

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій

(повна назва факультету)

Кафедра будівельної механіки

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**Магістра**

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Моделювання процесів теплопереносу зовнішніх стін  
із комірчастого бетону**

Виконав: студент VI курсу, групи МБнм-61  
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
(шифр і назва спеціальності)

Студент \_\_\_\_\_ Холод Ю. О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ Гудь М. І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ Мещерякова О.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Ясній В.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_ Чубик В.Ф.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2024

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Будівельної механіки

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ясній В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

студентці Холод Юлії Олегівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Моделювання процесів теплопереносу зовнішніх стін із комірчастого бетону»

Керівник роботи Гудь Михайло Іванович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 15 » 04 2024 року № 4/7-346

2. Термін подання студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Актуальність проблеми та визначення основного шляху дослідження. Методика розрахунку

Результати дослідження

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

---

---

---

---

---

---

---

---

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б. доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викл.		
Нормоконтроль	Мещерякова О.М. ст.викл.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Актуальність проблеми та визначення основного шляху дослідження		
2	Методика розрахунку		
3	Результати дослідження		
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
5	Загальні висновки		

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Холод Ю. О.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Гудь М. І.  
(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1 АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНОГО ШЛЯХУ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	8
1.1 Етапи розвитку та вивчення історії ніздрюватого бетону .....	8
1.2 Види, властивості та характеристики ніздрюватого бетону .....	10
1.3 Вимоги до матеріалів, що застосовуються для приготування ніздрюватих бетонів .....	14
1.4 Переваги та недоліки ніздрюватого бетону. Методи захисту .....	15
1.5 Висновок до першого розділу .....	18
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ .....	19
2.1 Постановка задачі. Основні поняття теплопередачі та тепло-масообмінних процесів .....	19
2.2 Розрахунок огорожувальних конструкцій за ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» .....	19
2.3 Умови однозначності для процесів теплопровідності .....	25
2.4 Висновки до другого розділу .....	26
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	27
3.1 Об'єкти дослідження .....	27
3.2 Вихідні дані .....	29
3.3 Результати дослідження .....	32
3.3.1 Градієнти температур .....	32
3.3.2 Результати нестационарного розрахунку за 12 місяців .....	33
3.3.3 Зміна вологості за 12 місяців конструкції варіант 1 (600мм) .....	37
3.3.4 Зміна вологості за 12 місяців конструкції варіант 2 (400мм) .....	38
3.3.5 Результати нестационарного розрахунку за 10 років .....	41
3.4 Результати розрахунку за ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» .....	43
3.4.1 Розрахунок паропроникності .....	45

3.5 Порівняння результатів .....	48
3.6 Розрахунок витрат на опалення за розрахунковий період .....	50
<b>РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>52</b>
4.1 Охорона праці.....	52
4.1.1 Інженерні рішення з охорони праці .....	52
4.1.2 Огородження території.....	54
4.1.3 Визначення небезпечних зон на будівельному майданчику .....	54
4.1.4 Організація безпечних умов праці земляних робіт .....	55
4.1.5 Організація безпечних умов праці бетонних робіт .....	55
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях .....	58
4.2.1 Законодавча база України .....	58
4.2.2 Стійкість будівлі від ударної хвилі.....	58
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>63</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЯ .....</b>	<b>64</b>

## ВСТУП

Ніздрюватий бетон є затребуваним і популярним матеріалом у будівництві. Він застосовується як конструкційний, для зведення несучих стін будівлі, так і як теплоізоляційний матеріал.

За рахунок своєї пористої структури, ніздрюватий бетон має низьку теплопровідність. Однак, пориста структура має негативний бік, яким є накопичення вологи в матеріалі, що призводить до додаткових тепловтрат, зниження довговічності конструкції та сприяє розвитку грибків.

Довговічність визначається сукупністю фізичних, механічних і хімічних властивостей матеріалу, і оцінювати її необхідно за конкретними умовами експлуатації. Вона залежить від структури, якості та складу матеріалу, отже, від сукупних властивостей матеріалу, але з іншого боку вона залежить від інтенсивності зовнішніх впливів - навантажень, температурно- вологісного режиму і конструктивного рішення зовнішніх стін.

З урахуванням діючих законодавчих норм - ніздрюватий бетон стає одним з енергоефективних матеріалів, який доцільно застосовувати в якості стінових конструкцій. Але нормативна методика не може дати точну оцінку щодо вологонакопичення конструкції, оскільки не розраховується в динаміці зміни властивостей матеріалу і кліматичних умов, на відміну від чисельного розрахунку в програмному комплексі.

Тепловізійним і розрахунковим методом виявлено точки знижених температур і підвищеної вологості в кутку конструкції. З цього випливає, що раціональний вибір конструктивного рішення будівлі з ніздрюватого бетону безпосередньо пов'язаний з накопиченням вологи в конструкції та погіршенням теплозахисних властивостей, відповідно, дослідження процесів тепло-масопереносу в огорожувальних конструкціях на основі ніздрюватого бетону є актуальним завданням.

**Мета роботи** виявлення особливостей перенесення тепла і вологи в стінових конструкціях з ніздрюватого бетону в нестаціонарних кліматичних

умовах експлуатації.

**Об'єкт досліджень** – є кутове з'єднання несучих стін з ніздрюватого бетону із міжповерховим перекриттям.

**Предмет дослідження** – динаміка вологонакопичення та теплопереносу в матеріалах конструкції з ніздрюватого бетону залежно від конструктивного виконання.

**Доцільність проведення досліджень** зумовлена тим, що отримані результати дадуть можливість підвищити енергоефективність будівель із ніздрюватого бетону.

**Завдання роботи:**

- проаналізувати результати теоретичних і практичних досліджень, нормативної бази з обліку вологонакопичення в конструкціях з ніздрюватого бетону;
- провести чисельне моделювання перенесення тепла і вологи в стінових огороженнях експлуатованих будівель;
- порівняти результати чисельного моделювання та тепловізійних досліджень із нормативною методикою;
- визначити зони максимального зволоження, періоди вологонакопичення і сушіння конструкцій з ніздрюватого бетону на основі чисельного моделювання в нестационарних умовах експлуатації;
- визначити необхідність коригування / уточнення нормативної методики;
- показати вплив урахування вологонакопичення в конструкціях ніздрюватого бетону на його теплотехнічні параметри, енергоефективність і довговічність.

**Методи дослідження** – включають у себе натурні тепловізійні обстеження та розрахунково - теоретичні дослідження процесів теплопереносу. Обстеження проведені тепловізором ThermoCAM.

**Галузю застосування** результатів роботи є проектування нових, реконструкція та експлуатація існуючих будівель.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Досліджено кутове сполучення зовнішніх стін з ніздрюватого бетону з міжповерховим перекриттям, у нестаціонарних температурно-вологісних кліматичних умовах. Отримані розрахунки досліджуваних конструкцій показують, як може змінюватися вологонакопичення в конструкції з ніздрюватого бетону залежно від конструктивного виконання і пори року.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що обґрунтовано потребу чисельного моделювання перенесення тепла і вологи в стінових огороженнях експлуатованих будівель, як найбільш об'єктивного способу теплотехнічного розрахунку.

**Апробація результатів** магістерської роботи виконана роботи виконана на VII Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 25-26 квітня 2024 року.).

**Публікація результатів** магістерської роботи здійснена у збірнику тез вищезазначеної конференції.

Робота виконана згідно з тематикою науково-дослідних робіт кафедри будівельної механіки ТНТУ та державними програмами надійності і економічності будівельних виробів, матеріалів і конструкцій.

**Ключові слова:** ніздрюватий бетон, вологонакопичення, теплоперенос, тепловізійні обстеження.



## РОЗДІЛ 1

### АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНОГО ШЛЯХУ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1 Етапи розвитку та вивчення історії ніздрюватого бетону

На самому початковому етапі розвитку - склад розчину на основі вапна і мінеральних в'язучих, що почало своє перше застосування в Єгипті під час застосування кладок і штукатурних розчинів, наприклад під час будівництва піраміди Хеопса і великого сфінкса 5 тисяч років тому. Більш широке застосування пішло в Греції для штукатурних і облицювальних робіт. Даний склад розчину для кладки та оздоблення мав досить високі міцнісні характеристики і добре проявився своєю довговічністю.

Ретроспективне вивчення історії газобетону, виробництво якого відбувалося на основі природних реакцій пороутворення та тверднення матеріалу, дає підставу виявити кілька історичних етапів (рис. 1.1), що характеризують змістовний розвиток цього будівельного матеріалу[15].

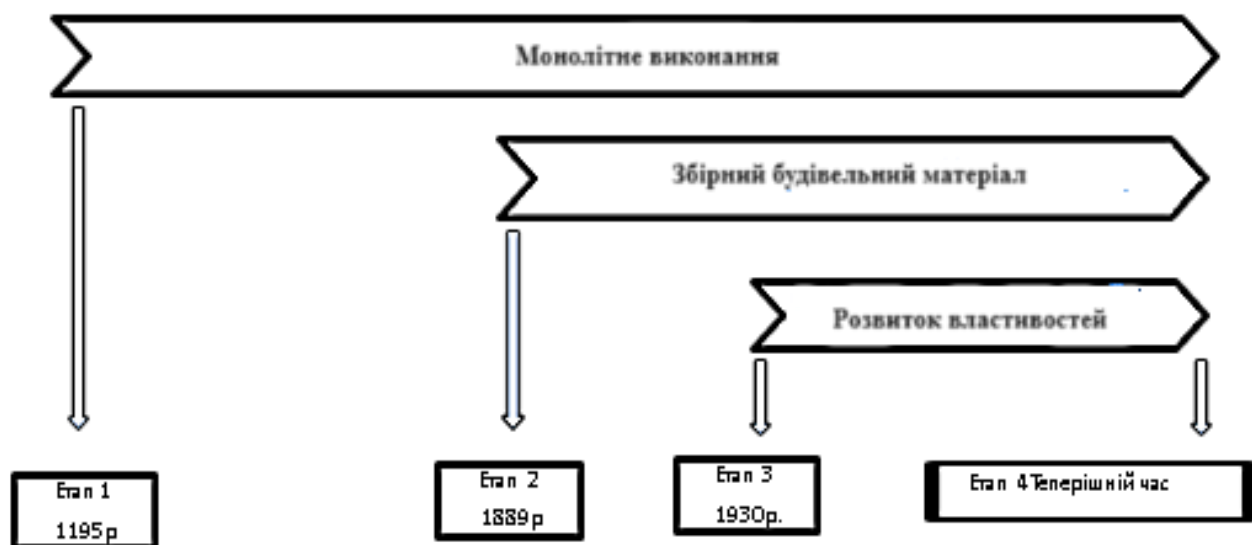


Рисунок 1.1 - Історичний розвиток газобетону, періодизація: схема

Оскільки цей розчин позитивно позначився на застосуванні в будівництві, то подібний склад із застосуванням різних домішок - почали застосовувати для створення збірного будівельного матеріалу, і як чинник - створення нового, легкого і довговічного будівельного матеріалу у вигляді ніздрюватих блоків.

На початку XIX століття почалися перші спроби виготовляти газосилікатні блоки (пінобетон), додаючи бичачу кров, білки тварин з кісток і рогів або мильний розчин. В результаті отриманої хімічної реакції - утворювалася піна і повітряні бульбашки при реакції білка крові і сапоніну з інгредієнтами розчину, але такий екзотичний спосіб був без особливого успіху, так як призводив до випадкових змін якості сировини і до сильного запаху [16]. Згодом, від популяризації портландцементу - цемент, як в'яжуче, поступово змістив вапно і це сприяло великому розвитку для легкобетонного будівництва [17].

Першим, хто отримав цей матеріал під час змішування гіпсових і цементних розчинів із застосуванням хлористих і вуглекислих солей, був учений Гофман [18] з Чехії 1889 року, але розвиток цього матеріалу продовжили інші вчені. Водночас, 1880 року було винайдено технологію впливу на вапняно-кремнеземистих компонентах у автоклавному апараті німецьким вченим В. Міхаелісом шляхом піддавання високої температури і під тиском водяної пари.

Продовжили отримання автоклавного газобетону американці Аулсворт і Даєр у 1914 році. У ролі газоутворювача вони застосували порошки цинку й алюмінію, взаємодіяні з гашеним вапном. При такому змішуванні, виділявся водень, що утворює пористу структуру [19].

Шведський архітектор Аксель Ерікссон з міста Іксхульт з 1917 до 1921 року продовжив розробку цього матеріалу і запропонував спучувати розчин за допомогою алюмінієвого порошку. Завдяки цьому методу 1929 року запустили виробництво газосилікату фірмою "Ітонг", за основу взяли технологію В. Міхаелісона. Ця розробка була заключною і затвердженою, тому в цей проміжок історії (початок XX століття) - офіційно було створено газобетон із нормованим складом.

Перше свідчення подібного методу будівництва з блоків було помічено на

початку ХХ ст. Один з перших будинків, побудований з газобетону в 1939 році в Ризі, стоїть донині без оздоблення та утеплення, але варто пам'ятати, що для кожного регіону свій клімат і не скрізь можна зберегти довговічність і тепло будівлі з ніздрюватих блоків без оздоблення й утеплення.

Розвиток якості та властивостей будівельного матеріалу

Якість цього матеріалу характеризується через його склад і використання правильної форми з метою збільшення тепла та екологічності, оскільки ці критерії впливають на санітарні норми експлуатації будівлі.

Масштаби виробництва автоклавних газобетонних блоків зросли до середини ХХ століття. У період 1960-1970-х років і стали розвиватися нові технології та велися дослідження взаємодії різних добавок і способів виготовлення на властивості газобетону та характеристики сировини, при цьому використовували західні технології родовища газобетону як пористого матеріалу, які ґрунтуються на високотехнологічному обладнанні та забезпечують однорідність матеріалу [20].

Властивості газобетону залежать від його мікроструктури і складу, який залежить від типу використовуваного сполучного, методів пороутворення і затвердіння. Хоча газобетон спочатку замислювався як гарний ізоляційний матеріал, інтерес до його структурних характеристик було відновлено з огляду на його невелику вагу, економію матеріалів під час виробництва і можливість великомасштабного використання відходів, таких як пилоподібна паливна зола.

## **1.2 Види, властивості та характеристики ніздрюватого бетону**

Ніздрюватий бетон належить до класу легких бетонів і вирізняється, головним чином, наявністю у своїй структурі пор. Існує велика кількість різновидів цього матеріалу і залежно від способу поризації серед ніздрюватих бетонів виділяють такі типи:

- пінобетон - пори в даному виді ніздрюватого бетону більш відкриті, внаслідок чого його вологостійкість і морозостійкість менші за газобетон;

- газобетони - має більш точну геометрію і має більш високі теплоізоляційні характеристики в порівнянні з пінобетоном.

Залежно від способу затвердіння в процесі виробництва, ніздрюватий бетон буває:

- автоклавний бетон - твердне в процесі тиску в автоклаві;
- неавтоклавний - при природному твердінні в нормальних умовах.

Ніздрюватий бетон може характеризуватися різною щільністю і, як наслідок, відрізнятися сферою застосування. Залежно від перерахованих нижче факторів, буває:

- теплоізоляційний ніздрюватий бетон - застосовують як утеплювач, оскільки його щільність становить  $400 \text{ кг/м}^3$  і менше та вирізняється хорошим коефіцієнтом теплопровідності;

- теплоізоляційно-конструкційний - цей варіант міцніший за теплоізоляційний ніздрюватий бетон, його щільність починається від  $500$  до  $900 \text{ кг/м}^3$ . Оскільки його щільність вища, як наслідок, його здатність до збереження тепла зменшується. Його застосовують у спорудах у 2-3 поверхи і може використовуватися як несуча конструкція;

- конструкційний - цей вид ніздрюватого бетону є найміцнішим. Його щільність варіюється від  $1000$  до  $1200 \text{ кг/м}^3$ . Його застосовують при зведенні будівель до 5 поверхів як несучі стіни, стіни цокольного поверху і перегородок.

Досліджуваний матеріал має гарний коефіцієнт теплопровідності завдяки своїй пористості, але варто зазначити, що збільшення тепловтрат у споруді з пористого бетону можливе за умови:

- неоднорідності конструкції огорожувальних елементів будівлі - утворення тріщин і містків холоду;
- вузли та рішення, що призводять до замикання відпускної вологості всередині стіни або її накопичення;
- неефективна орієнтація будинку за сторонами світу і рози вітрів;
- неефективний розподіл батарей і місця з утрудненим повітрообміном.

У таблиці 1.1 наведено характеристики за видами ніздрюватого бетону, які

наочно показують, якими властивостями володіє досліджуваний матеріал за різної щільності. Ці характеристики зафіксовані в ДСТУ Б В. 2.7-45:2010 Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови [8]

Таблиця 1.1 - Фізико-механічні властивості виробів з ніздрюватих бетонів

Види бетонів	Марка за середньою густиною	Автоклавний		Неавтоклавний		
		клас за міцністю на стиск	марка за морозостійкістю	клас за міцністю на стиск	марка за морозостійкістю	
Теплоізоляційний	D200	B 0,35	не	B 0,35	не	
	D250	B 0,5	нормується	B 0,5	нормується	
	D300	B 0,75		B 0,75		
	D350	B 1				
Конструкційно-теплоізоляційний	D400*	B 1	F15	B 1	F15	
	D500	B 1,5	F25	B 1,5	F25	
		B 2	F35	B 2	F35	
		B 2,5			F50	
	D600	B 2	F15	B 1,5	F75	
		D700	B 2,5	F25		B 2
			B 3,5	F35		B 2,5
			B 5	F50		
	D800	B 2,5	F25	B 2		
		D900	B 3,5	F35	B 2,5	
			B 5	F50	B 3,5	
			B 7,5	F75	B 5	
B 10						
Конструкційний	D1000	B 7,5	F25	B 5	F15	
	D1100	B 10	F35	B 7,5	F25	
		B 12,5	F50	B 10	F35	
		B 15	F75	B 12,5	F50	

Таблиця 1.2 - Фізико-технічні показники виробів з ніздрюватих бетонів

Марка за середньою густиною	Теплопровідність у сухому стані, Вт/(м·°С), не більше	Коефіцієнт паропроникності, мг/(м·год·Па), не менше	Сорбційна вологість, %, не більше, при відносній вологості повітря, %	
			75	97
D200	0,055	0,28	6	10
D250	0,065			
D300	0,080	0,26	8	12
D350	0,090	0,24	8	12
D400	0,100	0,23	8	12
D500	0,120	0,20	8	12
D600	0,140	0,17	8	12
D700	0,180	0,15	8	12
D800	0,210	0,14	10	15
D900	0,240	0,12	10	15
D1000	0,290	0,11	10	15
D1100	0,340	0,10	10	15

Ці характеристики показують, що при збільшенні щільності, коефіцієнт теплопровідності зменшується.

З ніздрюватого бетону також виготовляють таку продукцію:

- плити перекриття;
- стінові та перегородкові блоки;
- стінові панелі;
- теплоізоляційні вироби;
- звукопоглинальні вироби;
- міжкімнатні перегородки;
- перемички лоткові та брускові.

### 1.3 Вимоги до матеріалів, що застосовуються для приготування ніздрюватих бетонів

Певних параметрів щодо процентного співвідношення матеріалів для виробництва ніздрюватого бетону немає, оскільки вони залежать від щільності, подальшої експлуатації та розміру продукції. Приблизний склад для ніздрюватого бетону зображено на рис. 1.2.

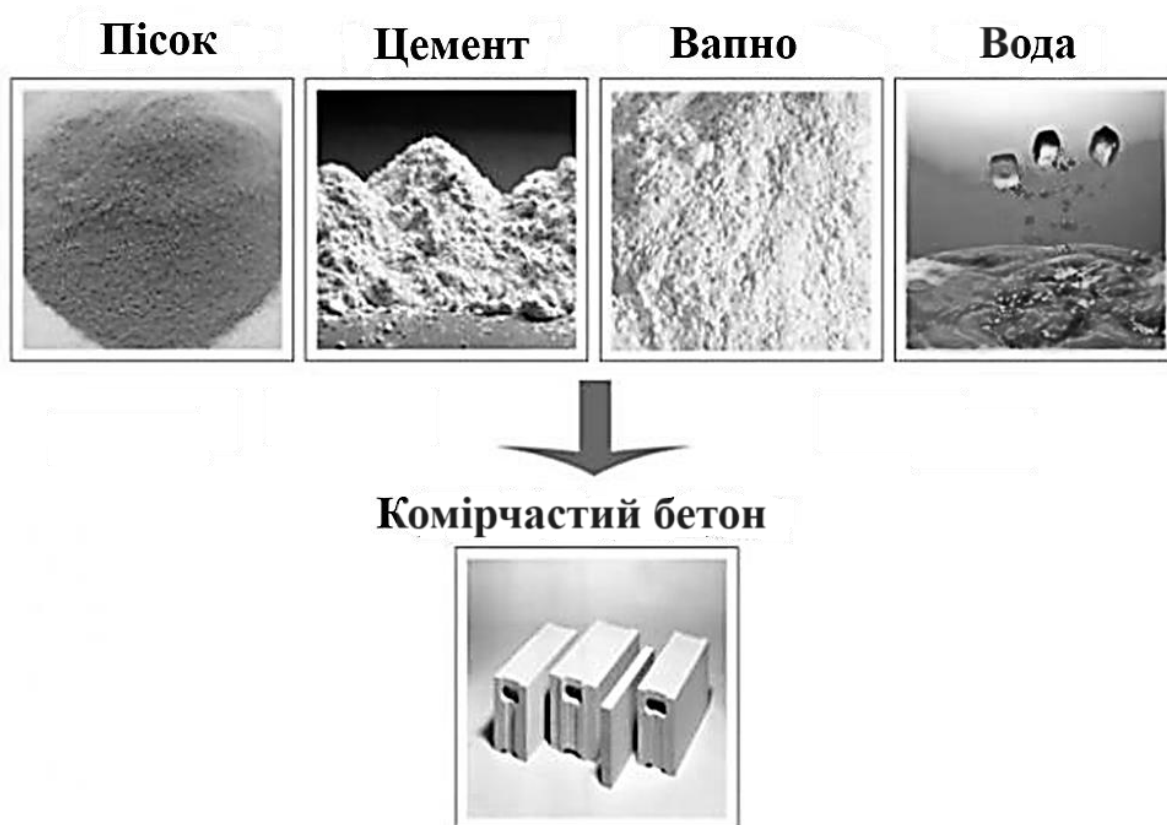


Рисунок 1.2 - Склад для виробництва ніздрюватого бетону

Як в'яжучі матеріали для приготування ніздрюватих бетонів застосовують [9]:

- портландцемент за без добавок трепелу, глієжу, трасів, глиніту, опоки, попелу, що містить трикальцієвий алюмінат не більше 8% за масою.
- високоосновну золу, що містить CaO щонайменше 40%, зокрема вільний CaO - щонайменше 16%, SO - щонайбільше 6% і R O – щонайбільше 3,5%;
- вапно негашене кальцієве, що швидко і середньо гаситься, має швидкість

гасіння 5-25 хв і містить активні  $\text{CaO}+\text{MgO}$  не менше 70%, "перепалу" - не більше 2%.

Як кремнеземистий компонент застосовують:

- природні матеріали - кварцовий пісок, що містить  $\text{SiO}_2$  щонайменше 85%, мулистих і глинистих домішок не більше ніж 3%, монтморилонітових глинистих домішок - не більше ніж 1,5%;

- вторинні продукти промисловості та енергетики: золи-винос теплоелектростанцій, продукти збагачення різних руд, продукти власного виробництва ("горбушки", обрізки).

Для отримання порової структури ніздрюватого бетону застосовують газо- і піноутворювачі, які забезпечують задану середню густину і необхідні фізико-механічні показники ніздрюватого бетону.

Як газоутворювач застосовується алюмінієва пудра або паста на основі алюмінієвої пудри. Як піноутворювачі застосовують синтетичні та білкові піноутворювачі.

Для регулювання і поліпшення властивостей ніздрюватих бетонів застосовують:

- добавки;
- доменні гранульовані шлаки;
- гіпсовий камінь.

Види добавок і вимоги до них, що забезпечують якість ніздрюватих бетонів відповідно до цього стандарту, мають бути наведені в технологічній документації на приготування ніздрюватих бетонів конкретних видів.

#### **1.4 Переваги та недоліки ніздрюватого бетону. Методи захисту**

З перерахованих вище параметрів - найпоширенішими в будівництві є конструкційно-теплоізоляційні ніздрюваті бетони, які володіють такими перевагами [18]:

- низька теплопровідність;



- хороша звукоізоляція;
- вогнестійкість;
- легка вага порівняно з іншими матеріалами для малоповерхового будівництва, наприклад важкими бетонами або цеглою;
- швидка технологія зведення [19].

З недоліків ніздрюватих бетонів можна виділити таке:

- крихкість;
- низька несуча здатність;
- добре вбирає вологу, що призводить до руйнування конструкції та погіршення температурно-вологісного стану приміщень [20, 21].

Основна функція зовнішнього оздоблення - це збільшити довговічність і поліпшити умови експлуатації конструкції.

Висохла кладка з ніздрюватого бетону може вдруге зволожуватися через бризки в зоні вимощення, косі дощі, талий сніг і дощ на козирках. Запобігти зволоженню від погодних умов можливо за допомогою оздоблення фасаду.

Різні види оздоблення для ніздрюватого бетону: будь-які навісні облицювання з повітряним зазором - декоративні панелі, сайдинг, вагонка, штучний камінь, плитка тощо, облицювання декоративною цеглою з повітряним зазором, штукатурка на цементно-піщаному розчині, просте фарбування кладки. Використовуючи штукатурку і облицювання можна додатково підвищити довговічність і поліпшити вологісний стан поверхневих шарів кладки, знизити її повітропроникність.

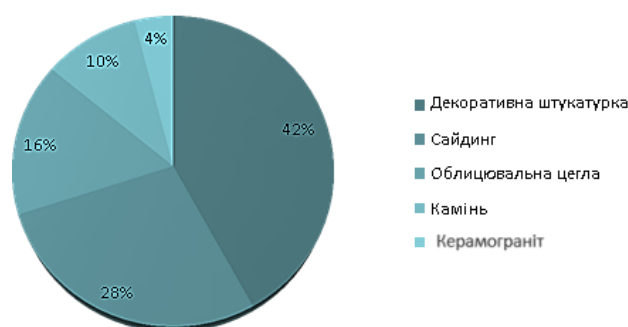


Рисунок 1.3 - Статистика використання фасадних матеріалів

Серед будівельних матеріалів для облицювання фасадів, є великий асортимент оздоблення. Згідно зі статистикою [24], декоративна штукатурка користується великим попитом. Слідом за рейтингом йде сайдинг. На третьому, четвертому і п'ятому місці розташувалися - облицювальна цегла, камінь і керамограніт (рис. 1.3).

Нормативні вимоги до характеристик оздоблення

Чіткі вимоги сформульовані тільки для покриттів, що наносяться на ніздрюватий бетон "мокрим способом" і адгезійно пов'язані з ним.

Докладний розбір різних видів оздоблення наведено нижче. Тут наведено тільки загальні обмеження.

Отже, вимоги до адгезійно пов'язаного з ніздрюватим бетоном зовнішнього оздоблення, формалізовані у вигляді фізико-технічних характеристик оздоблювальних шарів.

Усі формалізовані вимоги можна розділити на три групи:

- опір паропроникненню не більший за допустимий;
- захист від атмосферної крапельної вологи не менший за необхідний;
- довговічність цих якостей.

З огляду на статистику, наведену вище (рис. 1.3), можна зробити висновок, що штукатурка - найпоширеніший вид оздоблення ніздрюватого бетону.

Отже, у цьому дослідженні розглядатимуться конструкції з ніздрюватого бетону зі штукатурним оздобленням.

Зовнішнє оздоблення фасаду для ніздрюватого бетону повинно мати високу паропроникність і низьку міцність. Цими властивостями володіє більшість спеціально призначених для пористого бетону штукатурок. Тому необхідно використовувати спеціально призначені для ніздрюватого бетону сухі штукатурні суміші заводської готовності. Добре показують себе також звичайні поризовані розчини зі щільністю до  $1300-1500 \text{ кг/м}^3$ , і вапняно-піщана суміш з додаванням невеликої кількості (3-5% за масою) цементу.

## 1.5 Висновок до першого розділу

Незважаючи на те, що ніздрюватий бетон, як новий матеріал, з'явився відносно недавно, але передумови його зародження розпочалося дуже давно, основною цінністю ніздрюватого бетону як будівельного матеріалу, як і раніше, були і залишаються його теплоізоляційні якості. Склад ніздрюватого бетону не змінився від початку його зародження, проте нові методи виготовлення ніздрюватого бетону, співвідношення матеріалів у складі та можливе застосування - так само з'являються через нові дослідження й актуальні для можливого застосування.

Попит на застосування ніздрюватого бетону зростає з кожним роком. Його затребуваність полягає в низькій теплопровідності, хорошій звукоізоляції, вогнестійкості, довговічності.

Оскільки головним недоліком пористого бетону є пористість і вологонакопичення, як наслідок, знижені експлуатаційні характеристики конструкції, то вивчення питання вологонакопичення і тепло-масопереносу в конструкції з пористого бетону - є актуальним завданням.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ

#### **2.1 Постановка задачі. Основні поняття теплопередачі та тепло-масообмінних процесів**

Теплопередача (теплообмін) - це мимовільний процес поширення тепла в просторі, або ж обмін внутрішньою енергією між різними областями середовища, що розглядається. У твердих тілах єдиним способом передачі теплоти є теплопровідність. Існують способи передавання теплоти такі як - конвекція (у рідких тілах і газах) і випромінювання (радіація та магнітні хвилі). Теплопередача - це теплообмін між двома рідинами через стінку. Теплопередача, це окремий випадок теплообміну. Тепло-масообмін - це наука про процеси поширення тепла у змінному полі температур і поширення маси у змінному полі концентрації. Теплопровідність - це перенесення тепла від більш нагрітих елементів тіла до менш нагрітих.

Задача, що розглядається, являє собою кут стіни різних геометричних розмірів, з одного боку підтримується постійна температура ( $t_{int}$ ) і вологість ( $w_{int}$ ), зі зворотного боку відбуваються зміни температури ( $t_{ext}$ ) і вологості ( $w_{ext}$ ) унаслідок погодних змін. Збір вихідних даних для розрахунку за погодними умовами використовувався ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія».

Розрахунок можна виконати двома методами:

- 1) ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель».
- 2) Методами чисельного моделювання.

#### **2.2 Розрахунок огорожувальних конструкцій за ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель»**

Визначимо значення базових необхідних і нормованих опорів теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій за табл. 3 [9]:

$$R_{0\text{птр}} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (2.1).$$

де  $a, b$  - коефіцієнти, значення яких слід приймати за даними таблиці 4 [9]

$$R_0^{\text{норм}} = R_{0\text{птр}} * m_p \quad (2.2)$$

де  $R_{0\text{птр}}$  - базове значення необхідного опору теплопередачі огорожувальної конструкції,  $\text{м}^2 * \text{°С}/\text{Вт}$ , що визначається за формулою 2.1;

$m_p$  - коефіцієнт, що враховує особливості регіону будівництва.

У розрахунку за формулою (2.2) приймається рівним 0,63 [9].

Звідси  $R_0^{\text{норм}} = R_{0\text{птр}}$ .

ГСОП - градусо-доби опалювального періоду,  $\text{°С-добу}/\text{рік}$ , для конкретного пункту, що визначається за формулою:

$$\text{ГСОП} = (t_b - t_{\text{оп}}) \cdot z_{\text{оп}}, \quad (2.3)$$

де  $t_{\text{оп}}, z_{\text{оп}}$  - середня температура зовнішнього повітря,  $\text{°С}$ , і тривалість, діб/рік, опалювального періоду, які приймають за ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» для житлових і громадських будівель для періоду із середньодобовою температурою зовнішнього повітря не більше  $8 \text{°С}$ ;

$t_b$  - розрахункова температура внутрішнього повітря,  $\text{°С}$ .

Нормовані температурні перепади  $\Delta t^{\text{н}}$  між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій [9]:

Житловій частині: стін -  $4,0 \text{°С}$ , горищного перекриття -  $3,0 \text{°С}$ , підлоги -  $2,5 \text{°С}$ .

Умовний опір теплопередачі однорідної частини фрагмента теплозахисної оболонки будівлі,  $\text{м}^2 \text{°С}/\text{Вт}$ , який визначається за формулою:

$$R_0^{np} = R_0^{yMOB} \cdot r = (1/\alpha_B + \sum R + 1/\alpha_3) \cdot r, \quad (2.4)$$

де  $\alpha_B$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м<sup>2</sup> · °С), що приймається згідно з таблицею 3 [9];

$\alpha_3$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м<sup>2</sup> · °С), що приймається згідно з таблицею 6 [9];

$\sum R_S$  - термічний опір шару однорідної частини фрагмента, (м<sup>2</sup> · °С)/Вт, що визначається за формулою:

$$R_S = \delta_s / \lambda_s \quad (2.5)$$

$\delta_s$  - товщина шару, м;

$\lambda_s$  - розрахункова теплопровідність матеріалу шару, Вт/(м · °С), у разі відсутності даних приймають за додатком Т[9].

Температурний перепад між температурою внутрішнього повітря  $t_B$  і температурою внутрішньої поверхні  $t_0$  огорожувальної конструкції визначається за формулою:

$$\Delta t = (t_B - t_3) / (R_0^{yMOB} \alpha_B), \quad (2.6)$$

де  $\alpha_B$  - те саме, що й у формулі (2.4);

$t_B$  - те саме, що у формулі (2.3);

$t_3$  - розрахункова температура зовнішнього повітря в холодний період року, °С, що приймається рівною середній температурі найхолоднішої п'ятиденки забезпеченістю 0,92 за [9];

$R_0^{yMOB}$  - умовний опір теплопередачі, що визначається за формулою (2.2).

Для визначення парціального тиску насиченої водяної пари застосовується формула:

$$E = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(\frac{-5330}{273+t}\right) \quad (2.7)$$

Далі визначається парціальний тиск водяної пари:

$$e_x = e_B - \frac{(e_B - e_3)}{R_n} \cdot \sum R, \quad (2.8)$$

де  $e_B$  - парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря,

$e_3$  - парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря, Па;

$\sum R$  - сума опору паропроникненню шарів огорожувальної конструкції, (м<sup>2</sup> год Па)/мг;

$R_n$  - опір паропроникненню огорожувальної конструкції, (м<sup>2</sup> год Па)/мг.

Для визначення сумарних тепловтрат конструкції за опалювальний період,  $Q$ , кВт\*год/м<sup>2</sup> з одного квадратного метра, скористаємося формулою:

$$Q = A \cdot (t_B - t_{оп}) \cdot z_{оп.пер} \cdot 24/R_0^{пр} \quad (2.9)$$

де  $A$  - площа огорожувальної конструкції;

24 - кількість годин у добі;

$t_B$  - те саме, що й у формулі 2.6;

$t_{оп}$  - те саме, що й у формулі 2.6;

$z_{оп.пер}$  - те саме, що й у формулі 2.6;

$R_0^{пр}$  - умовний опір теплопередачі однорідної частини фрагмента теплозахисної оболонки будівлі, м<sup>2</sup> °С/Вт, розраховується за формулою (2.2).

Витрати на компенсацію теплових втрат через зовнішні огорожувальні конструкції будівлі визначаємо за формулою:

$$З = Q \cdot T_{оп}, \quad (2.10)$$

де  $Q$  - сумарні тепловтрати конструкції, Гкал з одного

квадратного метра;

$T_{оп}$  - тариф на теплову енергію.

Наведений опір теплопередачі визначимо за формулою:

$$R_{0пр} = R_0^{умов} - r \quad (2.11)$$

$r$ -коефіцієнт теплотехнічної однорідності огорожувальної конструкції, що враховує вплив стиків, укосів прорізів, обрамляючих ребер, гнучких зв'язків та інших теплопровідних включень  $r=0.92$

Розрахунок паропроникності розраховується таким чином:

Для визначення площини можливої конденсації визначимо для кожного шару значення комплексу  $f_i(t_{м.у.})$ :

$$f_i(t_{м.у.}) = 5330 - R_{з.п.} \cdot (t - t_{вн.від.}) - \mu / R^{умов} / (e - e_{вн.від.}) / \lambda_i \quad (2.12)$$

де  $R_{з.п.}$  - загальний опір паропроникності огорожувальної конструкції  $m^2 \cdot год \cdot Па / мг$ ;

$R^{умов}$  - те саме що й у формулі (2.4);

$T_{з.від.}$  - середня температура зовнішнього повітря для періоду з від'ємними середньомісячними температурами,  $^{\circ}C$  та дорівнює  $11.4^{\circ}C$ .

$t_{в}$  - те саме, що й у формулі (2.3);

$e_{в}$  - парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па

$$e_{в} = (\varphi_{в} / 100) E, \quad (2.13)$$

$E$  - визначається формулою (2.7);

$e_{з.від.}$  - середній парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря періоду місяців з від'ємними середньомісячними температурами, Па, який визначають так само, як і за формулою 7, за  $t = -11.4^{\circ}C$ .

$\lambda_i$  і  $\mu_i$  - розрахункові коефіцієнти теплопровідності,  $Вт / (m^2 \cdot ^{\circ}C)$  і



паропроникності мг/(м-год-Па)

Опір паропроникненню  $R_n$ , м<sup>2</sup>-год-Па/мг, має бути не меншим за нормовані опори паропроникненню, наведених відповідно нижче:

$$R_{n1}^{птр} = (e_v - E) * R_{п.н} / (E - e)_{,н} \quad (2.14)$$

де,  $E$  - парціальний тиск водяної пари, Па, у площині можливої конденсації за річний період експлуатації, який визначають за формулою  $E = (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3) / 12$ , де  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  - парціальні тиски водяної пари, які приймають за температурою  $t z + E z + E z) / 12$ , Па, що приймаються за температурою  $t_i$ , у площині можливої конденсації, яку визначають за середньої температури зовнішнього повітря відповідно зимового, весняно-осіннього та літнього періодів;  $z$ ,  $z_{12}$ ,  $z_3$ , - тривалість, міс, відповідно зимового, весняно-осіннього та літнього періодів, що визначається з урахуванням таких умов:

а) до зимового періоду належать місяці із середніми температурами зовнішнього повітря нижче мінус 5 °С;

б) до весняно-осіннього періоду належать місяці із середніми температурами зовнішнього повітря від мінус 5 до плюс 5 °С;

в) до літнього періоду належать місяці із середніми температурами зовнішнього повітря вище плюс 5 °С.

$$R^{птр} = 0,0024z (e - E) / (p \delta \Delta w + \eta), \quad (2.15)$$

Чисельний метод.

У даній роботі стоїть основне завдання - визначення і прогнозування вологонакопичення огорожувальних конструкцій, і вирішення цього завдання зводиться до системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu \left\{ \frac{\partial^2 \varphi E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi E}{\partial z^2} \right\} = G \\ E = 1,84 \cdot 10^{-11} \exp\left(\frac{-5330}{T}\right) \\ \lambda \left( \frac{\partial^2 \tau}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \tau}{\partial z^2} \right) + L_v \delta_v \cdot \left( \frac{\partial^2 \varphi E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi E}{\partial z^2} \right) = Q \end{array} \right.$$

де  $\mu$  - коефіцієнт паропроникності, кг/(с м Па);

$\varphi$  - відносна вологість, %;

$x, y, z$  - координати температурного поля;

$E$  - те саме, що й у формулі 7;

$T$  - температура, К;

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м° С).

Для розв'язання цієї задачі разом із даною системою рівнянь, задано умови однозначності, описані далі.

### 2.3 Умови однозначності для процесів теплопровідності

Умови однозначності, для рівняння теплопровідності, включають у себе:

- геометричні умови (розміри тіла);
- фізичні умови (властивості тіла: теплопровідність, теплоємність, щільність);
- початкова умова (температура тіла);
- граничні умови (температура і вологість довкілля (всередині і зовні приміщення)).

Температурні поля можуть бути - стаціонарними і нестаціонарними. Якщо температура тіла залежить від координат, але не залежить від часу, цей розрахунок називається - стаціонарним. Якщо температура тіла залежить від часу, то цей розрахунок називається - нестаціонарним.

При стаціонарному розрахунку, рішення являє собою сукупність температури в даний період часу:

$$T = f(x, y, z) \quad (2.16)$$

де  $x, y, z$  - координати поверхні тіла;

При нестационарному розрахунку, використовується формула для розподілу температури в кожен момент часу:

$$T_c = f(x, y, z, \tau) \quad (2.17)$$

де  $T_c$  - температура на поверхні тіла (стіни);

$\tau$  - час.

Для визначення щільності теплового потоку на всій поверхні тіла використовується формула:

$$-\lambda \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right) = f(x, y, z, \tau) \quad (2.18)$$

$\left( \frac{\partial t}{\partial n} \right)$  - похідна температури за напрямком нормалі до ізотермічної поверхні.

#### 2.4 Висновки до другого розділу

Метод розрахунку згідно діючих норм не дає змоги дати точну оцінку і розрахунок вологонакопичення через постійну зміну сорбційної вологості матеріалу в реальних кліматичних умовах і умовах експлуатації. Внаслідок того, що не враховує тимчасовий характер дифузії води в матеріалах конструкції.

Цього можна досягти розрахунком вологонакопичення конструкції в програмному комплексі методом чисельного моделювання.

Цей розрахунок дасть змогу дати точнішу оцінку тепло- масопереносу в конструкціях пошарово, а також відобразить градієнти температур і зміни вологи в матеріалах.

## РОЗДІЛ 3

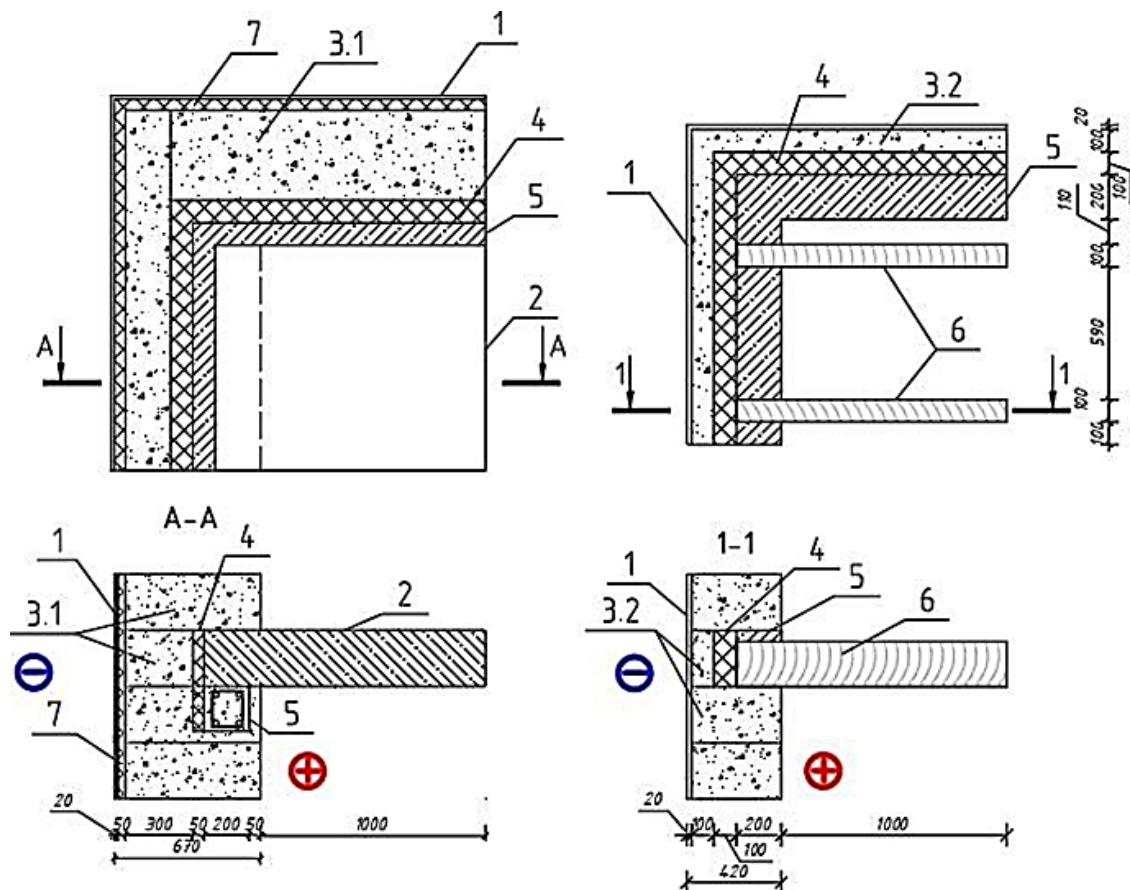
### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Об'єкти дослідження

Розрахунок виконано для двох варіантів конструктивного виконання:

- типовий вузол кута (рис. 3.1) з монолітним поясом і міжповерховим перекриттям, що застосовується в будівництві індивідуальних житлових будинків - (варіант 1);

- вузол кута (рис. 3.1) з монолітним поясом наявного індивідуального житлового будинку, що знаходиться в м. Тернопіль - (варіант 2).



1 - штукатурний шар; 2 -плита перекриття; 3.1 - газобетон D600; 3.2 - газобетон D400; 4 - екструдований пінополістирол; 5 - об'язувальний пояс; 6 - дерев'яні балки; 7 - мінераловатна плита.

Рисунок 3.1 – Вузол кута (зліва - варіант 1, справа - варіант 2)

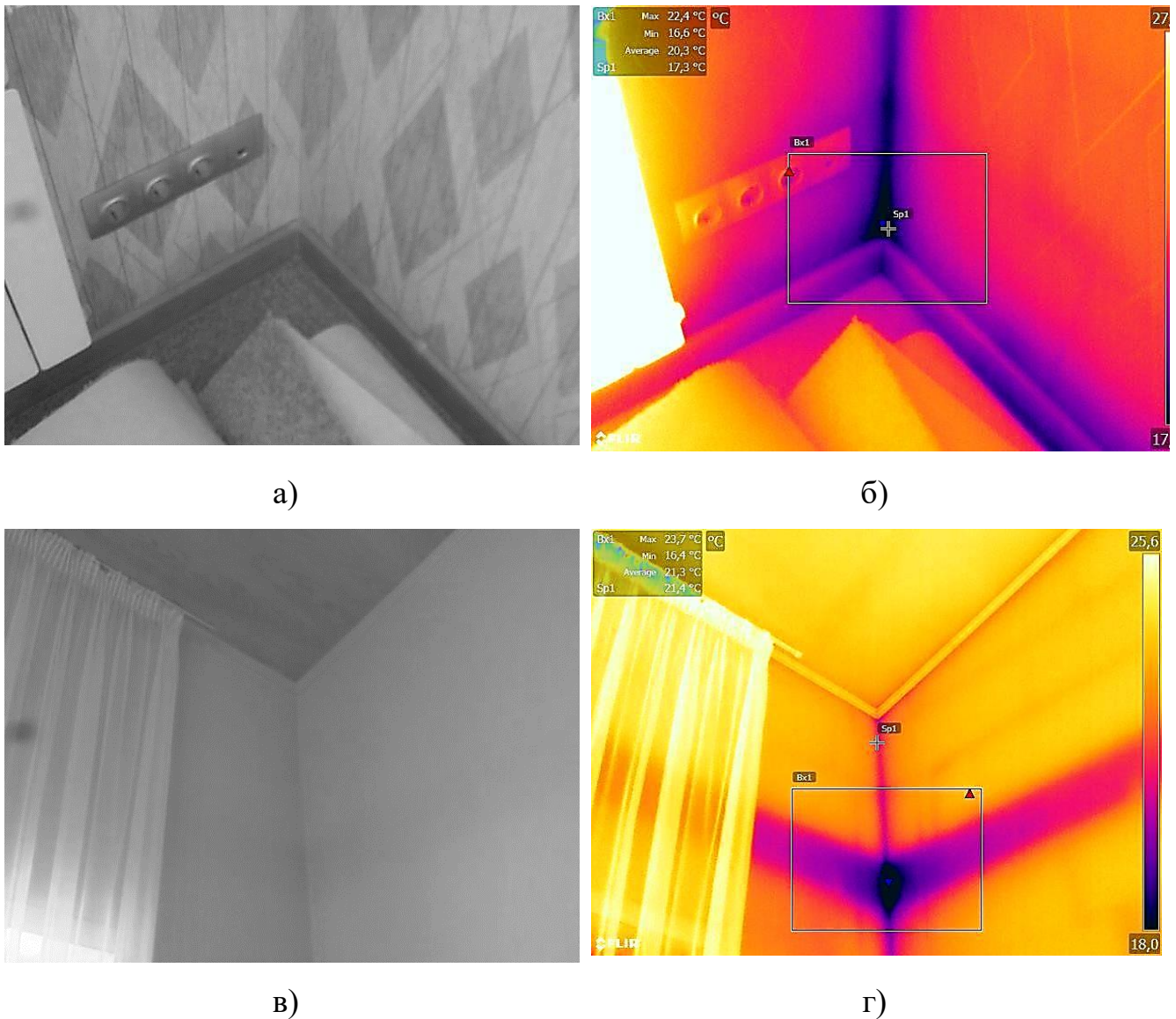


Рисунок 3.2 - Тепловізійне обстеження конструкції "варіант 2"

Для вимірювання та реєстрації температур на внутрішній поверхні кута використовувався прилад ThermoCAM SC640. Тепловізійне обстеження проводилося 22 січня 2023 року. На підставі результатів тепловізійного обстеження (рис. 3.2) виявлено, що локальне зниження температури відбувається в кутку з монолітним поясом. На підставі цього аналізу було ухвалено рішення - дослідити вологонакопичення кута стіни з ніздрюватого бетону.

Виміряні параметри при тепловізорному дослідженні:

- температура приміщення - плюс 23,7° С;
- температура зовнішнього повітря - мінус 12,7° С;
- мінімальна температура в кутку - плюс 16,4° С.

### 3.2 Вихідні дані

Чисельне моделювання проводилося в програмному комплексі COMSOL.

Для розрахунку прийнято м. Тернопіль. Залежність теплопровідності від сорбційної вологості матеріалів огорожувальної конструкції приймається як -  $\lambda$  ( $\varphi$ ).

Таблиця 3.1 - Кліматичні параметри в м. Тернопіль

Місяць	Температура зовнішнього повітря $t_{ext}$ , °C [30].	Температура зовнішнього повітря $t_{ext}$ , K [30]	Відносна вологість зовнішнього повітря $\varphi_{ext}$ , % [30]	Парціальний тиск, Па [29]
Січень	-16,3	256,85	89	160
Лютий	-13,9	259,25	83	180
Березень	-5,9	267,25	72	290
Квітень	2,4	275,55	60	440
Травень	9,7	282,85	56	680
Червень	16,4	289,55	64	1200
Липень	18,7	291,85	71	1540
Серпень	15,6	288,75	77	1360
Вересень	9	282,15	77	880
Жовтень	1,7	274,85	75	520
Листопад	-7,4	265,75	84	300
Грудень	-13,6	259,55	86	190

Таблиця 3.2 - Параметри мікроклімату в приміщенні

Параметри	Значення параметрів
1. Розрахункова температура внутрішнього повітря, $t_v$ , °C: - житлова кімната	+21
2. відносна вологість повітря $\varphi_{int}$ , %: -для житлової кімнати	55%
3. температура точки роси $t_p$ , °C: -для житлової кімнати	11,62

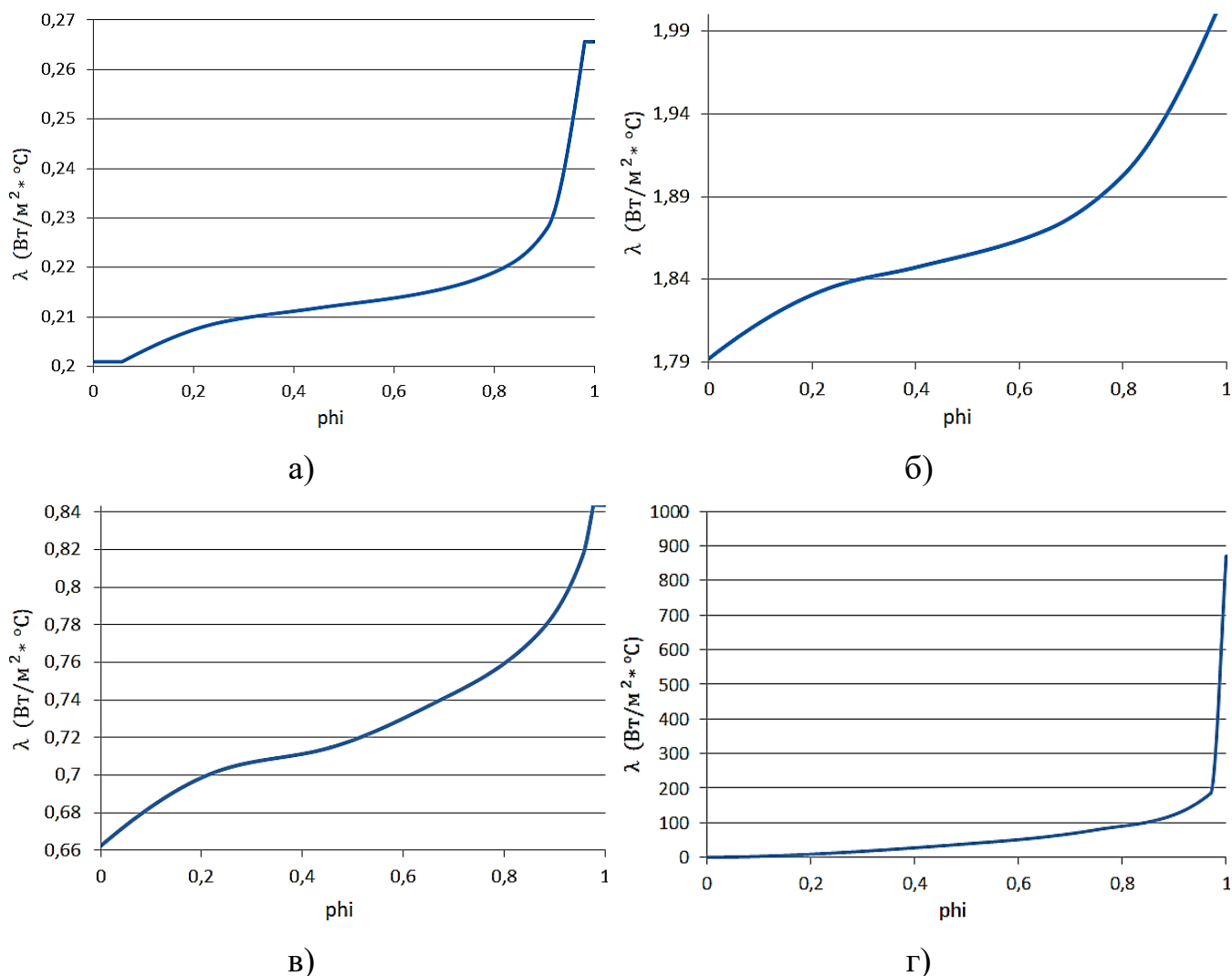
## Продовження таблиці 3.2

4. Тривалість опалювального періоду, $z_{от}$ , днів (із середньодобовою температурою, $z$ , днів (із середньодобовою температурою зовнішнього повітря не більше $8^{\circ}C$ )	235
5. Середня температура зовнішнього повітря в протягом опалювального періоду, $t_{оп}$ , $^{\circ}C$	-6,5
6. Вологісний режим експлуатації приміщень: -для житлової кімнати	нормальний
7. Зона вологості	суха

Таблиця 3.3 - Теплотехнічні характеристики стінової конструкції

Матеріал	Теплопровідність, $Вт/(м^2 \cdot ^{\circ}C)\lambda$ ,	Товщина шару, м.
1 Штукатурний шар (розчин цементно - цементний) - 1. піщаний), $\gamma=1500 \text{ кг/м}^3$	$\lambda (\varphi)$	0,02
2. Ніздрюватий бетон, $\gamma=600 \text{ кг/м}^3$	$\lambda (\varphi)$	0,6
3. Залізобетон, $\gamma=2500 \text{ кг/м}^3$	$\lambda (\varphi)$	0,1-0,2
4. Дерево (сосна), $\gamma=500 \text{ кг/м}^3$	$\lambda (\varphi)$	0,1
5. Ніздрюватий бетон, $\gamma=600 \text{ кг/м}^3$	$\lambda (\varphi)$	0,4
2. Утеплювач - мінераловатна плита, $\gamma=75 \text{ кг/м}^3$	0,042	0,05
5. Утеплювач - екструдований пінополістирол, $\gamma=40 \text{ кг/м}^3$	0,034	0,05-0,1

Залежності теплопровідності від сорбційної вологості для розчину на цементному в'язучому, ніздрюватого бетону і важкого бетону - прийняті за графіками рис. 3.3.



а) ніздрюватого бетону; б) важкого бетону; в) розчину на цементному в'язучому;  
г) дерева

Рисунок 3.3 - Залежність теплопровідності від сорбційної вологості

Під час складання графіків враховували значення теплопровідності залежно від умов експлуатації А - 80% і Б - 97%.

Вологопоглинання в шарах мінераловатної плити та екструдованого пінополістиролу не враховували, оскільки розрахункова характеристика теплопровідності цих матеріалів за умов експлуатації конструкції А і Б не значна:

- для мінераловатної плити: А=0,042 Вт/м<sup>°С</sup>, Б=0,047 Вт/м<sup>°С</sup>;
- для екструдованого пінополістиролу: А=0,034 Вт/м<sup>°С</sup>, Б=0,035Вт/м<sup>°С</sup>;

Сорбційна вологість матеріалів узятя з [37] і представлена в таблиці 3.4.



Таблиця 3.4 - Сорбційна вологість матеріалів

№	Матеріал	Відносна вологість повітря	Масова вологість, %	Об'ємна вологість, кг/м <sup>3</sup>
1	Ніздрюватий бетон	0,05	1	5,04
		0,25	2,6	13,104
		0,44	3,2	16,128
		0,65	3,8	19,152
		0,80	4,7	23,688
		0,90	6,5	32,76
		0,98	14,1	71,064
2	Важкий бетон	0,25	0,91	20,93
		0,40	1,12	25,76
		0,65	1,58	36,34
		0,80	2,24	51,52
		0,98	4,26	97,98
3	Розчин на цементному в'язучому	0,25	1,26	25,2
		0,44	1,56	31,2
		0,65	2,26	45,2
		0,85	3,3	66
		0,95	4,67	93,4
		0,97	5,48	109,6

### 3.3 Результати дослідження

#### 3.3.1 Градієнти температур

Чисельним розрахунком було виявлено мінімальну температуру в кутку конструкцій за найхолодніший місяць (січень). Дані наведено на рис.3.4.

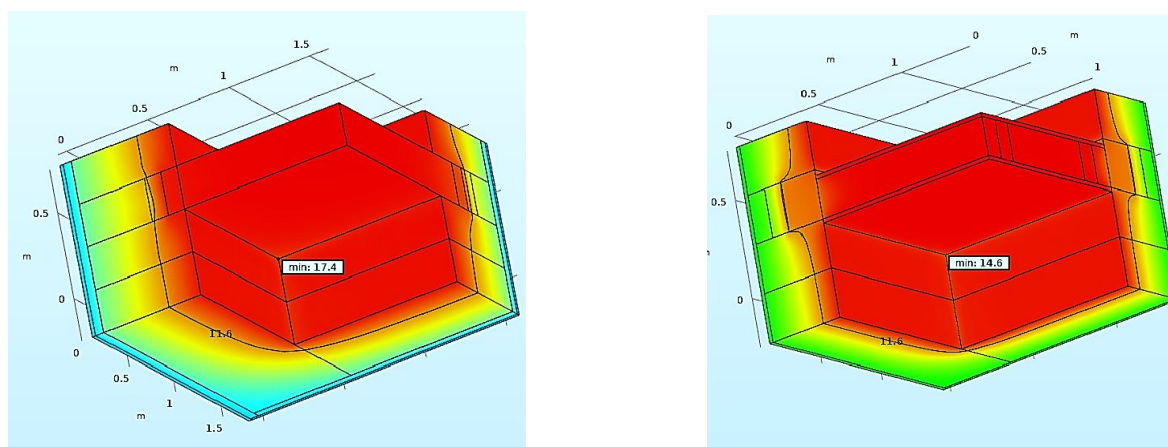


Рисунок 3.4 - Мінімальна температура в кутку для січня: зліва -конструкція 1 (600мм); праворуч -конструкція 2 (400мм)

Нормований температурний перепад згідно з нормами між температурою зовнішнього повітря і температурою в приміщенні для житлових будинків становить - 4° С.

Представлені на рисунку 12 результати розрахунків показують, що:

- у конструкції варіант 1 (600мм) мінімальна температура в кутку становить - 17,4° С, що задовольняє відповідним вимогам.

- для конструкції варіант 2 (400мм) ця умова не виконується, оскільки мінімальна температура цієї конструкції становить - 14,6° С.

### 3.3.2 Результати нестационарного розрахунку за 12 місяців

У результаті чисельного моделювання тепло-масопереносу [36] в досліджуваних вузлах з ніздрюватого бетону, отримано значення розподілу вологи в шарах конструкції за місяцями протягом одного року. Усереднений вміст вологи за шарами в конструкціях представлено в таблицях 3.5 і 3.6.

Таблиця 3.5 - Вміст вологи в шарах огорожувальної конструкції варіанта 1

Місяць	Ніздрюватий бетон, кг/м <sup>3</sup>	Важкий бетон, кг/м <sup>3</sup>	Розчин на цементному в'язучому кг/м <sup>3</sup>	Уся конструкція, кг/м <sup>3</sup>	Температуру в кутку, °С
1	2	3	4	5	6
Січень	16,8	30,57	72,53	18,9	17,4
Лютий	16,75	30,5	62,49	18,55	17,6
Березень	16,75	30,52	50,76	18,26	18,4
Квітень	16,5	30,49	41,04	17,94	19,2
Травень	16,86	30,64	38,02	18,02	19,9
Червень	17,88	31,39	44,22	18,92	20,6
Липень	18,87	32,18	49,89	19,79	20,8
Серпень	19,2	32,41	55,36	20,16	20,5
Вересень	18,28	31,64	55,38	19,49	19,8
Жовтень	17,46	31,01	53,43	18,84	19,1
Листопад	16,8	30,55	53,44	18,36	18,2
Грудень	16,91	30,6	66,96	18,78	17,6

Таблиця 3.6 - Вміст води в шарах огорожувальної конструкції варіанта 2

Місяць	Ніздрюватий бетон, кг/м <sup>3</sup>	Важкий бетон, кг/м <sup>3</sup>	Розчин на цементному в'язучому кг/м <sup>3</sup>	Дерево, кг/м <sup>3</sup>	Уся конструкція, кг/м <sup>3</sup>	Температура в кутку, ° С
1	2	3	4	5	6	7
Січень	25,1	41,9	72,3	46,1	25,7	14,1
Лютий	22	37,7	62,4	44,9	22,8	14,6
Березень	19,4	34,2	50,7	44,1	20,3	16,1
Квітень	17,9	32,3	41,1	43,9	18,8	17,6
Травень	17,6	31,7	38	44,2	18,4	19
Червень	18,3	32,1	44,2	45,1	19,3	20,2
Липень	19,2	33	49,9	45,9	20,2	20,6
Серпень	20,3	34,5	55,3	46,4	21,3	20
Вересень	20,3	34,7	55,3	45,8	21,3	18,8
Жовтень	19,9	34,5	53,4	45	20,9	17,5
Листопад	22,4	37,9	63,8	45,6	23,2	15,8
Грудень	23,3	39,3	66,82	45,5	24	14,60

Нормований температурний перепад за [29] між температурою внутрішнього повітря і температурою на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції для житлових будинків - 4° С. Для конструкції "варіант 2" ця умова виконується.

На рис.3.5 можна побачити, як може змінюватись вологонакопичення (кг/м<sup>3</sup>) протягом одного року в конструкції з ніздрюватого бетону залежно від конструктивного виконання та пори року.

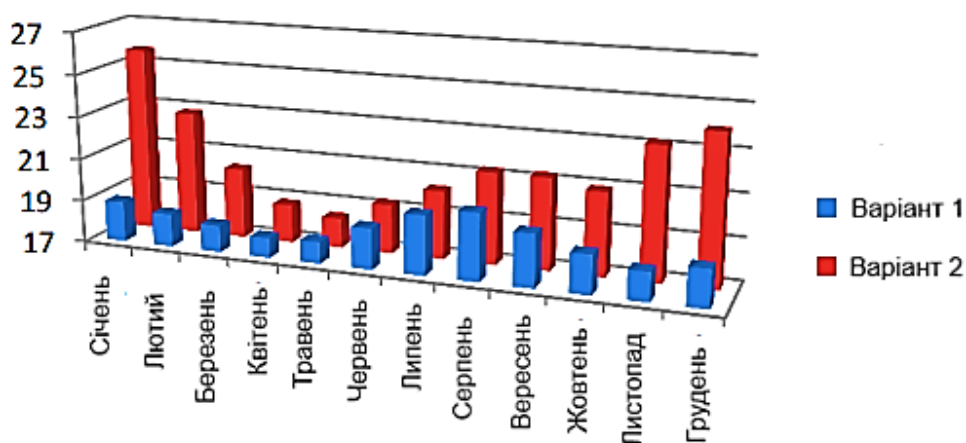


Рисунок 3.5 - Порівняння конструкцій за вологісним станом

За цією діаграмою можна побачити, що в конструкції 1 (600мм) відбуваються плавні зміни вологості, в той час як у конструкції 2 (400мм) спостерігаються різкі стрибки вологості.

Було отримано значення зміни вмісту води в конструкціях пошарово для кожного матеріалу протягом 12 місяців (рис. 3.6-3.9).

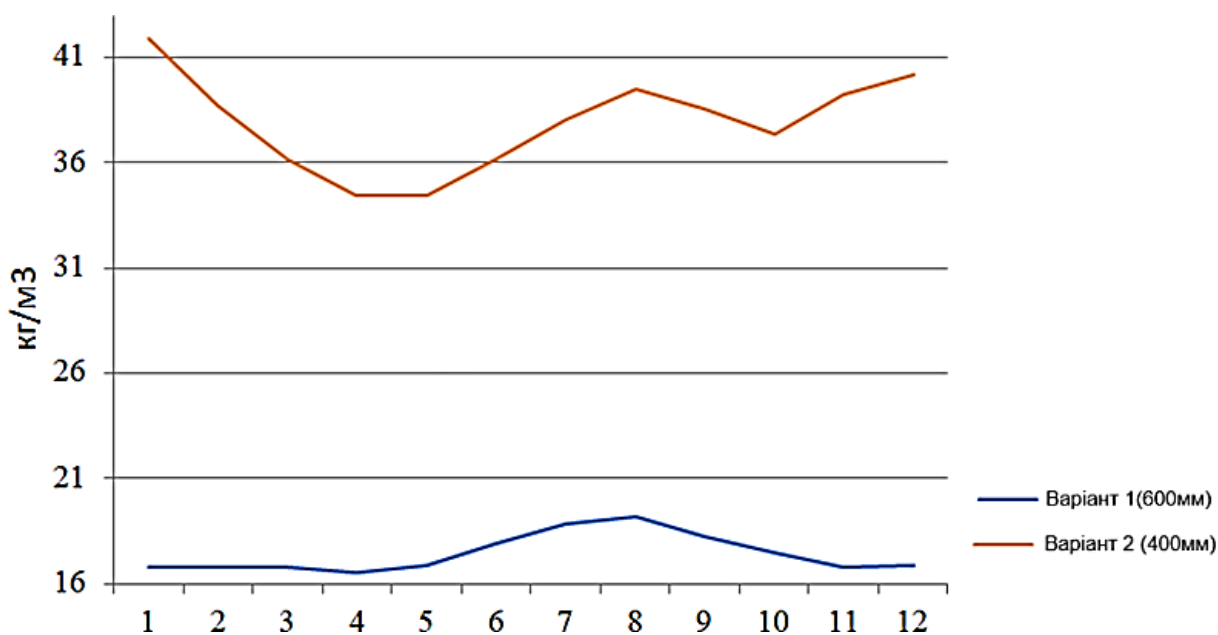


Рисунок 3.6 - Зміна вмісту води в ніздрюватому бетоні (кг/м<sup>3</sup>)

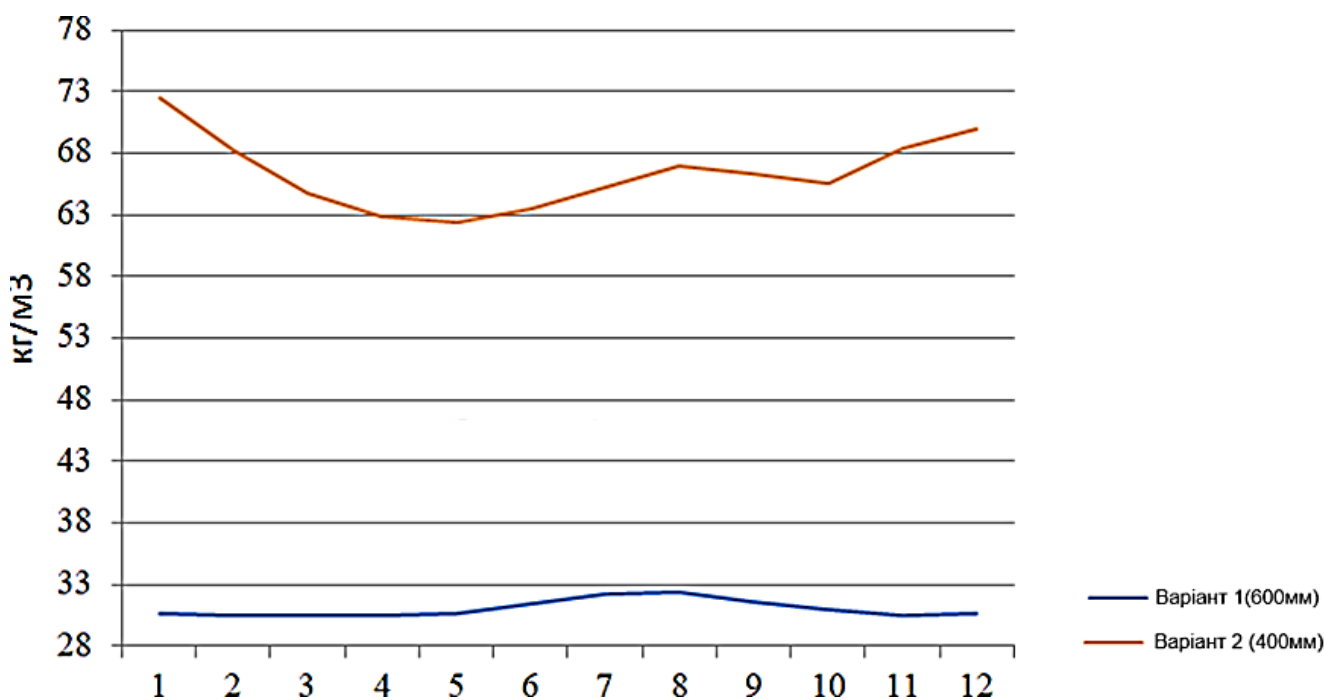


Рисунок 3.7 - Зміна вмісту води у важкому бетоні (кг/м<sup>3</sup>)

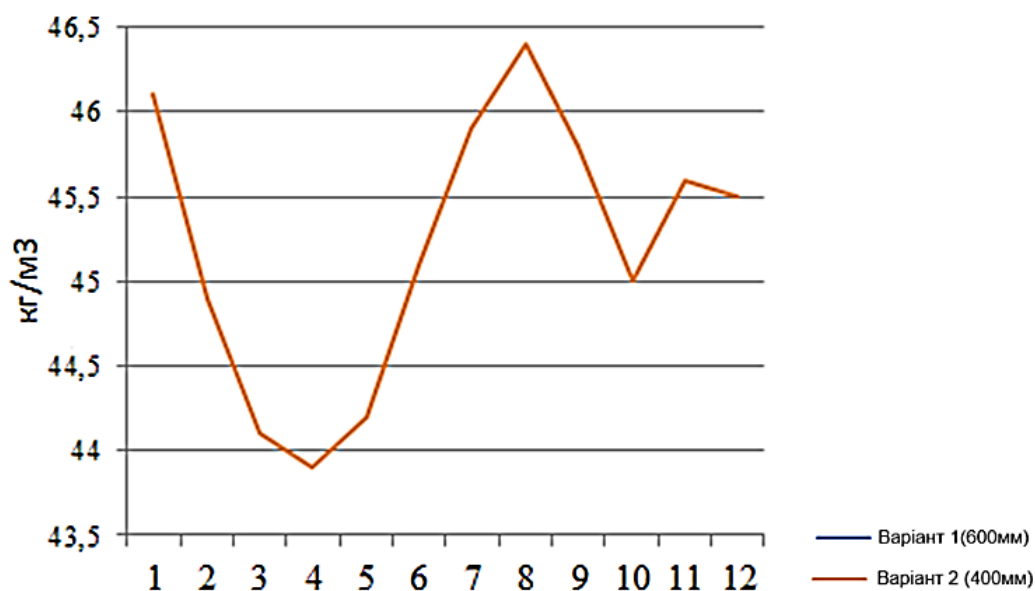


Рисунок 3.8 - Зміна вмісту вологи в дереві (кг/м<sup>3</sup>)

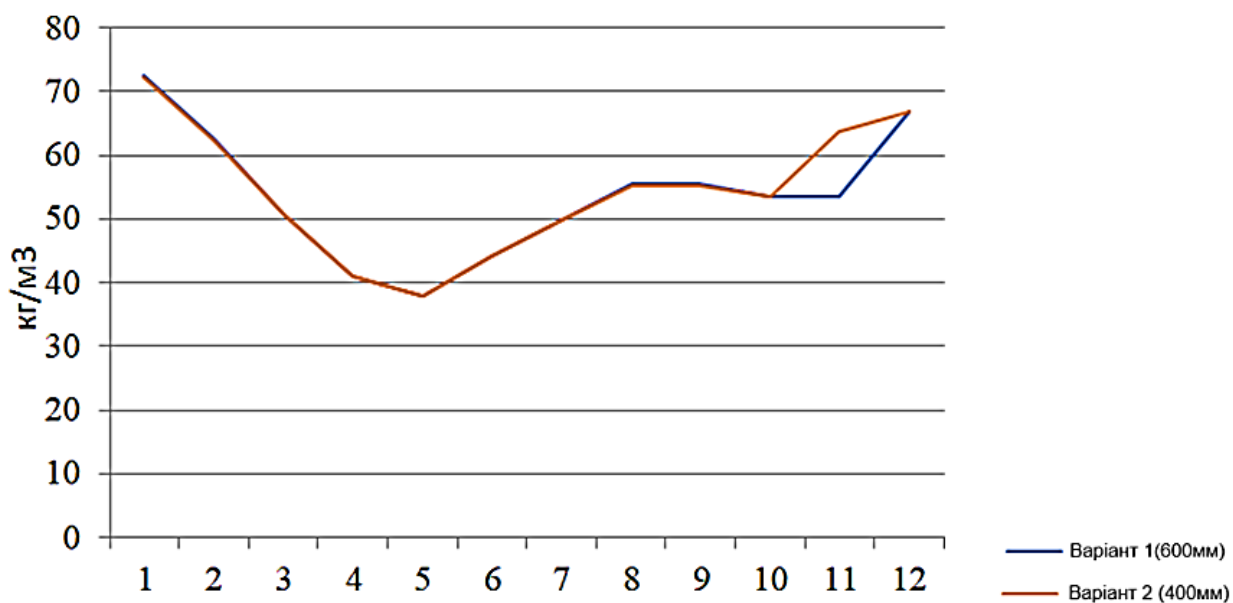


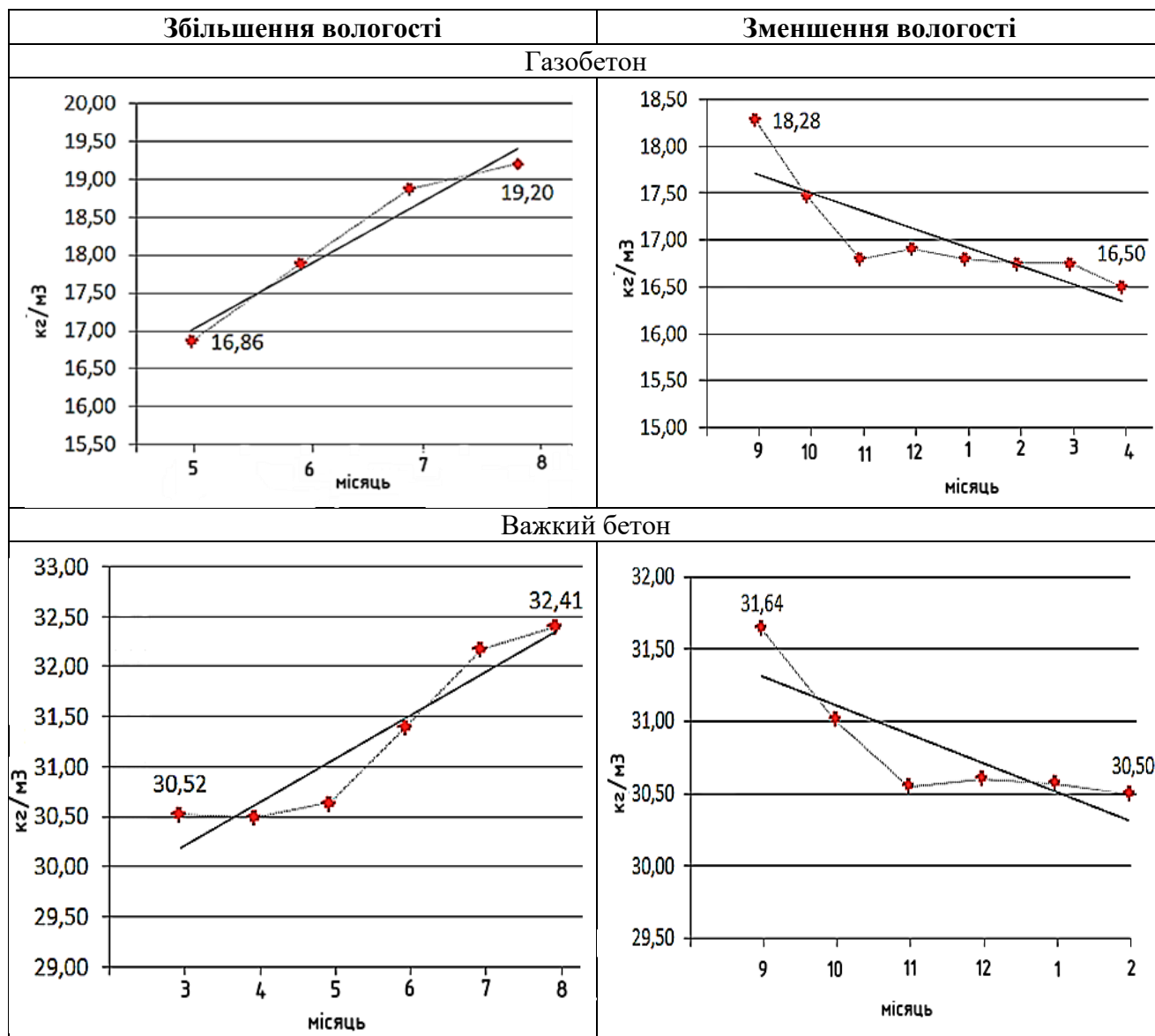
Рисунок 3.9 - Зміна вмісту вологи в цементно-піщаному розчині (кг/м<sup>3</sup>)

Найбільше збільшення кількості вологи по всій конструкції має конструкція варіант 2 (400мм) у січні і становить 25,7 кг/м<sup>3</sup>, при цьому конструкція варіант 1 (600мм) має вологонакопичення у січні 19,12 кг/м<sup>3</sup>. Конструкція варіант 1 накопичує вологу в середньому на 26.1% менше, ніж конструкція варіант 2.

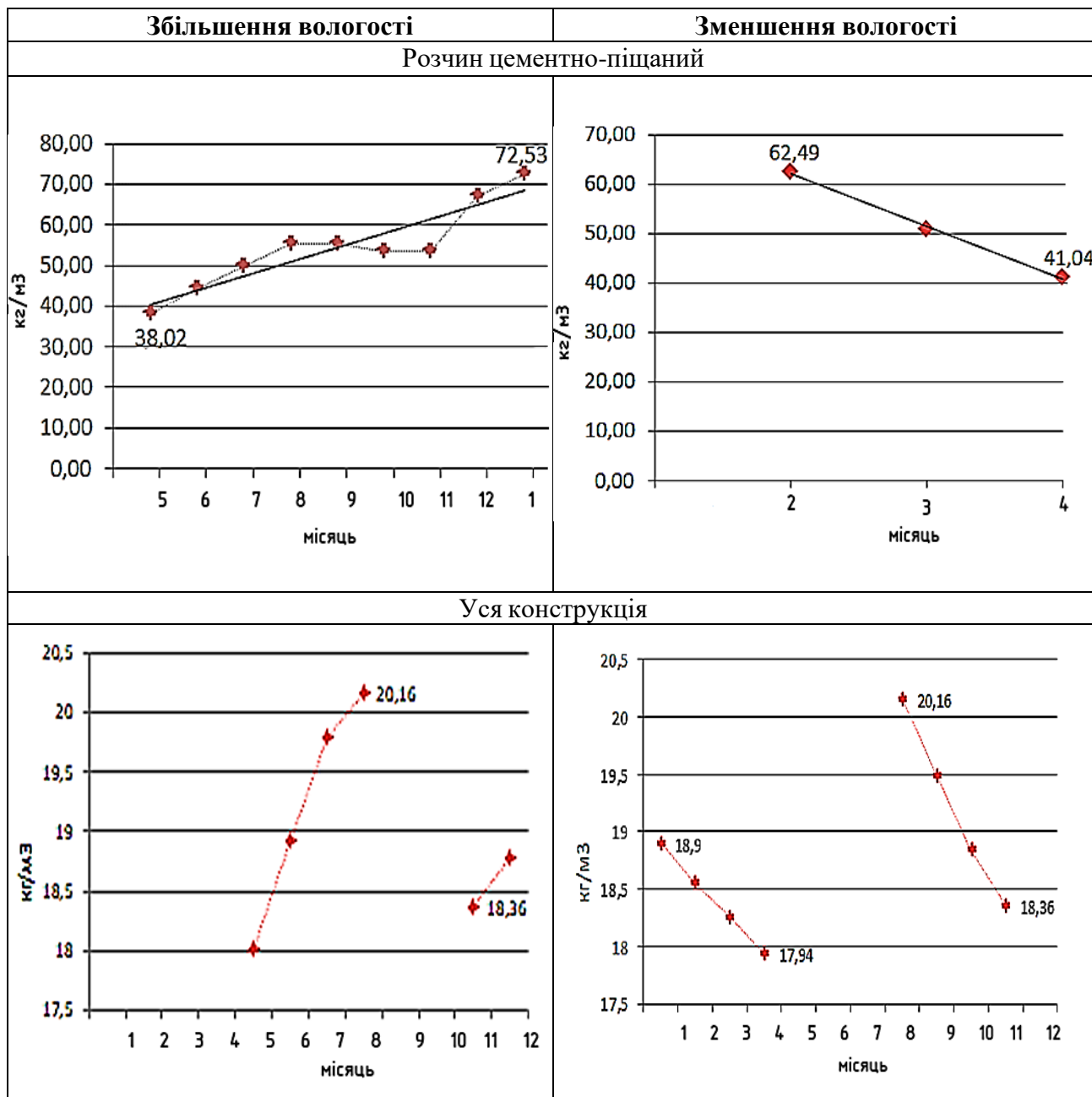
### 3.3.3 Зміна вологості за 12 місяців конструкції варіант 1 (600мм)

Виходячи з таблиці 3.5 - складено графіки, які наведено нижче в таблиці. На цих графіках виведено зміни вологості в матеріалах конструкції за місяцями.

Таблиця 3.7 - Зміна вологості в матеріалах конструкції за місяцями



## Продовження таблиці 3.7

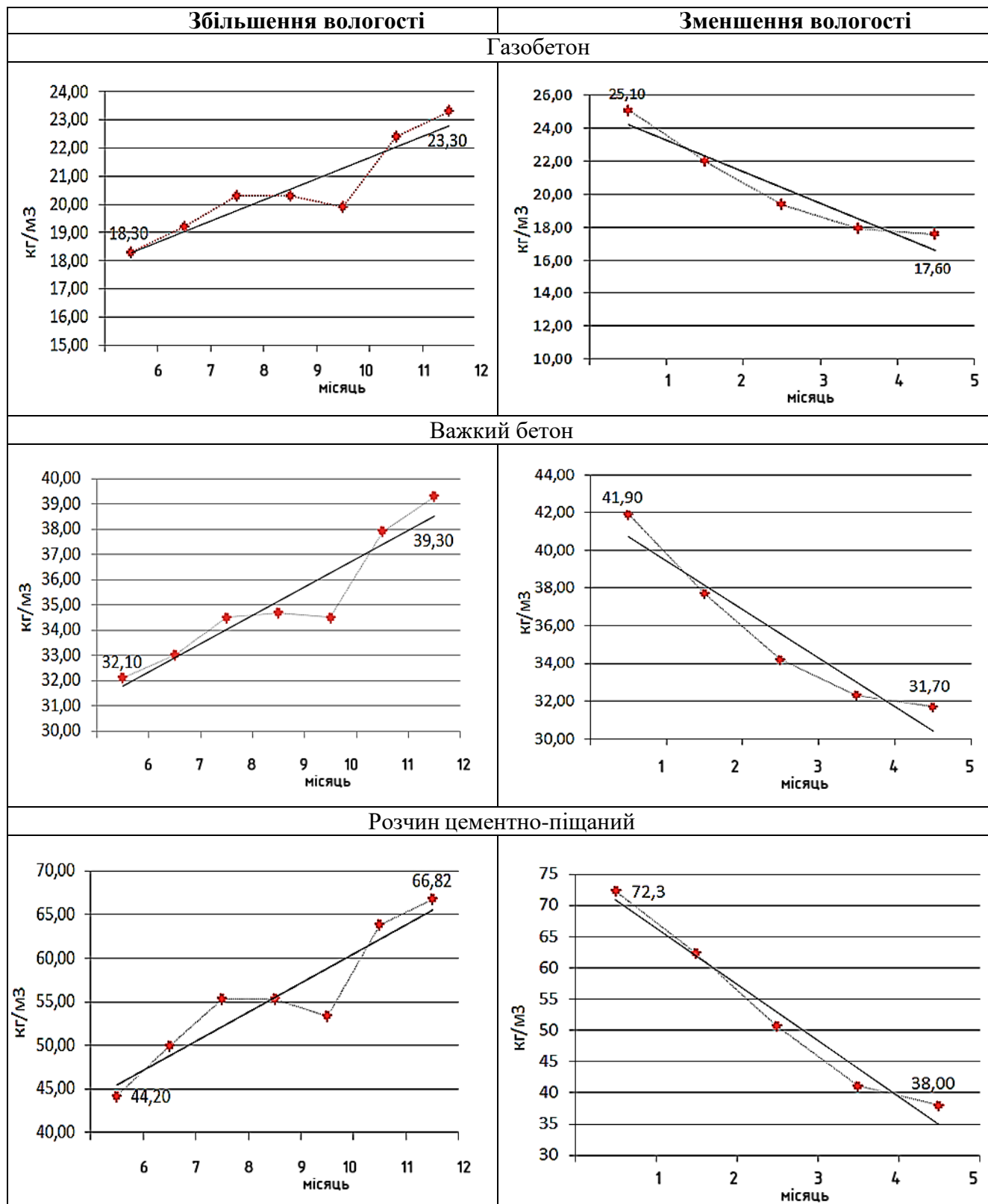


## 3.3.4 Зміна вологості за 12 місяців конструкції варіант 2 (400мм)

Виходячи з таблиці 3.6 - складено графіки, які наведено нижче в таблиці.

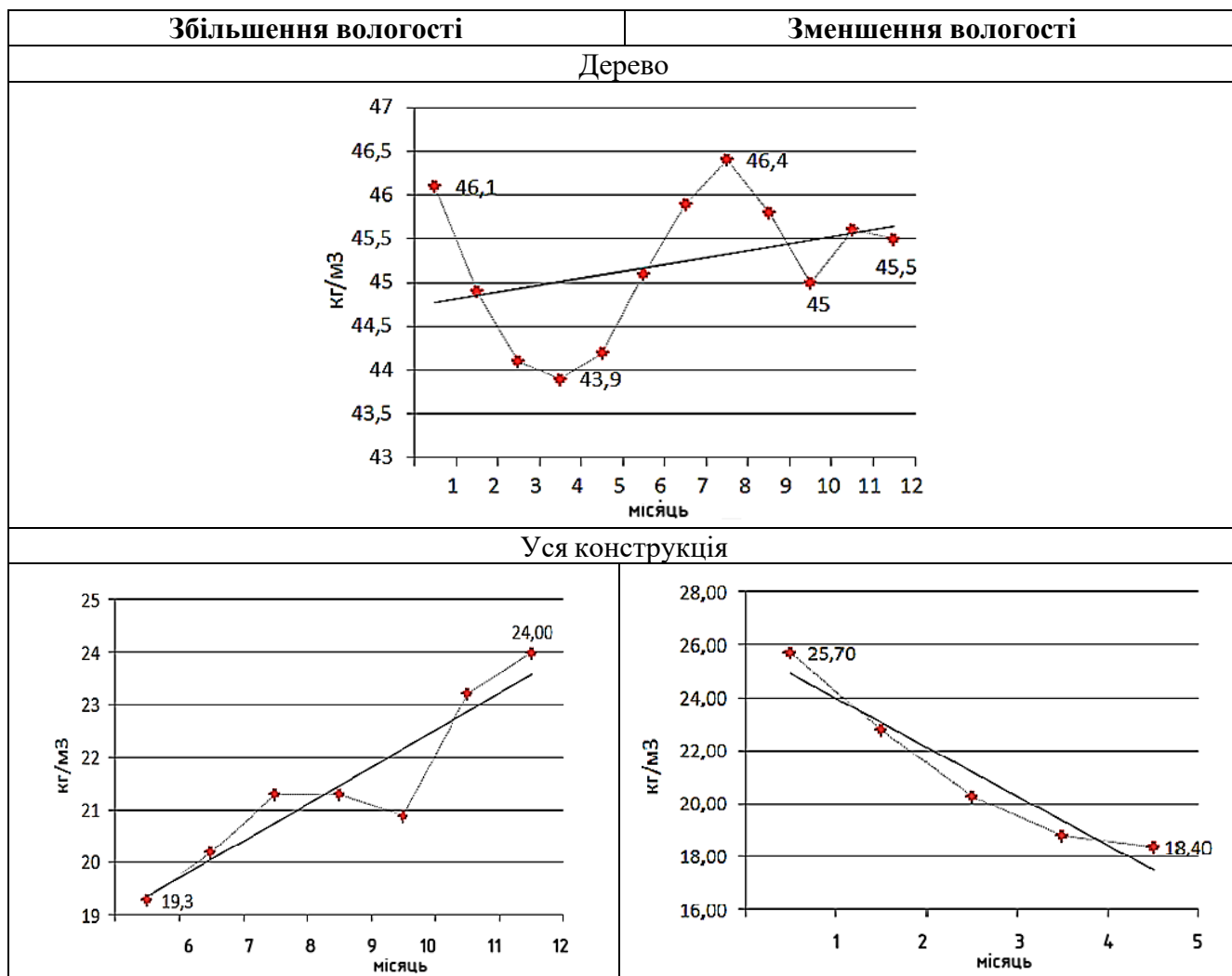
На цих графіках виведено зміни вологості в матеріалах конструкції за місяцями.

Таблиця 3.8 - Зміна вологості в матеріалах конструкції за місяцями





Продовження таблиці 3.8



З огляду на графіки, наведені вище в таблицях 3.6 і 3.7, зведено значення за двома конструкціями (таб. 3.8 і 3.9), у яких можна порівняти змінюваність вологості за масою досліджуваних конструкцій за 12 місяців.

Таблиця 3.9- Зміна вологості в матеріалах конструкції 1 (600мм)

Матеріал	Зміна вологовмісту за річний період, кг/м <sup>3</sup>			Швидкість зміни вологовмісту за річний період, кг/(міс*м <sup>3</sup> )		
	Збільшення	Зменшення	Середнє значення	Збільшення	Зменшення	Середнє значення
Ніздрюватий бетон	2,34	-1,78	0,56	0,8	-0,19	0,61
Важкий бетон	1,89	-1,14	0,75	0,44	-0,20	0,24
Розчин цементно-піщаний	34,51	-21,45	13,06	3,52	-10,7	-7,18
Уся конструкція	2,14	-1,55	0,59	0,73	-0,16	0,57

Таблиця 3.10 - Зміна вологості в матеріалах конструкції 2 (400мм)

Матеріал	Зміна вологовмісту за річний період, кг/м <sup>3</sup>			Швидкість зміни вологовмісту за річний період, кг/(міс*м <sup>3</sup> )		
	Збільшення	Зменшення	Середнє значення	Зменшення	Збільшення	Середнє значення
Ніздрюватий бетон	5	-7,5	-2,5	0,8	-1,9	-1,1
Важкий бетон	7,2	-10,2	-3	1,21	-2,58	-1,37
Розчин цементно-піщаний	34,3	-22,6	11,6	3,35	-8,99	-5,64
Дерево	3,1	-3,6	-0,5	0,69	-0,82	-0,13
Уся конструкція	4,7	-7,3	-2,6	0,7	-1,86	-1,16

У результаті чисельного моделювання тепло - масопереносу в досліджуваних вузлах з ніздрюватого бетону, отримано значення розподілу вологи в шарах конструкції за місяцями протягом одного року.

За даними таблиць 3.9 і 3.10 можна зробити висновок, що конструкція 1 (600мм) накопичує вологи менше, ніж конструкція 2 (400мм):

- ніздрюватий бетон конструкції 1 (600мм) накопичує 2,38 кг/м<sup>3</sup> вологи, що на 47,2% менше за конструкцію 2 (400мм);
- найбільш явні зміни за вологістю має розчин цементно-піщаний. Даний матеріал знаходиться із зовнішнього боку конструкції і більш схильний до кліматичних змін;
- уся конструкція 1 (600мм) має середнє значення вологовмісту 0,575 кг/м<sup>3</sup> і свідчить про те, що за 12 місяців у даній конструкції вологовміст не змінюється, при цьому, конструкція 2 (400мм) має зменшення вологості по всій конструкції.

### 3.3.5 Результати нестационарного розрахунку за 10 років

У цій роботі, крім нестационарного розрахунку за річний період, були розраховані показники зміни вологонакопичення стінових конструкцій з ніздрюватого бетону протягом 10 років. Результати цього розрахунку зведено в таблицю 3.11 і відображено на рисунках 3.10 і 3.11.

Таблиця 3.11 - Розрахунок вологонакопичення протягом 10 років

Позиція, №	Товщина стіни з ніздрюватого бетону	Облицювальний матеріал	Ніздрюватий бетон	Важкий бетон	Дерево
1. Швидкість збільшення вмісту води, кг/(м <sup>3</sup> *міс)	600 мм	0,0028	0,0005	0,00001	-
	400 мм	0,0034	0,0004	0,0065	0,0048
2. Максимальний/мінімальний вміст води на кінець 10 року експлуатації (кг/м <sup>3</sup> )	600 мм	72,4/38,4	17,9/17,3	25,1/25,04	-
	400 мм	71,04/38,3	23,0/18,8	36,26/33,96	45,80/44,9
3. Різниця між максимальним і мінімальним вмістом води на кінець 10 року експлуатації (кг/м <sup>3</sup> )	600 мм	34	0,6	0,06	-
	400 мм	32,74	4,2	2,36	0,18

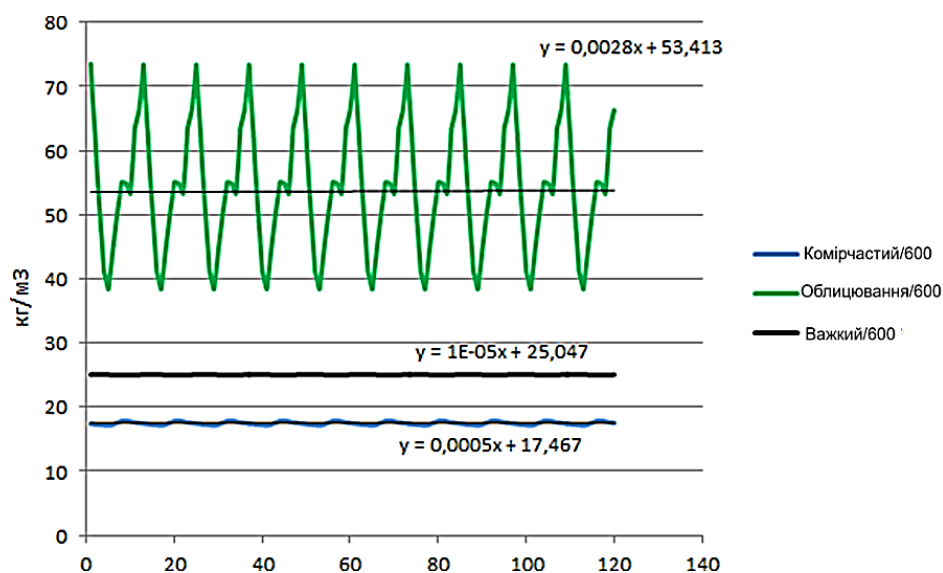


Рисунок 3.10 - Зміна вологості в матеріалах конструкції 1 (600мм) за 10 років

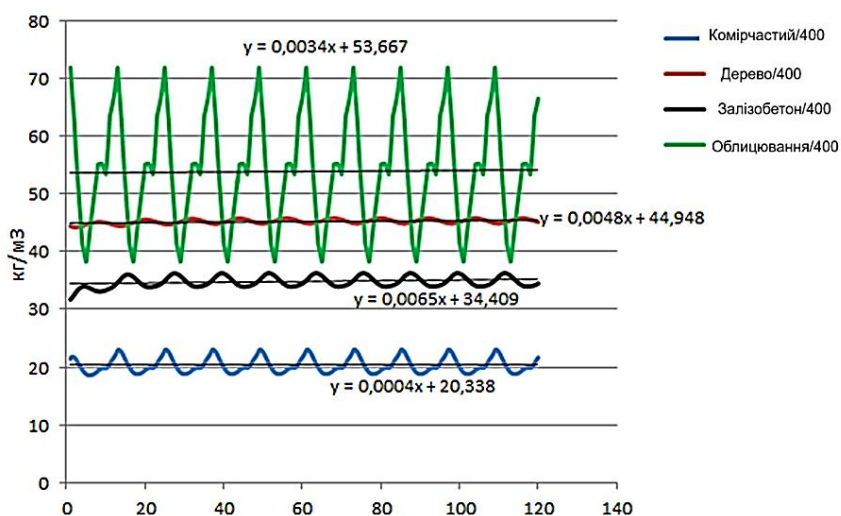


Рисунок 3.11 - Зміна вологості в матеріалах конструкції 2 (400мм) за 10 років

За результатами розрахунків було отримано криві зміни вологи в матеріалах конструкції за 10 років, представлені на рисунках 3.10 і 3.11. У таблиці 3.14 зведено значення за цим розрахунком. Виходячи з отриманих даних, можна зробити висновки:

- облицювальний матеріал із цементно-піщаного розчину, набирає однакоvu кількість вологи у двох конструкціях;

- ніздрюватий бетон у конструкції варіант 2 (400мм) набирає більше вологи на 22,4%, ніж конструкція 1 (600мм);

- різниця між максимальним і мінімальним значенням вмістом вологи на кінець 10 року експлуатації в ніздрюватому бетоні конструкції варіант 1 (600мм), становить - 0,62 кг/м<sup>3</sup>, у конструкції варіант 2 (400мм) - 4,2, що на 86,1% більше за конструкцію 1. Отже, на кінець 10 року експлуатації, конструкція 2 (400мм) продовжує змінювати вологу, водночас у конструкції 1 (600мм) цей параметр практично не значний;

- у ніздрюватому і важкому бетоні спостерігаються явні цикли зміни вологості в конструкції 2 (400мм) (рис. 3.14), водночас у конструкції 1 (600мм) різких стрибків за цими матеріалами немає (рис. 3.12);

- результати виконані за 1 рік і 10 років за мінімальною і максимальною зміною вологи практично збігаються, проте для всіх шарів матеріалів досліджуваних видів вузлів конструкції, спостерігається збільшення вологості, кг/(м<sup>3</sup> \*міс). Про це свідчить значення кутових коефіцієнтів ліній тренду.

### **3.4 Результати розрахунку за ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель»**

Конструкція стіни варіант 1 (600мм) - кладка з ніздрюватого бетону із застосуванням утеплювача на фасаді з мінераловатних плит та оздоблення з цементно-піщаного розчину. Схему частини стінової конструкції наведено на рисунку 3.12, характеристики матеріалів стінової конструкції подано в таблиці 3.12.

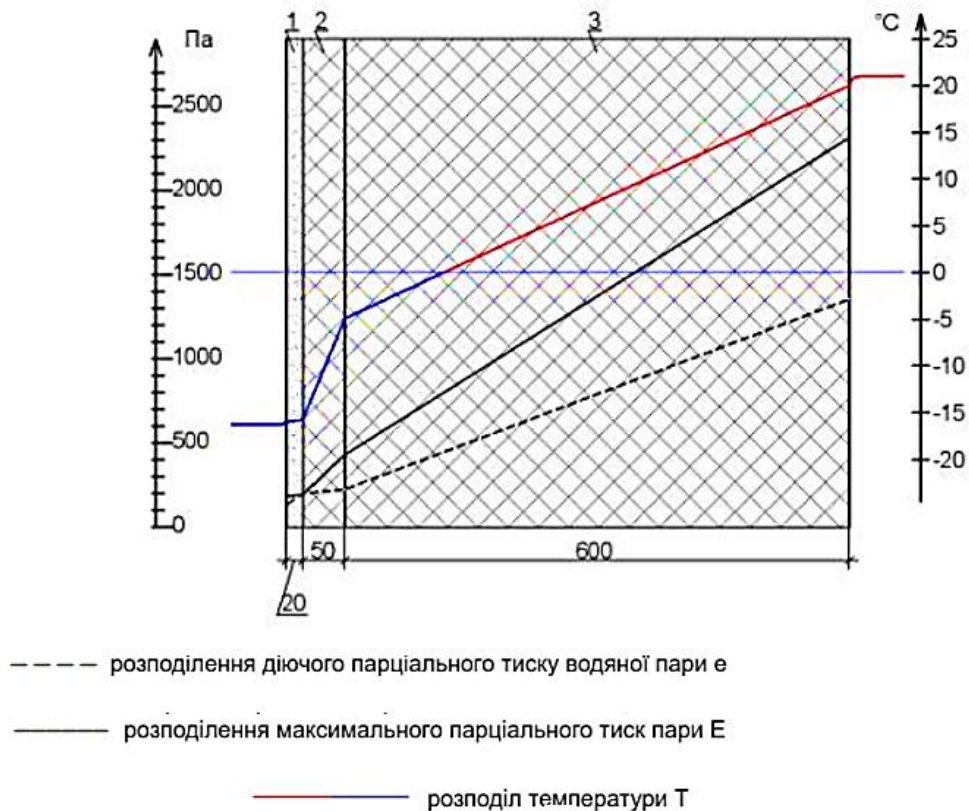


Рисунок 3.12 - Криві розподілу тиску

Таблиця 3.12 - Характеристики матеріалів стінової конструкції

Матеріал	Теплопровідність, Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)		Товщина шару δ, м.	Паропроникність μ, мг/(м·год·Па)
	λ <sub>A</sub> ,	λ <sub>B</sub> ,		
1. Штукатурний шар (розчин цементно-піщаний), γ=1500 кг/м <sup>3</sup>	0,76	0,93	0,02	0,09
2. Утеплювач - мінераловатна плита, γ=75 кг/м <sup>3</sup>	0,042	0,047	0,05	0,6
3. Газобетон, γ=600 кг/м <sup>3</sup>	0,22	0,26	0,6	0,17

Градусо-доби опалювального періоду за формулою (3): ГСОП = (21 - (-6,6)) - 234 = 6458° C - добу;

Визначимо базове значення необхідного опору теплопередачі за формулою (2):  $R_{птр} = 0,00035 \cdot 6458 + 1,4 = 3,66 \cdot \text{°C/Вт}$ ;

Нормативне значення приведенного опору теплопередачі огорожувальної

конструкції визначається за формулою (2.1):

$$R^{\text{норм}} = 6 \cdot 6 \cdot 0,63 = 2,31 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} - \text{стіни житлових кімнат}$$

Оскільки населений пункт м. Тернопіль належить до сухої зони вологості, при цьому вологісний режим приміщення - нормальний, теплотехнічні характеристики матеріалів огорожувальних конструкцій будуть прийняті, як для умов експлуатації А.

Опір теплопередачі прийнятої конструкції за формулою (2.4) для умов експлуатації А становитиме:

$$R^{\text{умов}} = 4,1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Наведений опір теплопередачі визначимо за формулою (2.11):

$$R^{\text{пр}} = 3,77 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Висновок: величина приведенного опору теплопередачі  $R^{\text{пр}}$  більша за необхідний  $R^{\text{норм}}$  ( $3,77 > 2,31$ ), отже, представлена огорожувальна конструкція відповідає вимогам щодо теплопередачі.

### 3.4.1 Розрахунок паропроникності

Загальний опір паропроникності огорожувальної конструкції  $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па/мг}$  визначається згідно з формулою:

$$R_{\text{о.п.}} = 0,02/0,09 + 0,05/0,6 + 0,6/0,17 = 3,83 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па/мг}$$

Парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря (2.13):

$$e_{\text{в}} = (55/100)2463 = 1355 \text{ Па}$$

Середній парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря періоду місяців з від'ємними середньомісячними температурами:

$$E_{\text{з.від}} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273 + (-11,4))) = 261 \text{ Па}$$

для температури  $t_{\text{з.від}} = -11,4^{\circ} \text{C}$  згідно з формулою (2.10)

Для кожного значення  $f_i$  ( $t_{\text{м.у.}}$ ) за формулою 2. 12 визначимо значення  $t_{\text{м.у.}}$  і температуру на межі шарів  $t_3$  і  $t_4$ .

Таблиця 3.13 - Зведена таблиця з розрахунку паропроникності для конструкції 1

№ шару		$f_i(t_{м.у.}),$ К /Па <sup>2</sup>	$t_{м.у.},$ °С	$t_{н},$ °С	$t_{к},$ °С
1	Розчин цементно-піщаний	17,5	7,7	-11,1	-10,8
2	Мінераловатні плити	2106,6	-51	-10,8	-1,4
3	Ніздрюватий бетон	113,9	0,9	-1,4	20,1

Визначимо координати площини максимального зволоження  $x_{м.у.}$ :

$$x_{м.у.} = 0.536 \text{ м}$$

Визначимо паропроникність  $R_n$ , м<sup>2</sup>-год-Па/мг, огорожувальної конструкції (у межах від внутрішньої поверхні до площини можливої конденсації)

$$R_n = 3,15 \text{ м}^2\text{-год-Па/мг}$$

Опір паропроникненню  $R_n$ , м<sup>2</sup>-год-Па/мг, має бути не меншим за нормовані опори паропроникненню, які визначаються за формулами 14 і 15, розрахунок яких наведено відповідно нижче:

$$R^{птр} = 0,13 \text{ -год-Па/мг}$$

$$R^{птр} = 0,11 \text{ м}^2\text{-год-Па/мг.}$$

Умова паропроникності виконуються  $R_n > R^{птр} (3.15 > 0.13)$ ,  $R > R^{птр} (3.15 > 0.11)$ .

Конструкція стіни варіант 2 (400мм) - кладка з ніздрюватого бетону із застосуванням оздоблення фасаду з цементно-піщаного розчину. Схему частини стінової конструкції наведено на рисунку 3.13, характеристики матеріалів стінової конструкції подано в таблиці 3.14.

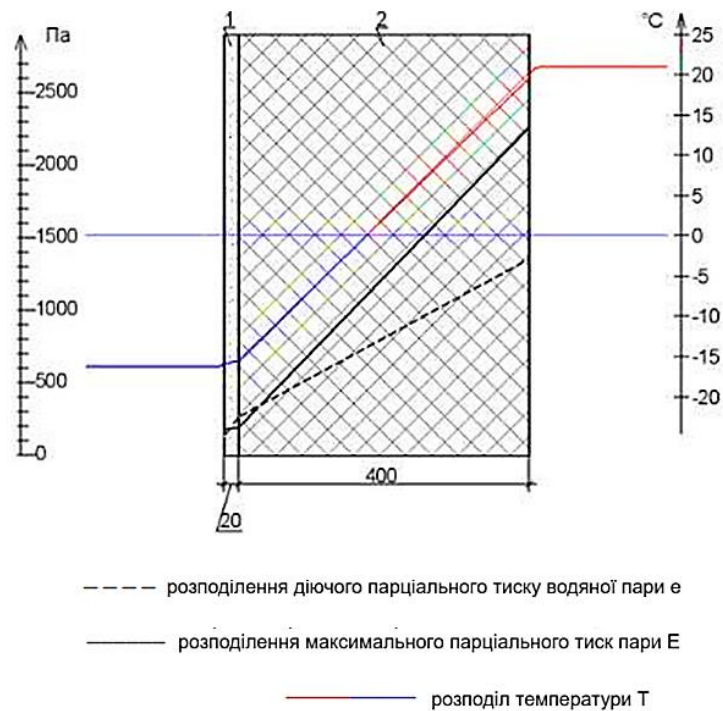


Рисунок 3.13 - Криві розподілу тиску

Таблиця 3.14 - Характеристики матеріалів стінової конструкції

Матеріал	Теплопровідність, Вт/(м <sup>2</sup> °С)		Товщина шару $\delta$ , м.	Паропроникність $\mu$ , мг/(мгод Па)
	$\lambda_A$ ,	$\lambda_B$ ,		
1. Штукатурний шар (розчин цементно-піщаний), $\gamma=1500$ кг/м <sup>3</sup>	0,76	0,93	0,02	0,09
2. Газобетон, $\gamma=400$ кг/м <sup>3</sup>	0,14	0,15	0,4	0,23

Розрахунок паропроникності

Визначимо паропроникність  $R_n$ , м<sup>2</sup>-год-Па/мг:

$$R_n = 1,74 \text{ м}^2\text{-год-Па/мг.}$$

Опір паропроникненню  $R_n$ , м<sup>2</sup>-год-Па/мг, має бути не меншим за нормовані опори паропроникненню, наведених відповідно нижче:

$$R^{птр} = 0,39 \text{ м}^2\text{-год-Па/мг} \quad R^{птр} = 0,68 \text{ м}^2\text{-год-Па/мг.}$$

Умова паропроникності виконуються  $R_n > R^{птр}$  ( $1,74 > 0,39$ ),  $R > R^{птр}$  ( $1,74 > 0,68$ )

Розрахунок за зводом правил засвідчив, що обидві конструкції задовольняють вимогам щодо паропроникнення.



### 3.5 Порівняння результатів

У таблиці 3.15 і 3.16 зведено результати зміни вологості за матеріалами в досліджуваних конструкціях, зведено періоди за місяцями зміни вологості.

Таблиця 3.15 - Зміна вологості в матеріалах конструкції 1 (600мм)

Матеріал	Збільшення вологості		Зменшення вологості		Вимоги [29],%
	Місяць	%	Місяць	%	
Ніздрюватий бетон	Травень Червень Липень Серпень	0,39	Вересень Жовтень Листопад Грудень Грудень Січень Лютий Березень Квітень	-0,3	6
Важкий бетон	Березень Квітень Червень Липень Серпень	0,08	Вересень Жовтень Листопад Грудень Січень Лютий	-0,05	2
Розчин цементно-піщаний	Травень Червень Липень Серпень	1,93	Лютий Березень Квітень	-1,43	2
Уся конструкція	Травень Червень Липень Серпень Листопад Грудень	0,08	Січень Лютий Березень Квітень Вересень Жовтень	-0,07	-

Таблиця 3.16 - Зміна вологості в матеріалах конструкції 2 (400мм)

Матеріал	Збільшення вологості		Зменшення вологості		Вимоги [29],%
	Місяць	%	Місяць	%	
Ніздрюватий бетон	Червень	1,25	Січень Лютий	-1,88	6
Важкий бетон		0,29	Березень	-0,41	2
Розчин цементно-піщаний	Серпень	1,8	Квітень Травень	-2,29	2
Дерево	Листопад	0,62	Вересень Жовтень	-0,72	-
Уся конструкція		Грудень		0,19	-0,3

Збільшення вологості в матеріалах за масою в досліджуваних конструкціях, розраховані чисельним методом, не перевищують гранично допустимих значень.

Конструкція 2 (400мм) має вищі значення збільшення вологості матеріалів, як порівняти з конструкцією 1 (600мм).

Для порівняння, у таблиці 3.17 зведено результати вологонакопичення за місяцями під час чисельного моделювання та ДБН.

Таблиця 3.17 - Порівняння результатів чисельного моделювання з нормативною методикою

		Збільшення вологості	Зменшення вологості
Чисельне моделювання	Конструкція 1(600мм)	Червень, липень, серпень листопад, грудень	Січень, лютий, березень, квітень, травень, вересень, жовтень
	Конструкція 2(400мм)	Травень, червень, липень, серпень, листопад, грудень	Січень, лютий, березень, квітень, вересень, жовтень
Нормативна методика[30]		Січень, лютий, березень, листопад, грудень	Травень, червень, липень, серпень, вересень

За чисельними розрахунками збільшення/зменшення вологості відбуваються за місяцями, що представлені в таблиці 3.17.

Згідно з нормами, встановлено такі місяці збільшення та зменшення вологості за середньодобової температури повітря - мінус 6,5° С:

- збільшення вологості - зима (січень, лютий, березень, листопад, грудень);
- зменшення вологості - літо (травень, червень, липень, серпень, вересень).

Вологість у конструкції накопичується по-різному залежно від конструктивного виконання. Порівняння показників, наведених у таблиці, свідчить про збільшення/зменшення вологості в конструкції за місяцями, отримані чисельним методом і за нормативною методикою, як видно з таблиці 20, - є розбіжності в періодах вологонакопичення, отриманих шляхом чисельного розрахунку з нормативною методикою. Пов'язано це з тим, що під час розрахунку чисельним методом, конструкція досліджується в динаміці зміни властивостей матеріалів: сорбційної вологості та теплопровідності.

### 3.6 Розрахунок витрат на опалення за розрахунковий період

Для розрахунку теплових втрат і витрат на опалення взято фрагмент кута конструкції 1 (600мм). Цей кут містить монолітний пояс і міжповерхове перекриття. На рисунку 3.14 вказано схему розраховуваного фрагмента. Економічну оцінку розраховано двома способами: 1) чисельним методом з урахуванням сорбційної вологості матеріалів і вологонакопичення; 2) за нормативною методикою.

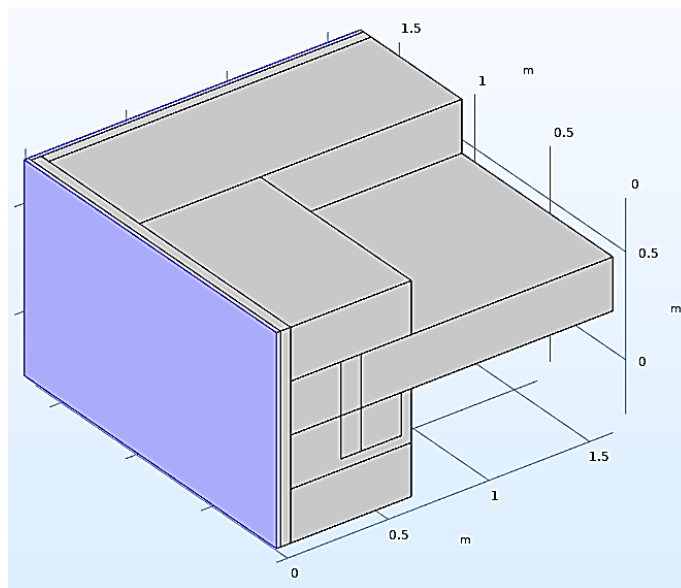


Рисунок 3.14 - Фрагмент розраховуваної конструкції 1 (600мм)

Кількість тепла за опалювальний період, Дж, розрахуємо як:

$$Q_{\text{оп}} = Q \cdot 235 \cdot 24 \cdot 3600, \quad (17)$$

де  $Q$  - тепловий потік досліджуваного фрагмента Вт;

235 - тривалість, діб/рік, опалювального періоду, які приймають за для житлових і громадських будинків для періоду із середньодобовою температурою зовнішнього повітря не більше  $8^{\circ}\text{C}$ ;

24 - кількість годин у добі, год;

3600 - кількість секунд у годині, сек.

Після того, як пораховано кількість тепла за опалювальний період, переводимо Дж у Гкал ( $1 \text{ Дж} = 2,388458966275\text{E-}10 \text{ Гкал}$ ).

Витрати на теплові втрати через зовнішні огорожувальні конструкції будівлі визначаємо за формулою (10):

Результати розрахунків за тепловтратами зведемо в таблицю 3.18.

Результати розрахунків теплових втрат конструкції, розрахованих чисельним методом і за нормативною методикою, зведено в таблицю 3.18.

Таблиця 3.18 - Тепловтрати та витрати на опалення за розрахунковий період

Показник	Чисельним методом	За нормативною методикою
Тепловий потік, Вт	4,1	4,9
Загальні тепловтрати будівлі за опалювальний період, Гкал	0,019	0,025
Витрати на опалення, грн.	32,1	42,2

Під час розрахунку економічної оцінки за нормативною методикою - сорбційна вологість матеріалів і зміна вологості матеріалів не враховується.

У таблиці 3.18 можна побачити, що під час розрахунку економічної оцінки конструкції чисельним методом і з урахуванням сорбційної вологості матеріалів, отримано результат більш точний, як порівняти з розрахунком за нормативною методикою.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1 Охорона праці

Охорона праці – це зведення законодавчих актів і правил, відповідних їм гігієнічних, організаційних, технічних та соціально-економічних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатність людини в процесі праці. Організація будівельного майданчика, ділянки робіт та робочих місць повинна забезпечувати безпеку праці працюючих на всіх етапах виконання робіт.

Вирішення питань про охорону праці та здоров'я трудящих на будівельному майданчику є найважливішим завданням. При вирішенні завдань необхідно чітко представляти сутність процесів і відшукати способи (найбільш підходящі до кожного конкретного випадку), що усувають вплив на організм шкідливих і небезпечних факторів і унеможливають травматизм і професійні захворювання.

##### 4.1.1 Інженерні рішення з охорони праці

Проектом передбачені інженерні рішення з техніки безпеки будівельно-монтажних та супутніх допоміжних робіт.

При виробництві будівельно-монтажних робіт необхідно дотримуватись вимог [14]. Чинна система охорони праці (трудове законодавство, виробнича санітарія та техніка безпеки) забезпечує належні умови праці робітникам-будівельникам, підвищення культури виробництва, безпеку робіт та їх полегшення, що сприяє підвищенню продуктивності праці. Створення безпечних умов праці у будівництві тісно пов'язане з технологією та організацією виробництва. Відповідальність за безпеку робіт покладено у законодавчому порядку на технічних керівників будівель – головних інженерів та інженерів з охорони праці, виробників робіт та будівельних майстрів. Керівники будівництва зобов'язані організувати планування заходів з охорони праці та протипожежної техніки та забезпечити проведення цих заходів у встановлені терміни.

Поліпшення організації виробництва, створення на будівельному майданчику умов праці, що усувають виробничий травматизм, професійні захворювання та забезпечують нормальні санітарно-побутові умови – одне з найважливіших завдань, від успішного вирішення якого залежить подальше підвищення продуктивності праці на забудовах.

До обов'язків адміністрації будівельних організацій з охорони праці входять:

- дотримання правил охорони праці, здійснення заходів з техніки безпеки та виробничої санітарії;
- розробка перспективних планів та угод колективних договорів щодо покращення та оздоровлення умов праці;
- забезпечення працюючих спецодягом, спецвзуттям, засобами індивідуального захисту;
- проведення інструктажів та навчання робочих правил техніки безпеки;
- організація пропаганди безпечних методів праці, забезпечення будівельних об'єктів плакатами, запобіжними написами тощо;
- організація навчання та щорічної перевірки знань, правил та норм охорони праці інженерно-технічного персоналу;
- проведення медичних оглядів осіб, зайнятих на роботах із підвищеною небезпекою та шкідливими умовами;
- розслідування всіх нещасних випадків та профзахворювань, що сталися на виробництві, а також їх облік та аналіз;
- ведення документації та перевірка встановленої звітності з охорони праці;
- видання наказів та розпоряджень з питань охорони праці.

Загальне керівництво робіт з техніки безпеки та виробничої санітарії, а також відповідальність за її стан покладається на керівників (начальників та головних інженерів) будівельних організацій.

#### 4.1.2 Огородження території

Територія будівельного майданчика має бути виділена на території огорожами:

- захисно-охоронними, призначеними для запобігання доступу сторонніх осіб на ділянки з небезпечними та шкідливими виробничими факторами та забезпечення збереження матеріальних цінностей;
- захисними, призначеними лише запобігання доступу сторонніх осіб у ділянки з небезпечними виробничими чинниками;
- сигнальними, призначеними для попередження про межі територій та ділянок з небезпечними та шкідливими виробничими факторами.

Панелі огорож повинні бути прямокутними зі стандартною довжиною  $L=1,2; 1,6; 2,0$ м. Відстань між суміжними елементами огороження заповнення полотна панелей має бути 80...100 мм. Відстань між стійками сигнальних огорож не більше 6м.

#### 4.1.3 Визначення небезпечних зон на будівельному майданчику

При організації будівельного майданчика, розміщення ділянок робіт, робочих місць, проїздів будівельних машин, транспортних засобів, проходів для людей слід встановити небезпечні для людей зони, у яких постійно діють або потенційно можуть діяти небезпечні виробничі фактори.

Згідно [14] до зон небезпечних виробничих факторів відносяться зони:

- у смузі шириною до 2-х метрів по периметру від не захищених перепадів за висотою на 1,3 м і більше;
- у місцях переміщення машин та обладнання або їх робочих органів та відкритих частин, що рухаються або обертаються;
- у місцях, над якими відбувається переміщення вантажів вантажопідіймальними кранами;

- поблизу від відкритих неізольованих струмопровідних частин електроустановок та ЛЕП;
- у місцях, де рівні шуму, вібрації чи забруднення повітря робочої зони перевищують гігієнічні норми:

До зон потенційно діючих небезпечних виробничих факторів відносяться:

- монтажні зони - ділянки території поблизу будівлі або споруди, що будується;
- поверхи (яруси) будівель та споруд в одній захватці, над якими відбувається монтаж (демонтаж) конструкцій або обладнання.

#### **4.1.4 Організація безпечних умов праці земляних робіт**

Для забезпечення безпечних умов виконання земляних робіт необхідно дотримуватися наступних основних умов безпечного виконання робіт:

- Земляні роботи у зоні розташування діючих підземних комунікацій можуть проводитися лише з письмового дозволу організацій, відповідальних їх експлуатацію.
- Технічний стан землерийних машин повинен регулярно перевірятись із своєчасним усуненням виявлених несправностей. Екскатор під час роботи необхідно розташовувати на спланованому місці.
- Під час роботи екскаватора забороняється перебування людей у межах призми обвалення та в зоні розвороту стріли екскаватора.
- Завантаження автомобілів екскаватором проводиться так, щоб ківш подавався збоку або ззаду кузова, а не через кабінку водія. Пересування екскаватора із завантаженим ковшем забороняється.

#### **4.1.5 Організація безпечних умов праці бетонних робіт**

Для забезпечення безпечних умов виконання бетонних робіт необхідно дотримуватися таких основних умов безпечного виконання робіт:



- опалубку, що застосовується для зведення монолітних залізобетонних конструкцій, необхідно виготовляти та застосовувати відповідно до проекту виконання робіт, затвердженого у відповідному порядку.
- при встановленні елементів опалубки на кілька ярусів кожен наступний ярус слід встановлювати лише після закріплення нижнього ярусу.
- при виробництві опалубних, арматурних, бетонних та розпалубних робіт необхідно стежити за кріпленням лісів та риштування, їх стійкістю, правильним улаштуванням настилів, сходів, поручнів та огорож.
- цитову опалубку колон, ригелів, перекриттів і стін з пересувних драбин допускається встановлювати при висоті над рівнем землі або нижчим перекриттям не більше 5,5 м.
- працювати на висоті від 5,5 до 8 м дозволяється тільки з пересувних риштування, що мають нагорі майданчик з огорожами.
- при зведенні залізобетонних стін для безпечної роботи будівельників-опалубників з обох боків необхідно встановити настили з огорожами через кожні 1,8 м за висотою.
- стан зібраних панелей та блоків опалубки, робочих настилів, навісних майданчиків та сходів на захватках щодня перед початком робіт перевіряє особа, відповідальна за виконання робіт та робить відповідну запис у журналі охорони праці та протипожежної охорони.
- усі робочі настили та перехідні сходи мають бути надійно закріплені відповідно до проекту.
- роботи на незакріплених підмостках суворо заборонені.
- до монтажу не допускається опалубка з несправними замками, петлями, захватами, великими люфтами у шарнірах та замках. Виявлені несправності слід усувати негайно.
- до початку монтажу опалубки міцність нижчих несучих монолітних конструкцій повинна бути не нижче 70% проектної.
- всі прорізи повинні бути закриті інвентарними щитами або захищені.

– до початку монтажу опалубки необхідно перевірити надійність з'єднання елементів опалубки, що входять до складу вузла, що піднімається, переконатися у відсутності незакріплених предметів на елемент опалубки, що переноситься.

– підйом та переміщення до місця встановлення елементів опалубки необхідно виконувати плавно, без обертання, коригування положення елемента виконувати на відтяжки. Не допускається виконувати монтажні роботи на висоті у відкритих місцях при швидкості вітру 15 м/с і більше, при ожеледиці, грозі або тумані, що виключає видимість у межах фронту робіт. Роботи з переміщення та встановлення вертикальних панелей та подібних до них конструкцій з великою вітрильністю слід припиняти при швидкості вітру 10 м/с і більше.

– розструпування елементів опалубки проводити тільки після належного їх закріплення або установки, що виключає мимовільне переміщення.

– панелі та блоки піднімати лише після їх повного звільнення від кріпильних елементів та відриву від бетону. Окремі панелі, крім підкосів, повинні зміцнюватися ланцюговими відтяжками для запобігання перекиданню. Особливу увагу звернути на стропування та підйом блоків опалубки. Щоб уникнути заклинювання блоку при вилученні його з комірки, блок при підйомі має бути строго вертикальним.

– робочі місця мають бути огорожені інвентарними огорожами. В разі відсутності огорожі робітники повинні користуватися запобіжними поясами. Місця прикріплення поясів вказуються виробником робіт та яскраво забарвлюються.

– під час грози та при вітрі силою 6 балів і більше (тобто при швидкості вітру понад 9,9 м/с) виконувати бетонні та залізобетонні роботи із зовнішніх лісів забороняється.

– арматурні вироби слід переміщувати та встановлювати лише у рукавицях.

Армовані ділянки, які можуть бути під струмом, необхідно заземлити. Не дозволяється залишати без закріплення встановлену арматуру.

## 4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

### 4.2.1 Законодавча база України

Основу нормативно-правової бази в сфері цивільної оборони, захисту населення і території від наслідків надзвичайних ситуацій складають: Кодекс цивільного захисту України, закони «Про війська цивільної оборони», «Про аварійно-рятувальні служби»; укази Президента України «Про Концепції захисту населення і територій у випадку загрози і виникнення НС» і Положення «Про міністерство України з питань НС і в справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи», постанови Кабінету Міністрів України про затвердження «Положення про цивільну оборону України», «Про єдину державну систему попередження і реагування на НС техногенного і природного характерів», «Положення про керування з питань НС і цивільного захисту населення обласних і міських державних адміністрацій» та інші нормативні акти.

### 4.2.2 Стійкість будівлі від ударної хвилі

Нові об'єкти народного господарства повинні будуватися з урахування вимог, виконання яких сприяє підвищенню сталості об'єкта. Основні з них такі:

1. Будівлі і споруди на об'єкті необхідно розташовувати розосереджено. Відстані між будівлями повинні забезпечувати протипожежні розриви. При наявності таких розривів виключається можливість перенесення вогню з однієї будівлі на іншу, навіть якщо пожежу не гасять.

Ширина протипожежного розриву  $L_p$  м визначається за формулою:

$$L_p = H_1 + H_2 + (15 \dots 20), \text{де } H_1 \text{ і } H_2 \text{ — висоти сусідніх будівель, м.}$$

Будівлі адміністративно господарського та обслуговуючого призначення повинні розташовуватися окремо від основних цехів.

2. Найважливіші виробничі будівлі слід будувати заглибленими або пониженої висотності, прямокутної форми у плані. Це зменшує парусність будівель і збільшує опірність їх ударній хвилі ядерного вибуху. Належну стійкість

до впливу ударної хвилі мають залізобетонні будівлі з металевими каркасами в бетонній опалубці .

Для підвищення стійкості до світлового випромінення у будівлях та спорудах, що будуються, повинні застосовуватися вогнетривкі конструкції, а також вогнетривка обробка елементів будівлі, які горять. У кам'яних будівлях перекриття повинні бути виготовлені з армованого бетону або виконані з бетонних плит. Великі будівлі повинні розділятися на секції вогнетривкими стінами (брандмауерами).

У ряді випадків при проектуванні та будівництві промислових будівель і споруд має бути передбачена можливість герметизації приміщень від проникнення радіоактивного пилу. Це особливо важливо для підприємств харчової промисловості і продовольчих складів.

3. У складських приміщеннях повинна бути мінімальна кількість вікон і дверей. Складські приміщення для зберігання легкозаймистих речовин (бензин, гас, нафта, мазут) повинні розташовуватися в окремих блоках заглибленого або напівзаглибленого типу біля меж території об'єкта чи поза нею.

4. Деякі унікальні види технологічного обладнання доцільно розміщувати у найміцніших спорудах (підвалах, підземних приміщеннях) або у будівлях з легких вогнетривких конструкцій павільйонного типу, під накриттям чи без нього. Це обумовлюється тим, що у багатьох випадках обладнання може витримати набагато більший тиск ударної хвилі, ніж будівлі, в яких воно знаходиться, а при зруйнуванні будівель в результаті падіння конструкцій встановлене в них обладнання виходитиме з ладу [13].

5. На підприємствах, що виробляють або використовують сильнодіючі отруйні та вибухонебезпечні речовини, при будівництві і реконструкції необхідно передбачати захист ємностей та комунікацій від зруйнування ударною хвилею чи конструкціями, що падають, а також заходи, що виключають розливання отруйних речовин і вибухонебезпечних рідин.

6. Душові приміщення необхідно проектувати з урахуванням використання їх для санітарної обробки людей, а місця для миття машин — з урахуванням використання їх для знезараження автотранспорту.

7. Шляхи на території об'єкта повинні бути з твердим покриттям і забезпечувати зручне і найкоротше сполучення між виробничими будівлями, спорудами і складами; в'їздів на територію об'єкта має бути не менше двох з різних напрямків. Внутрізаводські залізничні шляхи повинні забезпечувати найпростішу схему руху, займати мінімальну площу території об'єкта та мати обгінні ділянки. Вводи залізничних ліній в цехи повинні бути, як правило, тупикові.

8. Системи побутової та виробничої каналізації повинні мати не менше двох випусків у міські каналізаційні мережі та пристрої для аварійних скидів у котловани, яри, траншеї тощо.

Дія ударної хвилі на об'єкт характеризується складним комплексом навантажень: надлишковим тиском, тиском відбиття, тиском швидкісного напорю, тиском затікання, навантаження від сейсмовибухових хвиль і т.д. Значення їх залежить в основному від виду і потужності вибуху, відстані до об'єкта, конструкції і розмірів елементів об'єкта, орієнтації щодо епіцентру вибуху, місця розташування будинків і споруджень у загальній забудові об'єкта й окремих елементів виробництва в приміщеннях будинків, рельєфу місцевості і деяких інших факторів. Врахувати їх у сукупності для кожного елемента об'єкта, як правило, неможливо. Тому можливість елементів опиратися дії ударної хвилі характеризують тільки надлишковим тиском у її фронті, вважаючи, що масштаби руйнувань не залежать від потужності і висоти найбільш ймовірних ядерних вибухів.

Для визначення ступеня руйнувань чи ушкоджень:

- вивчають вихідні дані і розраховують параметри ударної хвилі на відповідних відстанях;

- для розрахованих значень надлишкових тисків оцінюють ступінь руйнування розглянутих елементів;

- оцінюють можливість виникнення вторинних вражаючих факторів;
- з огляду на ступінь руйнувань найслабших елементів об'єкта, визначають ступінь руйнування об'єкта в цілому.

Вихідними даними для оцінки фізичної стійкості є: конструктивні особливості елемента, його форма, вага, габарити, характеристики міцності [13].

Оцінка ступеня руйнувань будинків і споруд, сховищ і ПРУ, енергетичного устаткування і мереж, верстатного і технологічного устаткування, вимірювальної апаратури, засобів зв'язку й оповіщення, транспортних та інших засобів може здійснюватися або методом порівняння наявних довідкових даних для розглянутого виду чи аналогічного йому елемента, або методом розрахунку впливу ударних навантажень і сил зсуву на елемент.

Для порівняльної оцінки необхідно мати відповідні таблиці можливих руйнувань елементів об'єкта в залежності від надлишкового тиску у фронті ударної хвилі: будинків, споруд, транспорту, устаткування, енергетичних споруд і мереж. Ці таблиці складаються на основі статистичних даних, отриманих при аналізі руйнувань у Хіросімі й Нагасакі та при проведенні випробувальних ядерних вибухів на полігонах, і можуть поповнюватися результатами розрахунків при конструюванні нових елементів.

Метод розрахунку передбачає визначення динамічних навантажень, створюваних надлишковим тиском у фронті ударної хвилі, і реакції елемента на ці навантаження. Вихідними даними при використанні цього методу є: надлишковий тиск у фронті ударної хвилі і характер його зміни в часі (протягом фази стискання), тривалість фази стискання і швидкість руху фронту ударної хвилі. У більшості випадків дію ударної хвилі оцінюють питомим імпульсом — добутком надлишкового тиску на час його дії. Оскільки  $\Delta P_\phi$  залежить не тільки від часу, а й від відстані до епіцентру, і від потужності джерела ПУХ, розрахунок імпульсу з використанням інтегрального числення ускладнений. Тому звичайно використовують кусково-лінійну апроксимацію кривої  $\Delta P_\phi$  як функції часу.

Таким чином, дія ударної хвилі на об'єкт характеризується складним комплексом навантажень: надлишковим тиском, тиском відбиття, тиском

швидкісного напору, тиском затікання, навантаження від сейсмовибухових хвиль і т.д. Значення їх залежить в основному від виду і потужності вибуху, відстані до об'єкта, конструкції і розмірів елементів об'єкта, орієнтації щодо епіцентру вибуху, місця розташування будинків і споруджень у загальній забудові об'єкта й окремих елементів виробництва в приміщеннях будинків, рельєфу місцевості і деяких інших факторів. Врахувати їх у сукупності для кожного елемента об'єкта, як правило, неможливо. Однак ряд таких заходів як розосередження нових будівель та споруд, забезпечення протипожежних розривів, наявність в будівлі залізобетонного каркасу та шляхів із твердим покриттям, запроектовані брандмауери істотно підвищують шанси людей вижити під час катастрофи, а також зменшують ризик отримання травм чи пошкоджень, сприяють швидшому доступу рятувальних служб до місця трагедії.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проаналізовано результати теоретичних і практичних досліджень, нормативної бази з розрахунку вологонакопичення в конструкціях з ніздрюватого бетону;

- проведено чисельний розрахунок перенесення тепла і вологи в стінових огороженнях експлуатованих будівель;
- проаналізовано порівняння результатів чисельного моделювання та тепловізійних досліджень із нормативною методикою;
- визначено зони максимального зволоження, періоди вологонакопичення та сушіння конструкцій з ніздрюватого бетону на основі чисельного моделювання в нестационарних умовах експлуатації;
- визначено необхідність коригування / уточнення нормативної методики;
- показано вплив урахування вологонакопичення в конструкції ніздрюватого бетону на його теплотехнічні параметри, енергоефективність і довговічність.



## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ковальчук Я. О. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія” / Я. О. Ковальчук, Г. М. Крамар, О. М. Мещерякова. - Тернопіль: ТНТУ, 2020. – 56 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-112-2002 Будівельні матеріали. Цементи. Загальні технічні умови
3. ДСТУ Б В.2.7-41-95. Будівельні матеріали. Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності поверхневим перетворювачем
4. ДСТУ Б В.2.7-82:2010 Будівельні матеріали. В'язучі гіпсові. Технічні умови
5. ДСТУ Б В.2.7-195:2009 Будівельні матеріали. Матеріали і вироби теплоізоляційні. Номенклатура показників
6. ДСТУ Б В.2.7-105-2000 Будівельні матеріали. Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі
7. ДСТУ Б В.2.7-45:2010 Будівельні матеріали. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови
8. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель
9. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель»
10. КІЯН, Д.І.; КРАМАР, Галина Михайлівна. Використання теплоізоляційних матеріалів у будівництві. Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2020, 1: 77-77.
11. ГАВРОН, І.Я.; КРАМАР, Галина Михайлівна. Сучасні теплоізоляційні матеріали в будівництві. Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2019, 1: 58-58.
12. КОВАЛЬЧУК, Я., et al. Теплоізоляційні будівельні матеріали з місцевих

технологічних відходів. Наукові нотатки, 2019, 66: 165-171.

13. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

14. Методичні вказівки для написання розділу дипломного проекту з дисципліни «Охорона праці в галузі» / В. Б. Каспрук. - Тернопіль: ТНТУ, 2017. - 14 с.

15. Ali J. Hamad Materials, Production, Properties and Application of Aerated Lightweight Concrete: Review // International Journal of Materials Science and Engineering Vol. 2, No. 2 December 2014

16. Andrews A. (2019). Global Autoclaved Aerated Concrete Market Outlook: Trend and Opportunity Analysis, Competitive Insights, Actionable Segmentation and Forecast 2023, Research Report, Energias Market Research, Buffalo, USA.

17. Jain U., Jain M., & Mandaokar S., (2018). Comparative Study of AAC Blocks and Clay Brick and Costing, International Journal of Research in Engineering, Science and Management, 1(9), 539-543.

18. Kamal Arif M. (2016), Autoclaved Aerated Concrete (AAC): A Sustainable Building Material [Online] Available from <http://www.masterbuilder.co.in/autoclaved-aerated-concrete-aaca-sustainable-building-material/>, accessed on 10 May 2020.

19. Kulbhushan K., Kumar S., Chaudhary R., Ahmad S., Gupta S., & Chaurasia R. (2018). A Contextual Analysis of the Advantages by Using Lightweight Concrete Blocks as Substitution of Bricks, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 5(2), 926-931.

20. Schnitzler S. (2016), Autoclaved Aerated Concrete as a Green Building Material, UC Davis Extension, Switzerland.

21. Kamal, Mohammad Arif. (2020). Analysis of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Blocks with Reference to its Potential and Sustainability. 7. 76-86. 10.5281/zenodo.3950489.

22. Richard, O., Ramli, M. and Al Shareem, K.L. (2013) "Experimental production

of sustainable lightweight foamed

24. S. K.Vaishnav and R.Joshi, Comparative Study to Justify Use of Autoclaved Aerated Blocks over Other Masonry Blocks. International Journal for Scientific Research & Development| Vol. 7, Issue 02, 2019

25. P. Gautam, N. Saxena, Comparison of Autoclaved Aerated Concrete Blocks with Red Bricks, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 2 Issue 10, 2013

26. T.M. Prakash, Dr.B.G. Nareshkumar, Dr. Karisiddappa, Strength and Elastic Properties of Aerated Concrete Blocks (ACBs), International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences. Volume 1, Issue 2, 2013

27. ЗВІТ ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ "ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ВОЛОГОСТІ КОНСТРУКЦІЙНО ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ" / С. Страшук та ін. Київ : М-во регіон. розвитку, буд-ва та житлово-комун. госп-ва України, 2013. 117 с.