести порівняння максимальних секундних витрат гарячої води, визначених за різними методиками, та потужність теплообмінників, розраховану за ними, і зробити висновки.

У висновку описати різницю між отриманими значеннями витрат, потужністю теплообмінника та кількістю одночасно працюючих приладів і надати пояснення відмінності значень. Прийняти значення витрати і потужність теплообмінника та обґрунтувати свій вибір.

1.4.2. Завдання 2

Мінімальний об'єм ємнісного водонагрівача дорівнює об'єму гарячої води, який потрібно закумуляовати для забезпечення певного періоду водорозбору.

У завданні вказано два варіанти періодів водорозбору, для яких потрібно розрахувати об'єм та потужність вбудованого теплообмінника.

Перший варіант.

Ємнісний водонагрівач повинен нагріти та закумулювати об'єм води, необхідний для забезпечення водорозбору впродовж перерви з найбільшим рівнем водоспоживання. До того ж проміжний нагрів відбуватиметься під час занять, повний нагрів у неробочий час, тобто тривалість нагріву становить:

$$\tau_n = 80 \text{ хв.} = 1,3 \text{ год.}$$

Другий варіант.

Ємнісний водонагрівач повинен нагріти та закумулювати об'єм води, необхідний для забезпечення усього періоду водоспоживання (водорозбору усіх перерв).

До того ж нагрів відбуватиметься тільки в неробочий час, тобто приблизно з 17:00 до 08:00 або з 22:00 до 08:00, тоді розрахункова тривалість нагріву становитиме $\tau_n = 15$ год та $\tau_n = 10$ год відповідно.

Щоб визначити об'єм гарячої води, який був спожитий упродовж періодів водорозбору, необхідно розрахувати площу фігури на графіках водоспоживання будівлі, обмежену осями координат та ступінчастою діаграмою (рис. 7).

Рекомендуємо даний розрахунок проводити в програмному середовищі MS Excel, програма для розрахунку прикладається до лабораторної роботи.

Щоб розрахувати об'єм бака за допомогою програми MS Excel, необхідно підставити загальну кількість приладів, з яких розбирається гаряча вода в i -ий момент часу з графіків водоспоживання університету у відповідні стовбці.

Програма розрахунку за формулою (1) визначить загальну витрату гарячої води в i -ий момент часу та за формулою (5) розрахує об'єм гарячої води, який був використаний за відповідну перерву, і виведе результат у блакитній комірці.

Приклад заповнення таблиці для розрахунку об'єму води, спожитої впродовж першої перерви за даними графіка водоспоживання будівлі (рис. 22) зображено на рис. 20.

| Перша перерва 10:20 – 10:30 | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Кільк. приладів | 0 | 2 | 2 | 5 | 4 | 9 | 8 | 7 | 4 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| Момент часу | 10:20:00 | 10:20:10 | 10:20:20 | 10:20:30 | 10:20:40 | 10:20:50 | 10:21:00 | 10:21:10 | 10:21:20 | 10:21:30 | 10:21:40 | 10:21:50 | 10:22:00 |
| Площа прямок. S_i | 0 | 1,72 | 1,72 | 4,3 | 3,44 | 7,74 | 6,88 | 6,02 | 3,44 | 2,58 | 0,86 | 0 | 0 |
| Кільк. приладів | 4 | 8 | 6 | 5 | 7 | 4 | 3 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 |
| Момент часу | 10:22:10 | 10:22:20 | 10:22:30 | 10:22:40 | 10:22:50 | 10:23:00 | 10:23:10 | 10:23:20 | 10:23:30 | 10:23:40 | 10:23:50 | 10:24:00 | 10:24:10 |
| Площа прямок. S_i | 3,44 | 6,88 | 5,16 | 4,3 | 6,02 | 3,44 | 2,58 | 1,72 | 1,72 | 0 | 1,72 | 0,86 | 0,86 |
| Кільк. приладів | 0 | 0 | 4 | 6 | 4 | 8 | 6 | 9 | 11 | 6 | 4 | 8 | 11 |
| Момент часу | 10:24:20 | 10:24:30 | 10:24:40 | 10:24:50 | 10:25:00 | 10:25:10 | 10:25:20 | 10:25:30 | 10:25:40 | 10:25:50 | 10:26:00 | 10:26:10 | 10:26:20 |
| Площа прямок. S_i | 0 | 0 | 3,44 | 5,16 | 3,44 | 6,88 | 5,16 | 7,74 | 9,46 | 5,16 | 3,44 | 6,88 | 9,46 |
| Кільк. приладів | 12 | 9 | 14 | 11 | 12 | 15 | 14 | 16 | 17 | 16 | 12 | 7 | 4 |
| Момент часу | 10:26:30 | 10:26:40 | 10:26:50 | 10:27:00 | 10:27:10 | 10:27:20 | 10:27:30 | 10:27:40 | 10:27:50 | 10:28:00 | 10:28:10 | 10:28:20 | 10:28:30 |
| Площа прямок. S_i | 10,32 | 7,74 | 12,04 | 9,46 | 10,32 | 12,9 | 12,04 | 13,76 | 14,62 | 13,76 | 10,32 | 6,02 | 3,44 |
| Кільк. приладів | 6 | 2 | 1 | 0 | 5 | 6 | 4 | 3 | | | | | |
| Момент часу | 10:28:40 | 10:28:50 | 10:29:00 | 10:29:10 | 10:29:20 | 10:29:30 | 10:29:40 | 10:29:50 | 10:30:00 | | | | |
| Площа прямок. S_i | 5,16 | 1,72 | 0,86 | 0 | 4,3 | 5,16 | 3,44 | 2,58 | | | | | |
| Об'єм спожитої гарячої води V (л) | 303,58 | | | | | | | | | | | | |

Рис. 20. Приклад заповнення таблиці в програмі MS Excel для розрахунку об'єму гарячої води, спожитої впродовж першої перерви (10:20 – 10:30)

У результаті визначається об'єм гарячої води, який було спожито в головному корпусі університету впродовж першої перерви:

$$V_1 \approx 304 \text{ л.}$$

Таким чином виконується розрахунок об'єму використаної гарячої води для усіх перерв.

До наступного розрахунку приймається:

$$V_1 \approx 304 \text{ л; } V_2 \approx 1028 \text{ л; } V_3 \approx 229 \text{ л; } V_4 \approx 395 \text{ л.}$$

Для першого варіанту роботи, в якому ємнісний водонагрівач повинен заकुмулювати об'єм води, необхідний для забезпечення водорозбору впродовж перерви з найбільшим рівнем водоспоживання, мінімальний об'єм водонагрівача дорівнюватиме об'єму гарячої води, спожитої за другу перерву, тобто:

$$V_6^I = V_2 = 1028 \text{ л.}$$

Для другого варіанту роботи ємнісний водонагрівач повинен заकुмулювати об'єм води, необхідний для забезпечення усього періоду водоспоживання (водорозбору усіх перерв), тому його мінімальний об'єм дорівнюватиме сумі об'ємів спожитої за усі перерви води:

$$V_6^{II} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 304 + 1028 + 229 + 395 = 1956 \text{ л.}$$

Наступним кроком розраховується мінімальна потужність вбудованого теплообмінника для обох варіантів режиму роботи.

У першому варіанті розрахунковий об'єм води повинен нагрітися впродовж одного заняття, тобто тривалість нагріву становить:

$$\tau_n = 1,3 \text{ год.}$$

Приймається, що перед початком робочого дня в баці вже закумульований розрахунковий об'єм $V_6^I = 1028$ л гарячої води (нагрів відбувався у неробочий час).

Тоді за першу перерву з даного об'єму буде спожито 304 літра гарячої води, які потрібно нагріти впродовж 2-го заняття для того, щоб забезпечити безперебійне постачання води заданої температури впродовж 2-ої перерви. Маса води розраховується за формулою (7):

$$m = 992 \cdot 304 \cdot 10^{-3} = 302 \text{ кг}$$

Тепер можна знайти мінімальну потужність теплообмінника, необхідну для нагріву даної маси води впродовж 1,3 години за формулою (6):

$$Q^I = \frac{302 \cdot 4,19 \cdot (55 - 5)}{3600 \cdot 1,3} = 13,5 \text{ кВт.}$$

Під час наступної перерви буде спожито увесь закумуляований об'єм гарячої води $V_6^I = 1028$ л, тому вбудований теплообмінник повинен нагріти необхідні для проходження наступного водорозбору 229 літрів води.

Маса води розраховується за формулою (7):

$$m = 992 \cdot 229 \cdot 10^{-3} = 227 \text{ кг.}$$

Необхідна мінімальна потужність теплообмінника становить:

$$Q^I = \frac{227 \cdot 4,19 \cdot (55 - 5)}{3600 \cdot 1,3} = 10 \text{ кВт.}$$

Для того, щоб нагріти 395 літрів гарячої води, необхідні для забезпечення наступного періоду водорозбору, потрібна потужність теплообмінника не нижче, ніж:

$$m = 992 \cdot 395 \cdot 10^{-3} = 392 \text{ кг;}$$

$$Q^I = \frac{392 \cdot 4,19 \cdot (55 - 5)}{3600 \cdot 1,3} = 17,5 \text{ кВт.}$$

Отже, щоб забезпечити такий режим роботи, мінімальна потужність теплообмінника повинна дорівнювати найбільшому зі значень, тобто

$$Q^I = 17,5 \text{ кВт.}$$

У другому варіанті завдання розрахунковий об'єм води $V_6^{II} = 1956 \text{ л}$ повинен нагрітися впродовж неробочого періоду, тобто тривалість нагріву становить $\tau_n = 16 \text{ год}$ (з 17:00 до 09:00).

Мінімальна потужність теплообмінника при нагріві за 16 год становить:

$$m = 992 \cdot 1956 \cdot 10^{-3} = 1940 \text{ кг;}$$

$$Q^{II} = \frac{1940 \cdot 4,19 \cdot (55 - 5)}{3600 \cdot 16} = 7 \text{ кВт.}$$

Тепер потрібно розрахувати мінімальний об'єм та потужність ємнісного водонагрівача за загальною середньою витратою, розрахованою за методикою ДБН В.2.5-64:2012 [4].

У нормах [4] представлено дві методики визначення усередненої загальної витрати. Значення однієї залежить від кількості водорозбірних приладів, а іншої – від кількості споживачів.

Спочатку необхідно визначити витрату, що залежить від кількості споживачів.

Згідно з табл. А.2 [4] розрахункова (питома середня за рік) добова витрата гарячої води для будівель навчально-освітніх та спеціалізованих шкіл, професійно-навчальних закладів, вищих навчальних закладів, інститутів підвищення кваліфікації з душовими при гімнастичних залах і їдальнях, які працюють на півфабрикатах, становить $Q_T^h = 8 \frac{\text{л}}{\text{добу}}$ в розрахунку на одного студента (фрагмент табл. представлений на рис. 20).

Під добою для будівель даного призначення в нормах мають на увазі тривалість робочого дня, що становить 8 годин.

Враховуючи значну складність точного визначення кількості споживачів, пов'язану з великою проєктною їх кількістю (згідно зі застарілими даними, майже 10000 осіб) та непередбачуваністю

відвідування ними санвузлів, приймається для розрахунку приблизна кількість споживачів: 3000 осіб.

З достатньою точністю можна стверджувати, що прийняте значення ймовірніше завищене, ніж занижене, однак через відсутність уточнюючих даних за краще залишити його.

Добову витрату (під добовою мається на увазі за робочий період будівлі) потрібно перевести в годинну:

$$8 \text{ л}/8 \text{ год} = 1 \text{ л}/\text{год}.$$

У нормах прийнято за тривалість водорозбору для будівель даного призначення тривалість робочого дня, тобто 8 годин.

Якщо середня витрата $q_{\text{сер}}^{\Gamma} = 1 \frac{\text{л}}{\text{год}} \cdot 1$ студента триватиме впродовж 8 год, то мінімальний об'єм ємнісного водонагрівача, необхідний для забезпечення такого періоду водорозбору, становитиме:

$$V = 1 \cdot 8 \cdot 3000 = 24000 \text{ л}.$$

А мінімальна потужність теплообмінника при нагріві впродовж 16 год:

$$m = 992 \cdot 24000 \cdot 10^{-3} = 23808 \text{ кг};$$

$$Q = \frac{23808 \cdot 4,19 \cdot (55 - 5)}{3600 \cdot 15} = 86,6 \text{ кВт}.$$

Наступним кроком розраховується мінімальний об'єм бака та потужність теплообмінника за методикою ДБН В.2.5-64:2012 [4], відштовхуючись від кількості водорозбірних приладів.

Розрахункова (середня за годину) витрата гарячої води для раковини зі змішувачем в навчальних закладах, загальноосвітніх установах та адміністративних будівлях за табл. А.3 [4] (представлена в дод. 7), становить:

$$q_T^h = 12 \frac{\text{л}}{\text{год}} \cdot 1 \text{ прилад}.$$

Якщо водорозбір з даною середньою витратою триватиме упродовж 8 год (тривалість робочого дня для будівель даного призначення згідно з

ДБН В.2.5-64:2012 [4]), то необхідний мінімальний об'єм бака становитиме:

$$V = 12 \cdot 8 \cdot 42 = 4032 \text{ л.}$$

Відповідно мінімальна потужність вбудованого теплообмінника повинна становити не менше:

$$m = 992 \cdot 4032 \cdot 10^{-3} = 4000 \text{ кг;}$$

$$Q = \frac{4000 \cdot 4,19 \cdot (55 - 5)}{3600 \cdot 16} = 14,5 \text{ кВт.}$$

Усі результати розрахунків необхідно заносити до порівняльної табл. 2.

**Порівняння методів визначення розрахункових параметрів
ємнісного водонагрівача**

| Метод визначення розрахункового об'єму гарячої води | Розрахункові параметри ємнісного водонагрівача | | | |
|---|--|--|--------------------------------------|---|
| | Розрахункова тривалість водорозбору, год | Мінімальний об'єм ємнісного водонагрівача, л | Розрахункова тривалість нагріву, год | Мінімальна потужність теплообмінника, кВт |
| Моніторинг за режимом водоспоживання. Розрахунок для забезпечення найбільшого періоду водорозбору | 0,5 (30 хв) | 1028 | 1,3 (80 хв) | 17,5 |
| Моніторинг за режимом водоспоживання. Розрахунок для забезпечення усього періоду водорозбору – усіх перерв | 1 | 1956 | 16 | 7 |
| Методика ДБН В.2.5-64:2012. Розрахунок за середньодобовою витратою, залежно від кількості споживачів | 8 | 24000 | 16 | 86,6 |
| Методика ДБН В.2.5-64:2012. Розрахунок за середньою годинною витратою, залежно від кількості водорозбірних приладів | 8 | 4032 | 16 | 14,5 |

Значення мінімального об'єму ємнісного водонагрівача прямопропорційно залежить від розрахункової середньої витрати та тривалості водорозбору.

У чинному ДБН В.2.5-64:2012 [4] представлено дві методики визначення розрахункової середньої витрати гарячої води: залежно від кількості споживачів та кількості водорозбірних приладів.

Методику визначення середньої витрати, що залежить від кількості споживачів, не варто використовувати, якщо відсутні дані про більш-менш точну кількість можливих споживачів.

Будівлі вищих навчальних закладів можна зарахувати до категорії об'єктів, для яких це значення зазвичай є невідомим.

З порівняльної табл. видно, що значення мінімального об'єму, визначені за середньою витратою, що залежать від кількості споживачів, виявились значно більшими за ті, що залежать від кількості приладів.

Значення мінімальної потужності теплообмінника прямопропорційно залежить від об'єму води, який необхідно нагріти, та оберненопропорційно від тривалості нагріву. Тобто, чим менша тривалість нагріву води, тим більшої потужності потрібен теплообмінник.

Тривалість нагріву необхідно визначати залежно від режиму водоспоживання будівлі.

Після побудови та заповнення табл. необхідно порівняти значення мінімального об'єму ємнісного водонагрівача, визначеного за даними спостережень з об'ємом, визначеним за ДБН В.2.5-64:2012 [4], та зробити висновки.

У висновках описати величину відхилення, визначеного за даними спостережень значення об'єму ємнісного водонагрівача, від тих, що розраховані за ДБН В.2.5-64:2012 [4].

Крім того, необхідно прийняти мінімальний об'єм ємнісного водонагрівача і мінімальну потужність вбудованого в нього теплообмінника та обґрунтувати свій вибір.

1.5. Висновки

У висновку необхідно описати загальні відмінності способів нагріву води та особливості розрахунку обладнання для них. Порівняти характеристики обладнання, визначені за результатами спостережень за режимом водоспоживання, з тими, що були визначені за методикою ДБН В.2.5-64:2012 [4].

Запитання для самоконтролю

1. Основні терміни та визначення.
2. Способи приготування гарячої води в громадських будівлях.
3. Як визначити витрату гарячої води одним водорозбірним приладом?
4. Як врахувати неодноразовість використання водорозбірних приладів?
5. Як визначити реальний рівень водоспоживання гарячої води в громадській будівлі?
6. Як визначити кількість теплоти, необхідної для функціонування системи ГВП громадської будівлі?
7. Як визначити розрахунковий тепловий потік на систему гарячого водопостачання?
8. Як визначити об'єм бака-акумулятора для системи гарячого водопостачання?
9. Які є місцеві системи гарячого водопостачання? Назвіть їхні переваги та недоліки.
10. Які є переваги та недоліки централізованого гарячого водопостачання?

Список використаних джерел:

1. W. Szaflik «Projektowanie instalacji ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych», изданной Щецинской Политехникой в 2008 г. ISBN 978-83-7457-049-7 (польский).
2. Каталог продукції та технічних рішень – Flamco Meibes [Електронний ресурс]. Flamco Meibes. – Режим доступу : URL: <https://www.meibes.ua/downloads/katalog.html> (дата звернення : 13.09.2022). – Назва з екрана.
3. ДБН В.2.5–64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація:– [Чинні від 2013–03–01] // Мінрегіон України. – Київ : Укрархбудінформ, 2013. – 121 с. – (Державні будівельні норми України).
4. Кравченко В.С. Санітарно-технічне обладнання : підручник / В.С. Кравченко та ін. – Київ : Кондор, 2007. – 458 с.
5. Кравчук А.М. Водопостачання і водовідведення : навчальний посібник / А.М. Кравчук, О.Я. Кравчук. – Київ : КНУБА, 2012.
6. Шульга М.О., Алексахін О.О. Теплопостачання та гаряче водопостачання : навч. посібник. – Харків : ХНАМГ, 2004. – 229 с.
7. Енергозбереження в університетських містечках : посібник для студ. вищих закл. освіти / К.Р. Сафіюліна, А.Г. Колієнко, Р.Ю. Тормосов. – Київ : ТОВ «Поліграф плюс», 2010. – 328 с.
8. Козячина Б.І. Порівняння методів визначення витрати гарячої води при підборі станції проточного нагріву для вищих навчальних закладів / Б. І. Козячина // International scientific-practical conference of young scientists Build-Master-Class, Київ, 30 листоп. – 2 груд. 2022 р. – С. 233–234.
9. Czabak B. Modelowanie matematyczne procesu poboru ciepłej wody w budownictwie wielorodzinnym, rozprawa doktorska, Opole, 2003.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

Кафедра теплотехніки

Звіт про виконання лабораторної роботи
з навчальної дисципліни «**Гаряче водопостачання**»

Виконав: Козячина Богдан Ігорович,
студент групи ТЕ-22
факультету інженерних систем та екології
Перевірила: Чепурна Наталія Володимирівна,
канд. техн. наук, доцент

Київ 2024 р.

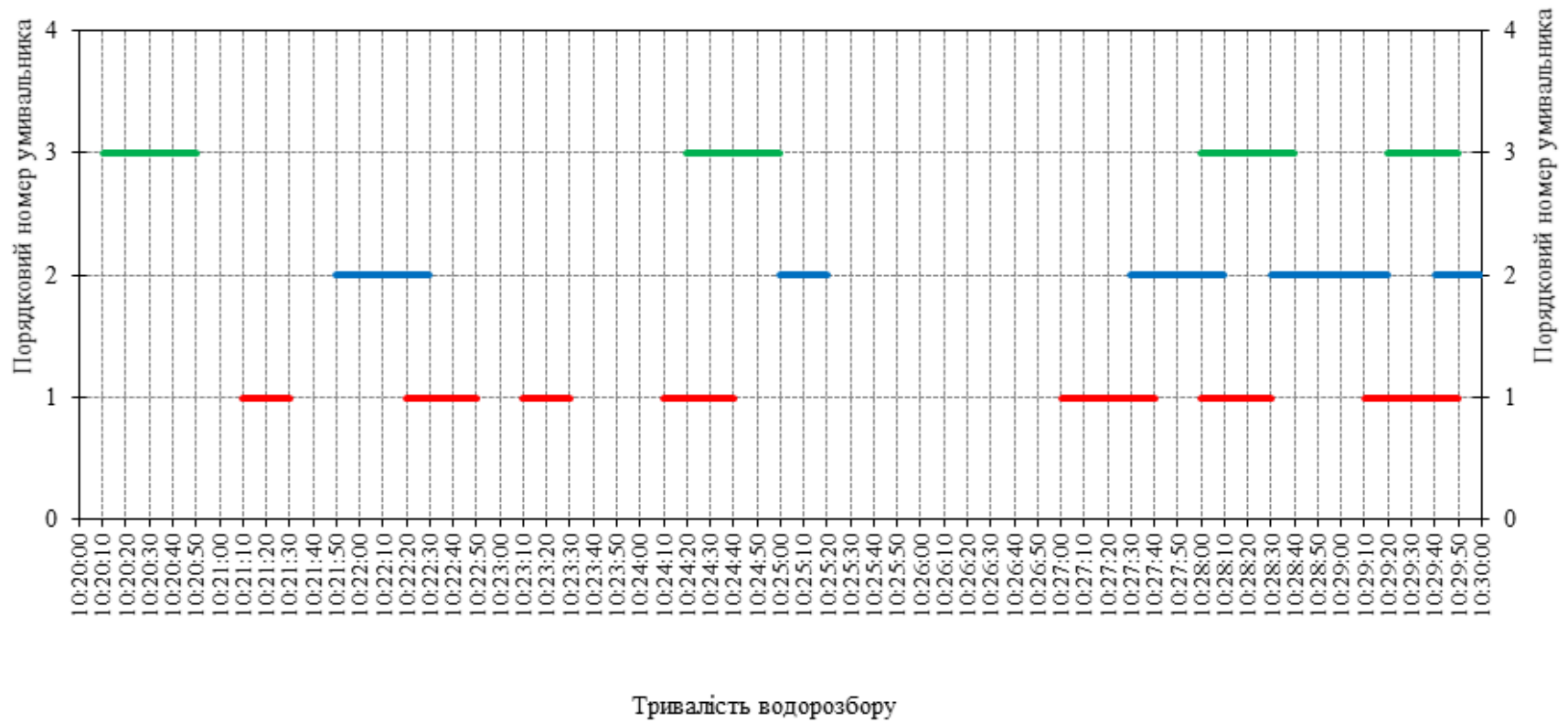


Рис. 21. Приклад побудови графіка тривалості використання окремих водорозбірних приладів у вбиральні під час першої перерви

Графік водоспоживання вбиральні під час перерви

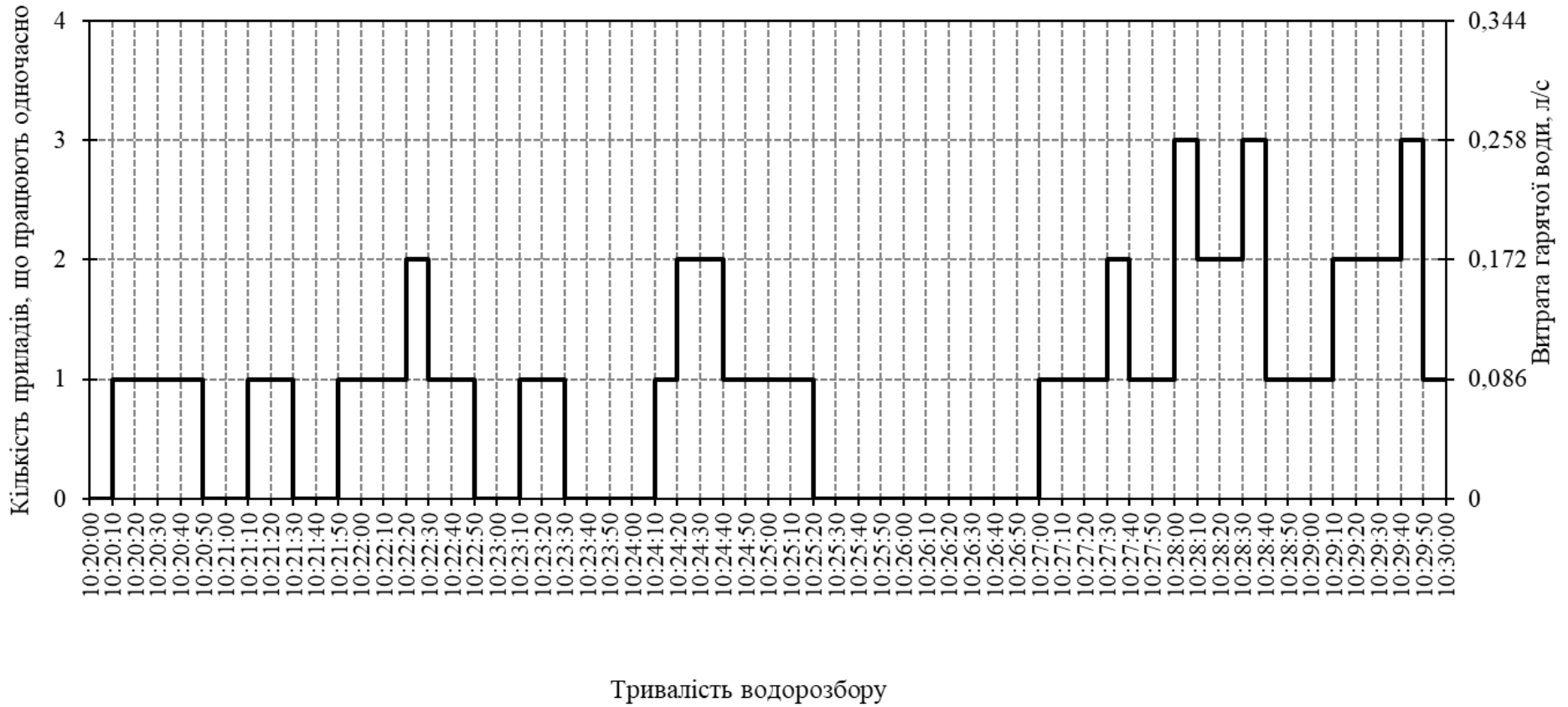


Рис. 22. Приклад побудови графіка водоспоживання для окремої вбиральні

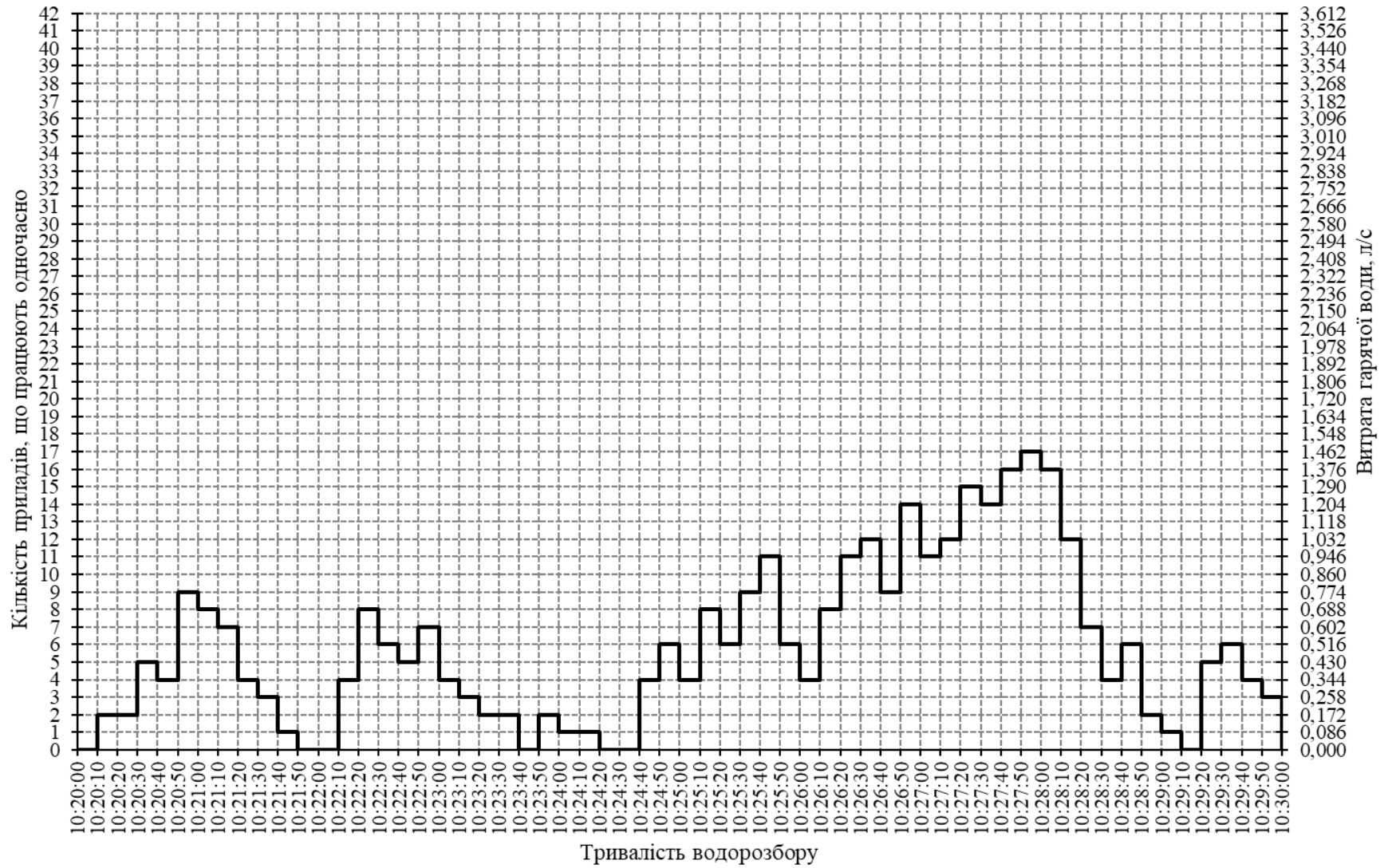


Рис. 23. Приклад побудови графіка водоспоживання для всієї будівлі під час першої перерви

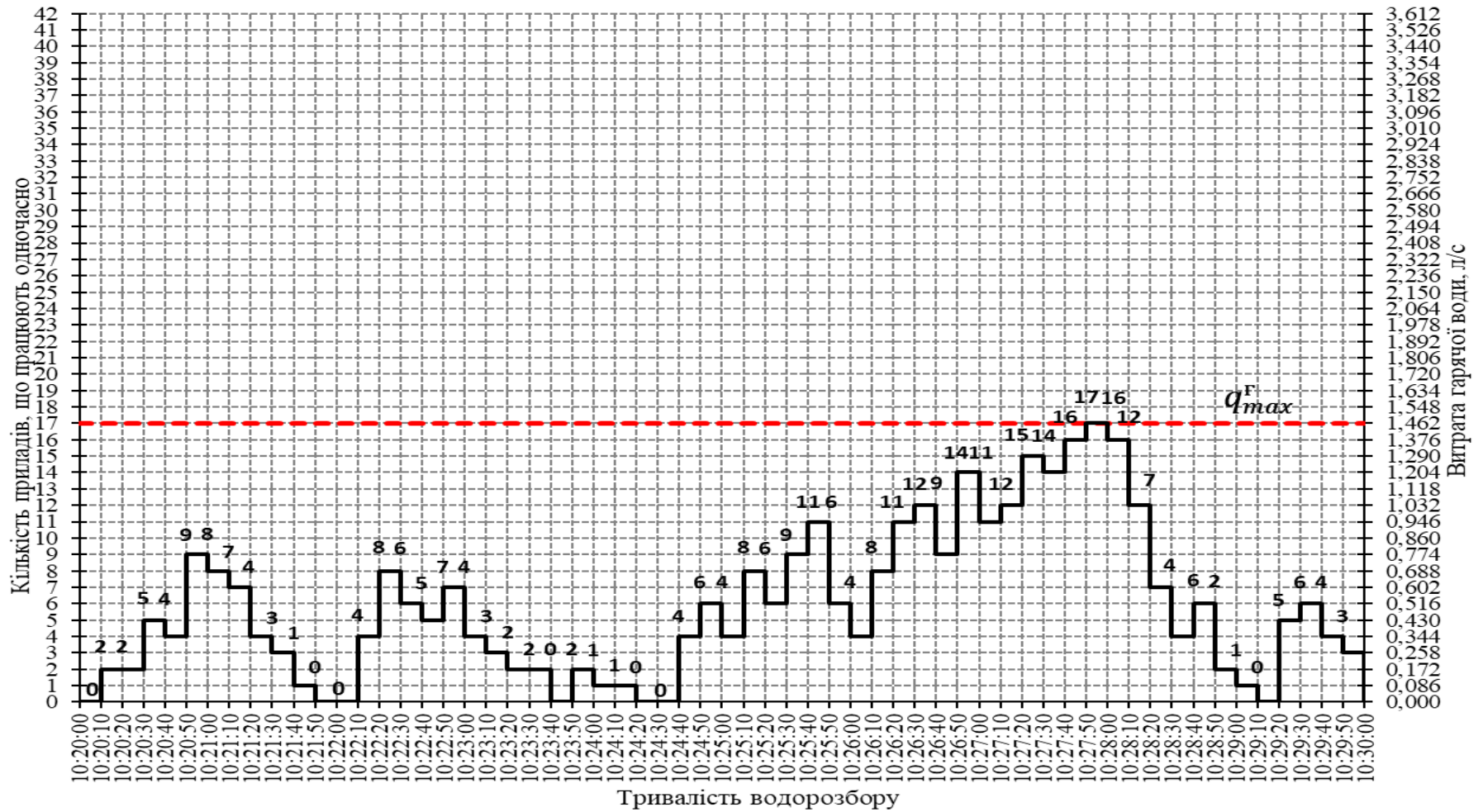


Рис. 24. Графік водоспоживання університету впродовж першої перерви

Таблиця А.2 - Розрахункові (питомі середні за рік) добові витрати води

| № з/п | Споживачі | Одиниця виміру | Розрахункові (питомі) середні за рік добові витрати води, л/добу на одиницю виміру | | Підвищувальний коефіцієнт для III, IV кліматичних районів | Тривалість водорозбору, год |
|---|--|--------------------------------|--|------------------------|---|-----------------------------|
| | | | загальна Q_T^{tot} | у т.ч. гарячої Q_T^h | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 6 | Навчальні заклади (спеціальні, санаторні), будинки дитини, дошкільні дитячі будинки, спеціальні та санаторні школи-інтернати - із денним перебуванням дітей: | 1 дитина | 40 | 20 | 1,1 | 10 |
| | - з їдальнями на півфабрикатах; | | | | | |
| | - з їдальнями, які працюють на сировині, і пральнями; | | | | | |
| | - із цілодобовим перебуванням дітей: | | | | | |
| - з їдальнями на півфабрикатах; | » | 80 | 30 | 1,1 | 10 | |
| - з їдальнями, які працюють на сировині, і пральнями; | » | 60 | 30 | 1,15 | 24 | |
| - з їдальнями, які працюють на сировині, і пральнями; | » | 120 | 40 | 1,15 | 24 | |
| 7 | Навчально-освітні та спеціалізовані школи, професійно-навчальні заклади, вищі навчальні заклади, інститути підвищення кваліфікації тощо з душовими при гімнастичних залах і їдальнями, які працюють на півфабрикатах | 1 учень (студент і 1 викладач) | 20 | 8 | 1,1 | 8 |
| 8 | Науково-дослідні інститути, проектні та конструкторські організації, установи органів управління та громадських організацій, бібліотеки та музеї, вокзали всіх видів транспорту тощо | 1 працівник | 15 | 6 | 1,2 | 8 |

**Розрахункові середні за годину витрати води санітарно-технічними приладами для різних будівель
згідно з ДБН В.2.5-64:2012 [4]**

| Прилад | Розрахункові (середні за годину) витрати води, л/год, $q_f^c + q_f^h$ санітарно-технічного приладу для різних типів будівель, | | | | | | | |
|---|---|---|--|---|---|--|---|--|
| | жит-лові будинки | лазні, пральні, виробничі приміщення, майстерні, гаражі | навчальні заклади, загальноосвітні установи, адміністративні будівлі НДІ | лікувальні установи, будинки відпочинку, санаторії, дошкільні освітні заклади, промтоварні магазини | готелі, гуртожитки, школи-інтернати, об'єкти фізкультурного і фізкультурно-дозвіллевого призначення | підприємства громадського харчування, продовольчі магазини | спортивні споруди, театри, кінотеатри, громадські туалети | максимальні секундні витрати стоків, л/с |
| Субаквальна ванна | - | - | - | 200+200 | - | - | - | 3,0 |
| Ванна з підводним масажем | - | - | - | 300+200 | - | - | - | 3,0 |
| Контрастна ванна | - | - | - | 200+200 | - | - | - | 3,0 |
| Раковина лабораторна, водорозбірна колонка | 10 | 20 | 20 | 20 | 20 | - | - | 0,3 |
| Раковина зі змішувачем | 4+6 | 8+12 | 8+12 | 8+12 | 8+12 | - | - | 0,4 |
| Посудомийна машина побутова | 58 | - | - | - | - | - | - | 0,16 |
| Посудомийна машина виробнича | | За паспортними даними | | | | | | За паспортними даними |
| Пральна машина побутова | 50 | | | | | | | |
| Пральна машина виробнича | | За паспортними даними | | | | | | За паспортними даними |
| Примітка 1. Перше значення - витрата холодної води, друге - витрата гарячої води. | | | | | | | | |
| Примітка 2. Для унітазів, пісуарів, раковин лабораторних, машин побутових посудомийних та пральних дана витрата холодної води. | | | | | | | | |

Максимальна секундна витрата води залежно від кількості приладів та середньої витрати ними за годину згідно з ДБН В.2.5-64:2012 [4]

| Кількість приладів | Вода | Одиниця виміру | Середня витрата за годину, л/год | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 23 | 26 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 70 | 80 |
| 40 | Загальна | л/с | 0,63 | 0,73 | 0,83 | 0,95 | 1,07 | 1,18 | 1,36 | 1,40 | 1,51 | 1,65 | 1,77 | 1,92 | 2,07 | 2,20 | 2,31 | 2,40 | 2,49 | 2,57 | 2,73 | 2,88 |
| | | м ³ /год | 1,16 | 1,33 | 1,54 | 1,76 | 1,99 | 2,21 | 2,43 | 2,64 | 2,85 | 3,13 | 3,39 | 3,70 | 4,04 | 4,34 | 4,61 | 4,87 | 5,11 | 5,34 | 5,80 | 6,26 |
| | Холодна або гаряча | л/с | 0,49 | 0,57 | 0,66 | 0,75 | 0,85 | 0,94 | 1,03 | 1,12 | 1,21 | 1,32 | 1,43 | 1,55 | 1,68 | 1,79 | 1,89 | 1,98 | 2,06 | 2,14 | 2,28 | 2,43 |
| | | м ³ /год | 0,89 | 1,05 | 1,23 | 1,42 | 1,61 | 1,80 | 1,99 | 2,17 | 2,34 | 2,59 | 2,82 | 3,09 | 3,40 | 3,68 | 3,94 | 4,19 | 4,42 | 4,65 | 5,10 | 5,55 |
| 50 | Загальна | л/с | 0,72 | 0,82 | 0,93 | 1,06 | 1,19 | 1,31 | 1,44 | 1,56 | 1,67 | 1,82 | 1,96 | 2,13 | 2,30 | 2,45 | 2,58 | 2,70 | 2,80 | 2,90 | 3,10 | 3,29 |
| | | м ³ /год | 1,38 | 1,57 | 1,80 | 2,05 | 2,31 | 2,57 | 2,82 | 3,07 | 3,30 | 3,63 | 3,94 | 4,30 | 4,71 | 5,08 | 5,41 | 5,73 | 6,03 | 6,33 | 6,91 | 7,48 |
| | Холодна або гаряча | л/с | 0,55 | 0,64 | 0,74 | 0,84 | 0,95 | 1,05 | 1,15 | 1,25 | 1,34 | 1,47 | 1,59 | 1,73 | 1,88 | 2,01 | 2,13 | 2,23 | 2,33 | 2,43 | 2,61 | 2,79 |
| | | м ³ /год | 1,06 | 1,24 | 1,44 | 1,66 | 1,88 | 2,11 | 2,32 | 2,53 | 2,74 | 3,03 | 3,30 | 3,63 | 4,00 | 4,34 | 4,66 | 4,97 | 5,26 | 5,55 | 6,11 | 6,67 |
| 60 | Загальна | л/с | 0,80 | 0,90 | 1,03 | 1,16 | 1,30 | 1,44 | 1,57 | 1,70 | 1,82 | 1,99 | 2,15 | 2,33 | 2,52 | 2,69 | 2,84 | 2,98 | 3,10 | 3,22 | 3,46 | 3,69 |
| | | м ³ /год | 1,58 | 1,79 | 2,05 | 2,33 | 2,62 | 2,91 | 3,20 | 3,47 | 3,74 | 4,11 | 4,46 | 4,88 | 5,36 | 5,79 | 6,19 | 6,57 | 6,93 | 7,29 | 7,99 | 8,68 |
| | Холодна або гаряча | л/с | 0,62 | 0,71 | 0,81 | 0,93 | 1,04 | 1,15 | 1,26 | 1,37 | 1,47 | 1,62 | 1,75 | 1,90 | 2,07 | 2,22 | 2,36 | 2,48 | 2,60 | 2,71 | 2,93 | 3,15 |
| | | м ³ /год | 1,22 | 1,42 | 1,65 | 1,90 | 2,15 | 2,40 | 2,65 | 2,89 | 3,12 | 3,45 | 3,76 | 4,14 | 5,58 | 4,98 | 5,36 | 5,72 | 6,08 | 6,42 | 7,10 | 7,78 |
| 70 | Загальна | л/с | 0,88 | 0,99 | 1,12 | 1,26 | 1,41 | 1,56 | 1,70 | 1,84 | 1,97 | 2,15 | 2,32 | 2,52 | 2,74 | 2,93 | 3,09 | 3,25 | 3,39 | 3,54 | 3,81 | 4,08 |
| | | м ³ /год | 1,79 | 2,01 | 2,29 | 2,60 | 2,92 | 3,24 | 3,56 | 3,87 | 4,16 | 4,58 | 4,97 | 5,45 | 5,99 | 6,48 | 6,95 | 7,38 | 7,81 | 8,22 | 9,04 | 9,86 |
| | Холодна або гаряча | л/с | 0,68 | 0,78 | 0,89 | 1,01 | 1,13 | 1,25 | 1,37 | 1,49 | 1,60 | 1,75 | 1,90 | 2,07 | 2,26 | 2,43 | 2,58 | 2,72 | 2,86 | 2,99 | 3,25 | 3,50 |
| | | м ³ /год | 1,38 | 1,60 | 1,85 | 2,12 | 2,40 | 2,68 | 2,96 | 3,23 | 3,49 | 3,86 | 4,21 | 4,64 | 5,14 | 5,61 | 6,05 | 6,47 | 6,88 | 7,28 | 8,08 | 8,87 |
| 80 | Загальна | л/с | 0,95 | 1,07 | 1,21 | 1,36 | 1,52 | 1,67 | 1,82 | 1,97 | 2,11 | 2,31 | 2,49 | 2,71 | 2,94 | 3,15 | 3,34 | 3,51 | 3,68 | 3,84 | 4,15 | 4,46 |
| | | м ³ /год | 1,99 | 2,23 | 2,53 | 2,87 | 3,22 | 3,57 | 3,91 | 4,25 | 4,57 | 5,03 | 5,47 | 6,00 | 6,61 | 7,16 | 7,69 | 8,19 | 8,67 | 9,15 | 10,1 | 11,0 |
| | Холодна або гаряча | л/с | 0,74 | 0,84 | 0,96 | 1,09 | 1,22 | 1,35 | 1,48 | 1,60 | 1,72 | 1,89 | 2,04 | 2,23 | 2,44 | 2,63 | 2,80 | 2,96 | 3,11 | 3,26 | 3,56 | 3,85 |
| | | м ³ /год | 1,53 | 1,77 | 2,05 | 2,35 | 2,65 | 2,96 | 3,26 | 3,56 | 3,85 | 4,26 | 4,65 | 5,13 | 5,70 | 6,22 | 6,72 | 7,20 | 7,67 | 8,13 | 9,04 | 9,95 |
| 90 | Загальна | л/с | 1,03 | 1,15 | 1,30 | 1,46 | 1,62 | 1,78 | 1,94 | 2,10 | 2,25 | 2,46 | 2,65 | 2,89 | 3,14 | 3,37 | 3,58 | 3,77 | 3,96 | 4,14 | 4,49 | 4,84 |
| | | м ³ /год | 2,18 | 2,44 | 2,77 | 3,13 | 3,51 | 3,88 | 4,26 | 4,62 | 4,97 | 5,48 | 5,95 | 6,54 | 7,21 | 7,83 | 8,42 | 8,98 | 9,52 | 10,1 | 11,1 | 12,2 |
| | Холодна або гаряча | л/с | 0,79 | 0,91 | 1,03 | 1,17 | 1,31 | 1,44 | 1,58 | 1,71 | 1,84 | 2,02 | 2,19 | 2,39 | 2,62 | 2,82 | 3,01 | 3,19 | 3,36 | 3,53 | 3,86 | 4,19 |
| | | м ³ /год | 1,68 | 1,94 | 2,24 | 2,57 | 2,90 | 3,23 | 3,56 | 3,89 | 4,20 | 4,65 | 5,08 | 5,62 | 6,24 | 6,82 | 7,38 | 7,92 | 8,45 | 8,97 | 10,0 | 11,0 |
| 100 | Загальна | л/с | 1,10 | 1,23 | 1,38 | 1,55 | 1,72 | 1,89 | 2,06 | 2,23 | 2,39 | 2,61 | 2,81 | 3,06 | 3,34 | 3,34 | 3,59 | 3,82 | 4,03 | 4,23 | 4,82 | 5,21 |
| | | м ³ /год | 2,38 | 2,65 | 3,00 | 3,39 | 3,79 | 4,19 | 4,60 | 4,99 | 5,37 | 5,92 | 6,43 | 7,07 | 7,81 | 8,49 | 9,14 | 9,76 | 10,4 | 11,0 | 12,1 | 13,3 |
| | Холодна або гаряча | л/с | 0,85 | 0,97 | 1,10 | 1,24 | 1,39 | 1,54 | 1,68 | 1,82 | 1,96 | 2,15 | 2,33 | 2,54 | 2,79 | 3,02 | 3,22 | 3,42 | 3,61 | 3,80 | 4,16 | 4,52 |
| | | м ³ /год | 1,83 | 2,11 | 2,44 | 2,78 | 3,14 | 3,50 | 3,86 | 4,21 | 4,55 | 5,04 | 5,50 | 6,09 | 6,78 | 7,42 | 8,04 | 8,64 | 9,22 | 9,80 | 10,9 | 12,1 |

Для нотаток

Для нотаток

Навчально-методичне видання

Гаряче водопостачання

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи з теми «Експериментальне визначення
нерівномірності споживання гарячої води громадської будівлі»
для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика»

Укладачі: **Гламаздін Павло Михайлович,**
Чепурна Наталія Володимирівна,
Козячина Богдан Ігорович

Випусковий редактор *Л. С. Тавлуй*
Комп'ютерне верстання *Д. М. Ніколаєвич*

Підписано до друку 24.06 .2024. Формат 60 x 84_{1/16}
Ум. друк. арк. 3,49. Обл.-вид. арк. 3,75.
Електронний документ. Вид. № 39/III-24

Видавець і виготовлювач:
Київський національний університет будівництва і архітектури
Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002