

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ТРИДЦЯТЬ ТРИ БАЙ ЮНАКОВ»

Щойно виявлений об'єкт культурної спадщини
(Наказ Головного управління культурної спадщини від 25.06.2011 №10/38-11)

«Будинок, де розміщувались навчальні заклади Валькера, де навчались у прогімназії у 1904-10 рр. Симиренко В.Л., майбутній вчений у галузі садівництва; у 1900-х Архіпенко О.П. та Кавалерідзе І.П.» за адресою: м. Київ, вулиця Коцюбинського Михайла, 12.

Вид робіт: «Реставрація з пристосуванням»

Замовник: ТОВ «ФОРЕНТ-ІНВЕСТ»

Проект: «Реставрація нежитлого будинку (літ.А) із пристосуванням під сучасні потреби на вул. Коцюбинського Михайла, 12 у Шевченківському районі м. Києва» (Пристосування під готель 3*)»



НАУКОВО-ПРОЕКТНА ДОКУМЕНТАЦІЯ

**Том 7
Книга 10**

Розрахунок класу вогнестійкості окремих будівельних конструкцій

01/10-21-НПД-РР.1.2

Київ – 2021 р.

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ТРИДЦЯТЬ ТРИ БАЙ ЮНАКОВ»

Щойно виявлений об'єкт культурної спадщини
(Наказ Головного управління культурної спадщини від 25.06.2011 №10/38-11)

«Будинок, де розмішувались навчальні заклади Валькера, де навчались у прогімназії у 1904-10 рр. Смиринко В.Л., майбутній вчений у галузі садівництва; у 1900-х Архіпенко О.П. та Кавалерідзе І.П.» за адресою: м. Київ, вулиця Коцюбинського Михайла, 12.

Вид робіт: «Реставрація з пристосуванням»

Замовник: ТОВ «ФОРЕНТ-ІНВЕСТ»

Проект: «Реставрація нежитлового будинку (літ.А) із пристосуванням під сучасні потреби на вул. Коцюбинського Михайла, 12 у Шевченківському районі м. Києва» (Пристосування під готель 3*)»



НАУКОВО-ПРОЕКТНА ДОКУМЕНТАЦІЯ

Том 7
Книга 10

Розрахунок класу вогнестійкості окремих будівельних конструкцій

01/10-21-НПД-РР-12

Директор

Жидкова К.С.

Головний архітектор

Карпов А.В.

Архітектор-реставратор,
Науковий керівник

Диховична Н.О.



Київ – 2021 р.

Інв. № об.	Зам. Інв. №
Підпис і дата	

Склад науково-дослідної та науково-проектної документації

Позна-чення ком-плекту	Назва розділу	Позна-чення ком-плекту	Назва комплекту у складі розділу	Марка креслень (доку-ментації)	Примітка
1	2	3	4	5	6
Том 1	Попередні роботи	Книга 1	Вихідна документація Попередні дослідження	ПР	ФОП Жила О.С.
Том 2	Комплексні наукові дослідження	Книга 1	Архітектурний обмір фасадів	АО	ФОП Жила О.С.
		Книга 2	Науково-технологічні дослідження	НТД	ФОП Жила О.С.
		Книга 3	Історико-архівні та бібліографічні дослідження Коротка історична довідка	ІД	ТОВ Консалтинговий центр культурного надбання
		Книга 4	Інженерно-геологічні вишукування	ІГВ	ФОП Пашківський Д.П.
		Книга 5	Інженерні дослідження Обстеження технічного стану конструкцій будівлі	ІНД	ФОП Пашківський Д.П.
		Книга 6	Обмірні креслення. Плани. Розрізи	ОК	
Том 3	Проект	Книга 1	Загальні положення Генеральний план. Архітектурно-будівельні рішення	ЗП, ГП АБ	
		Книга 2	Проект реставрації фасадів	ПРФ	ФОП Жила О.С.
		Книга 4	Конструктивні рішення	КР	ФОП Максимов А.С.
		Книга 5	Технологія виконання робіт	ТВР	ФОП Жила О.С.
		Книга 6	Паспорт опорядження фасадів	ПОФ	ФОП Жила О.С.
		Книга 7	Технологічні рішення	ТХ	
		Книга 8	Захист від шуму	ЗШ	ТОВ «АМТ»
Том 6		Книга 1	Внутрішні мережі водопроводу і каналізації	ВК	ФОП Шекера О.В.
		Книга 2	Опалення і вентиляція	ОВ	
		Книга 3	Електротехнічні рішення	ЕТР	
		Книга 4	Автоматизація комплексна	САД	
Том 7		Книга 1	Системи протипожежного захисту	СПС	ФОП Шекера О.В.
		Книга 2	Система оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей	СО	
		Книга 3	Автоматична система пожежогасіння кухні	АСПГК	
		Книга 4	Система автоматизації та диспетчеризації систем протипожежного захисту. Центральний пункт управління	САДСПЗ	
		Книга 5	Блискавкозахист	БЗ	
		Книга 6	Контроль загазованості	КЗ	
		Книга 7	Розрахунок часу евакуації	РЧЕ	ТОВ «ЦІА «ІПЛД»
		Книга 8	Димовидалення	ДВ	ФОП Шекера О.В.

Зам. Інв. №					Книга 4	пожежогасіння кухні Система автоматизації та диспетчеризації систем протипожежного захисту. Центральний пункт управління	САДСПЗ	ФОП Шекера О.В.				
					Книга 5	Блискавкозахист	БЗ					
Підпис і дата					Книга 6	Контроль загазованості	КЗ					
					Книга 7	Розрахунок часу евакуації	РЧЕ	ТОВ «ЦІА «ІПЛД»				
					Книга 8	Димовидалення	ДВ	ФОП Шекера О.В.				
Інв. №							01/10-21-НПД-СП					
	Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підпис	Дата	Склад науково-дослідної та науково-проектної документації			Стадія	Аркуш	Аркушів
	ГАП		Карпов							П	1	2
	Розробив		Блажесва							ТОВ «Тридцять три бай Юнаков»		
Перевірів		Адонін										
	Н. контр.		Адонін									

		Книга 9	Розрахунок будівлі на стійкість до прогресуючого обвалення внаслідок пожежі	РР.1.4	ТОВ «ЦІА «ШІЛД»
		Книга 10	Розрахунок класу вогнестійкості конструкцій	РР.1.2	ТОВ «ЦІА «ШІЛД»
		Книга 11	Інженерно-технічні заходи цивільного захисту	ІТЗ ЦЗ	ТОВ «ЦІА «ШІЛД»
		Книга 12	Розстановка спеціальної пожежної техніки з метою безпечної евакуації людей з будівлі	РР.1.3	ТОВ «ЦІА «ШІЛД»
Том 8		Книга 1	Системи зв'язку (Радіо, Телефон, Телебачення, Інтернет)	СЗ	ФОП Шекера О.В.
		Книга 2	Системи безпеки (Відеоспостереження, Система охорони, Контроль доступу)	СБ	
Том 9			Основні положення організації реставрації	ОПОР	
Том 10			Оцінка впливу на навколишнє середовище	ОВНС	ТОВ «РЕАЛЕНЕРГО»
Том 11		Книга 1	Зовнішні мережі водопроводу і каналізації	ЗВК	
		Книга 2	Електропостачання. Зовнішнє електроосвітлення	ЕПЗ	
		Книга 3	Зовнішні мережі зв'язку		
Том 12			Дахова котельня	ДК	ТОВ «БРК УКРЕНЕРГОПРОМ»
Том 13			Газопостачання	ГПЗ.ГПВ	ТОВ «БРК УКРЕНЕРГОПРОМ»
Том 14			Індивідуальний тепловий пункт	ІТП	ТОВ «БК Тепле місто»

Інв. № об.	Підпис і дата	Зам. Інв. №				
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підпис	Дата	01/10-21-НПД-СП
						Арк. 2

Замовник: ТОВ «Тридцять три бай Юнаков»

Реставрація нежилого будинку (літ.А) із пристосуванням під сучасні потреби на вул. Коцюбинського Михайла, 12 у Шевченківському районі м. Києва» (Пристосування під готель 3*)

Розрахунок класу вогнестійкості окремих будівельних конструкцій

Том 7, Книга 10

25/2021-РР.1.2

2021



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ЦІА «ШІЛД»

03127, м. Київ, проспект Голосіївський, 93, оф.425, тел.(073) 305 22 16

www.shieldcenter.com.ua, e-mail info@shieldcenter.com.ua, код ЄДРПОУ 40865555

Замовник: ТОВ «Тридцять три бай Юнаков»

Реставрація нежитлого будинку (літ.А) із пристосуванням під сучасні потреби на вул. Коцюбинського Михайла, 12 у Шевченківському районі м. Києва» (Пристосування під готель 3*)

Розрахунок класу вогнестійкості окремих будівельних конструкцій

Том 7, Книга 10

25/2021-РР.1.2

Директор

Ю.О. Ковальова

2021

Позначення	Найменування	Примітка
25/2021-PP.1.2-3М	Зміст	Стор. 2
25/2021-PP.1.2-ВУ	Відомості про розробників	Стор. 3
25/2021-PP.1.2	Реставрація нежитлого будинку (літ.А) із пристосуванням під сучасні потреби на вул. Коцюбинського Михайла, 12 у Шевченківському районі м. Києва» (Пристосування під готель 3*). Розрахунок класу вогнестійкості окремих будівельних конструкцій	Стор. 4

Зам. інв. №										
Підпис і дата										
Інв. №	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	25/2021-PP.1.2-3М			
	Розробив		Поздєєв				Зміст	Стадія	Аркуш	Аркушів
	Перевірів		Добичін							1
								ТОВ «ЦІА «ШІЛД»		

Посада

Ініціали, прізвище

Підпис

Головний науковий співробітник
Черкаського інституту пожежної
безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету
цивільного захисту України
д.т.н., проф.

С.В. Поздєєв

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. №

25/2021-PP.1.2-BY

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата
Розробив		Поздєєв			
Перевірив		Добичін			

Відомості про розробників

Стадія

Аркуш

Аркушів

1

ТОВ
«ЦІА «ІПЛД»

Зміст

ВСТУП	7
1. ОСНОВНІ ПОСИЛАННЯ.....	9
1.1. Основні поняття і термінологія.....	9
1.2. Список основних позначень.....	10
2. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКОВОЇ ОЦІНКИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	12
2.1. Обґрунтування вибору конструкцій для оцінки класу вогнестійкості....	12
2.2. Обґрунтування вимог щодо вогнестійкості елементів будівельних конструкцій об'єкту.....	12
2.3. Навантаження на елементи будівельних конструкцій.....	13
2.4. Загальна постановка задачі і основні положення розрахунку.....	13
2.5. Температурний режим пожежі.....	14
2.6. Математична модель теплопередачі.....	15
2.6.1 Математична модель теплопередачі для перерізів плит та стін.....	15
2.6.2 Математична модель теплопередачі для перерізів колон.....	15
2.7. Методика наближеного розв'язку нестационарного рівняння теплопровідності.....	16
2.7.1 Методика наближеного розв'язку нестационарного рівняння теплопровідності для перерізів плит та стін.....	16
2.7.2 Методика наближеного розв'язку нестационарного рівняння теплопровідності для перерізів колон.....	17
2.8. Граничні умови до теплотехнічної задачі.....	19
2.9. Теплофізичні властивості матеріалів будівельних конструкцій.....	20
2.10. Розрахунок несучої здатності елементів конструкцій.....	21
2.10.1 Теоретичне обґрунтування методики рішення статичної задачі та її математичного апарату.....	21
2.10.2 Механічні та термомеханічні властивості компонентів залізобетону.....	22
2.10.3 Пружно-пластичні властивості бетону в умовах високо-температурного нагрівання.....	22
2.10.4 Пружно-пластичні властивості арматурної сталі в умовах високотемпературного нагрівання.....	23
2.10.5 Зонний метод.....	24
3. ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ДІАФРАГМИ.....	31
3.1. Технічне описання діафрагми.....	31
3.2. Початкові дані до розрахунку.....	31
3.2.1 Розрахункові схеми.....	31
3.2.2 Температурний режим пожежі та механічне навантаження.....	32
3.2.3 Теплофізичні властивості бетону.....	33

Зам. інв. №	2.10.5 Зонний метод..... 24									
	3. ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ДІАФРАГМИ..... 31									
Підпис і дата	3.1. Технічне описання діафрагми..... 31									
	3.2. Початкові дані до розрахунку..... 31									
	3.2.1 Розрахункові схеми..... 31									
	3.2.2 Температурний режим пожежі та механічне навантаження..... 32									
	3.2.3 Теплофізичні властивості бетону..... 33									
Інв. №							25/2021-PP.1.2			
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата				
	Розробив	Поздєєв					Реставрація нежилого будинку (літ.А) із пристосуванням під сучасні потреби на вул. Коцюбинського Михайла, 12 у Шевченківському районі м. Києва» (Пристосування під готель 3*). Розрахунок класу вогнестійкості окремих будівельних конструкцій	Стадія	Аркуш	Аркушів
	Перевірив	Добичін							1	75
								ТОВ «ЦІА «ШІЛД»		

3.2.4	Механічні властивості бетону та арматурної сталі.....	33
3.3.	Результати теплотехнічного розрахунку	33
3.4.	Результати розрахунку несучої здатності.....	34
3.5.	Оцінка класу вогнестійкості залізобетонної діафрагми та відповідності її встановленим вимогам.....	35
4.	ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ПЕРЕКРИТТЯ.....	36
4.1.	Технічне описання залізобетонної плити перекриття.....	36
4.2.	Початкові дані до розрахунку.....	36
4.2.1	Розрахункова схема.....	36
4.2.2	Температурний режим пожежі та механічне навантаження.....	38
4.2.3	Теплофізичні властивості бетону.....	38
4.2.4	Механічні властивості бетону та арматурної сталі.....	38
4.3.	Результати розрахунку за табличним методом.....	38
4.4.	Результати теплотехнічного розрахунку.....	39
4.5.	Результати розрахунку цілісності.....	40
4.6.	Результати розрахунку несучої здатності.....	40
4.7.	Оцінка класу вогнестійкості плити перекриття та відповідності її вимогам будівельних норм.....	45
5.	ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО СХОДОВОГО МАРШУ І ПЛОЩАДКИ.....	47
5.1.	Технічне описання залізобетонного сходового маршу і площадки.....	47
5.2.	Початкові дані до розрахунку.....	47
5.2.1.	Розрахункові схеми.....	47
5.2.2	Температурний режим пожежі та механічне навантаження.....	49
5.2.3	Теплофізичні властивості бетону та граничні умови.....	49
5.2.4	Механічні властивості бетону та арматурної сталі.....	49
5.3.	Результати теплотехнічного розрахунку.....	49
5.4.	Результати розрахунку несучої здатності	50
5.5.	Оцінка класу вогнестійкості залізобетонних сходових маршу і площадки та відповідності їх вимогам будівельних норм.....	53
6.	ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПІЛОНА.....	54
6.1.	Технічне описання залізобетонного пілона.....	54
6.2.	Початкові дані до розрахунку.....	54
6.2.1	Розрахункова схема.....	54
6.2.2	Температурний режим пожежі та механічне навантаження.....	55
6.2.3	Теплофізичні властивості бетону.....	56
6.2.4	Механічні властивості бетону та арматурної сталі.....	56
6.3.	Результати теплотехнічного розрахунку.....	56
6.4.	Результати розрахунку несучої здатності.....	56

Зам. інв. №	6.1. Технічне описання залізобетонного пілона.....					54	
	6.2. Початкові дані до розрахунку.....					54	
	6.2.1 Розрахункова схема.....					54	
	6.2.2 Температурний режим пожежі та механічне навантаження.....					55	
Пішп. і лата	6.2.3 Теплофізичні властивості бетону.....					56	
	6.2.4 Механічні властивості бетону та арматурної сталі.....					56	
	6.3. Результати теплотехнічного розрахунку.....					56	
	6.4. Результати розрахунку несучої здатності.....					56	
Інв. №						25/2021-PP.1.2	Арк
							2
	Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.		Дата

6.5.	Оцінка класу вогнестійкості залізобетонного пілона та відповідності його вимогам будівельних норм.....	57
7.	ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ НЕНЕСУЧОЇ СТІНИ.....	58
7.1	Технічне описання стіни.....	58
7.2	Методика розрахунку.....	58
7.3	Початкові дані до розрахунку.....	59
7.3.1	Розрахункові схеми.....	59
7.3.2	Теплофізичні властивості.....	60
7.4	Результати теплотехнічного розрахунку.....	61
7.5	Результати розрахунку цілісності.....	62
7.6	Оцінка класу вогнестійкості ненесучої стіни та відповідності її вимогам будівельних норм.....	63
8.	ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ НЕСУЧОЇ СТІНИ.....	64
8.1	Технічне описання несучої стіни.....	64
8.2	Початкові дані до розрахунку.....	64
8.2.1	Розрахункові схеми.....	64
8.2.2	Температурний режим пожежі та механічне навантаження.....	65
8.2.3	Теплофізичні властивості.....	66
8.2.4	Механічні властивості бетону та арматурної сталі.....	67
8.3	Результати розрахунку за табличним методом.....	68
8.4	Результати теплотехнічного розрахунку.....	69
8.5	Результати розрахунку цілісності.....	70
8.6	Перевірка результатів розрахунку при застосуванні альтернативного методу.....	70
8.7	Результати розрахунку несучої здатності.....	73
8.8	Оцінка класу вогнестійкості несучої стіни та відповідності її встановленим вимогам.....	75
9.	ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ОБ'ЄКТУ	76
	ЗАКЛЮЧЕННЯ.....	77
	ЛІТЕРАТУРА.....	78

Зам. інв. №	Пішп. і дата	Інв. №									
									25/2021-PP.1.2		Арк
											3
			Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата			

ВСТУП

Об'єктом, що розглядається у даній роботі, є реставрація нежитлової будівлі під готель 3* за адресою: м. Київ, вул. Михайла Коцюбинського, 12 (далі об'єкт). У числі аварійних ситуацій, настання яких імовірно на даному об'єкті, має бути розглянутий випадок виникнення та розвитку пожежі у внутрішньому просторі будівлі. Такий стан зумовлюється високою відповідальністю даного об'єкту. Потрібно зазначити, що об'єкт може бути класифікований з огляду на чинну нормативну базу України щодо його ступеня вогнестійкості. Основною задачею пожежної безпеки будівельних конструкцій об'єкту, рішення якої залежить від вогнестійкості конструкцій, є забезпечення їх функціональної здатності на час, необхідний для локалізації та ліквідації імовірної пожежі. Для цього необхідно забезпечити відповідність будівельних конструкцій II ступеню вогнестійкості згідно із класифікацією за ДБН В.1.1-7:2016.

Для оцінки вогнестійкості конструкцій була використана методика оцінки класу вогнестійкості будівельних конструкцій об'єкту. Згідно із цією методикою визначені елементи, гарантування відповідності яких встановленим вимогам щодо вогнестійкості автоматично забезпечує відповідність інших елементів із менш небезпечним сполученням навантажень, теплового впливу пожежі і геометричної конфігурації.

З огляду на унікальність, масивність та вартість залізобетонних та інших конструкцій об'єкту, їх вогневі випробування є неефективним, оскільки вони передбачають виготовлення по два зразки конструкцій із дотриманням всіх технологій. Зразки досліджуваних елементів є негабаритними і не можуть бути випробувані на обладнанні що наявне у випробувальних центрах України. Це означає, що розрахункова оцінка вогнестійкості даної структури є ефективним підходом щодо вирішення поставленої задачі.

Використані методики базуються на стандартах, гармонізованих із відповідною методичною та нормативною базою об'єднаної Європи, а також узгоджується із результатами досліджень вітчизняних та закордонних авторів, які апробовані, обговорені та визнані науковою спільнотою і входять у основну базу літературних посилань та цитування фахівцями даної галузі. В методиці передбачено застосування декілька можливих підходів, згідно з якими обґрунтовані і детально пророблені відповідні ним послідовності розрахункових процедур. Розрахунок, виконаний за використаною методикою покрокового аналізу дозволив отримати результати, що були перевірені за допомогою альтернативних розрахункових методів, що взяті з тих же рекомендованих відповідним стандартом методів. У звіті наведені результати розрахунку та перевірки цих результатів. Отримані результати використані як підґрунтя для встановлення відповідності класу вогнестійкості досліджуваних елементів встановленим вимогам.

Вся сукупність даних, що містяться у дійсному звіті спрямована на досягнення важливого технічного результату – забезпечення пожежної безпеки

Зам. інв. №								
Підпис і дата								
Інв. №								
							25/2021-PP.1.2	Арк
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата	4		

будівельних конструкцій реставрованої нежитлової будівлі під готель 3* за адресою: м. Київ, вул. Михайла Коцюбинського, 12.

Інв. №	Зам. інв. №					Підпис і дата	Інв. №							25/2021-PP.1.2	Арк
								5							
	Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.			Дата							

1. ОСНОВНІ ПОСИЛАННЯ

1.1. Основні поняття і термінологія

Противопожежна стіна: Стіна, що розділяє 2 простори (зазвичай дві споруди) і запроектована для забезпечення вогнестійкості та конструкційної стійкості, і може включати опір на горизонтальні навантаження такі як, у випадку пожежі та руйнування конструкцій з однієї сторони стіни, розповсюдження вогню за стіну виключається.

Протипожежні стіни 1-го типу, які на всю висоту та ширину (або довжину) будинку відокремлюють одну його частину від іншої, повинні забезпечувати непоширення пожежі в суміжні частини будинку в разі однобічного обвалення конструкцій, що прилягають до цих стін (п. 6.7 ДБН В. 1.1-7:2016); спиратися на фундаменти або на фундаментні балки, перетинати всі конструкції та поверхи будинку (п. 6.7 ДБН В. 1.1-7:2016).

Протипожежні стіни допускається встановлювати безпосередньо на конструкції каркаса будинку, які виконані з негорючих матеріалів. При цьому межа вогнестійкості каркаса разом з його заповненням і вузлами кріплень має бути не меншою за нормовану межу вогнестійкості протипожежної стіни відповідного типу (п. 6.8 ДБН В. 1.1-7:2016).

Межа вогнестійкості визначається часом (у хвиликах) від початку вогневої дії пожежі із стандартним температурним режимом до настання одного з граничних станів конструкції.

Граничним станом елемента конструкції називається стан, що є ознакою настання межі вогнестійкості. Розрізняють три граничні стани із відповідними позначеннями: втрата несучої здатності (R); втрата цілісності (E); втрата теплоізолювальної здатності (I).

Клас вогнестійкості – мінімальний час вогневої дії пожежі із стандартним температурним режимом, що вимагається забезпечити до настання одного з регламентованих граничних станів.

Розрахунковий метод оцінки вогнестійкості – комплекс математичних моделей, що рекомендується у рамках окремого теоретичного підходу, що рекомендована у сучасній нормативній базі України, для одержання комплексу параметрів, на основі яких можна визначити межу і клас вогнестійкості конкретного окремого елемента будівельної конструкції і згодом оцінити на їх основі відповідність даного елемента вимогам нормативних документів.

Максимальний рівень напруження. Рівень напруження, для заданої температури, при якому на діаграмі “напруження - деформація” для компонентів залізобетону, або матеріалу кам’яної кладки відбувається перехід у пластичну стадію

Елемент конструкції. Окрема частина всієї конструктивної системи з відповідними опорами та граничними умовами

Приведений поперечний переріз. Поперечний переріз конструкції при розрахунку на вогнестійкість, що застосовується при використанні методу приведенного поперечного перерізу. Приведений поперечний переріз отримують з залишкового поперечного перерізу шляхом відкидання частин з опором та жорсткістю, що дорівнюють нулю.

Зам. інв. №	основі відповідність даного елементу вимогам нормативних документів.				
	Максимальний рівень напруження. Рівень напруження, для заданої температури, при якому на діаграмі “напруження - деформація” для компонентів залізобетону, або матеріалу кам’яної кладки відбувається перехід у пластичну стадію Елемент конструкції. Окрема частина всієї конструктивної системи з відповідними опорами та граничними умовами Приведений поперечний переріз. Поперечний переріз конструкції при розрахунку на вогнестійкість, що застосовується при використанні методу приведенного поперечного перерізу. Приведений поперечний переріз отримують з залишкового поперечного перерізу шляхом відкидання частин з опором та жорсткістю, що дорівнюють нулю.				
Підпис і дата					
Інв. №					
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп. Дата
25/2021-PP.1.2					Арк
					6

1.2. Список основных позначень

Великі латинські літери

$E_{d,fi}$	розрахунковий результат дії при пожежі;
E_d	розрахунковий результат дії при нормальній температурі;
$R_{d,fi}$	проектний опір при пожежі; $R_{d,fi}(t)$ в даний час t ;
R30 або R60,	...клас (граничний стан) вогнестійкості за несучою здатністю для 30 або 60... хвилин при стандартному вогневому режимі;
E30 або E60,	...клас (граничний стан) вогнестійкості за цілісністю для 30 або 60... хвилин при стандартному вогневому режимі;
I 30 або I 60,	...клас (граничний стан) вогнестійкості за теплоізолювальною здатністю для 30 або 60... хвилин при стандартному вогневому режимі
T	температура [K] (відноситься до θ температура [$^{\circ}\text{C}$]);
X_k	нормативне значення міцнісних чи деформаційних властивостей при нормальних температурах
$X_{d,fi}$	міцнісні або деформаційні властивості при пожежі;

Малі латинські літери

a	осьова відстань арматурної чи попередньо напруженої сталі до найближчої обігріваної поверхні
c	теплоємність матеріалу [Дж/кгК]
$f_{ck}(\theta)$	нормативне значення опору бетону на стиск при температурі θ для заданої деформації
$f_{ck,t}(\theta)$	нормативне значення опору бетону на розтяг при температурі θ для заданої деформації
$f_{pk}(\theta)$	нормативне значення опору попередньо напруженої сталі при температурі θ для температурної деформації
$f_{sk}(\theta)$	нормативне значення опору арматурної сталі при температурі θ для температурної деформації
$K(\theta)=X_k(\theta)/X_k$	коефіцієнт зниження для міцності або деформативності за температури θ
n	$=N_{0Ed,fi}/(A_c f_{cd} + A_s f_{yd}))$ рівень навантаження колони при нормальних температурах
t	тривалість вогневого впливу (хв.)

Малі грецькі літери

$\gamma_{M,fi}$	коефіцієнт надійності за матеріалом при пожежі
η_{fi}	$=E_{d,fi}/E_d$ коефіцієнт зниження, що визначає рівень навантаження при пожежі
μ_{fi}	$=N_{Ed,fi}/N_{Rd}$ коефіцієнт використання при пожежі
$\varepsilon_c(\theta)$	температурна деформація бетону
$\varepsilon_p(\theta)$	температурна деформація попередньо напруженої сталі
$\varepsilon_s(\theta)$	температурна деформація арматурної сталі
$\varepsilon_{s,fi}(\theta)$	деформація арматурної та попередньо напруженої сталі при температурі θ
λ_c	теплопровідність матеріалу

Зам. інв. №	t тривалість вогневого впливу (хв.) <i>Малі грецькі літери</i> $\gamma_{M,fi}$ коефіцієнт надійності за матеріалом при пожежі η_{fi} $=E_{d,fi}/E_d$ коефіцієнт зниження, що визначає рівень навантаження при пожежі μ_{fi} $=N_{Ed,fi}/N_{Rd}$ коефіцієнт використання при пожежі $\varepsilon_c(\theta)$ температурна деформація бетону $\varepsilon_p(\theta)$ температурна деформація попередньо напруженої сталі $\varepsilon_s(\theta)$ температурна деформація арматурної сталі $\varepsilon_{s,fi}(\theta)$ деформація арматурної та попередньо напруженої сталі при температурі θ λ_c теплопровідність матеріалу					
	25/2021-PP.1.2					
Підпис і дата	Арк					
	7					
Інв. №	Зм. Кільк. Арк. №док. Підп. Дата					

$\lambda_{0,fi}$ гнучкість колони при пожежі
 $\sigma_{c,fi}$ стискаюче напруження в бетоні при пожежі
 $\sigma_{s,fi}$ напруження сталі при пожежі
 θ температура (°C)
 θ_{cr} критична температура (°C)

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. №							25/2021-PP.1.2	Арк
										8
			Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

2. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКОВОЇ ОЦІНКИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

2.1. Обґрунтування вибору конструкцій для оцінки класу вогнестійкості

Розгляд елементів будівельних конструкцій здійснюємо вибірково. При цьому має бути розглянуто декілька основних типів елементів конструкцій – несучі стіни, перекриття, колони та сходові марші які повинні відповідати вимозі найбільш небезпечного поєднання жорсткості, навантажень та силових факторів. Вибір конструкцій здійснюємо за такими критеріями:

- несучі, самонесучі та ненесучі стіни - геометричні параметри (найбільша висота, найменша товщина), найбільш небезпечне механічне навантаження, а також матеріал, з якого виготовлена стіна;

- міжповерхові перекриття та покриття - геометричні параметри (найбільша протяжність між опорами та найменша висота поперечного перерізу), найбільш небезпечне механічне навантаження, а також матеріал, з якого виготовлені перекриття та покриття;

- колони – геометричні параметри (найбільша довжина, найменший розмір перерізу), найбільші зосереджена сила та згинальний момент, а також матеріал, з якого виготовлені колони;

- сходові марші – розглядається типовий проліт сходового маршу із найменшими розмірами поперечного перерізу із сходовою площадкою.

Будівля об'єкту відносяться до об'єктів будівництва, що відповідають вимогам щодо вогнестійкості будівельних конструкцій за ДБН В.1.1-7:2016.

2.2. Обґрунтування вимог щодо вогнестійкості елементів будівельних конструкцій об'єкту

До будівельних конструкцій об'єкту висуваються вимоги відповідно до II ступеню вогнестійкості згідно із класифікацією за ДБН В.1.1-7:2016. Враховуючи це, обов'язковій розрахунковій оцінці класу вогнестійкості піддаються елементи що наведені у табл. 2.1. Позначення досліджуваних елементів відповідають прийнятій системі у даному звіті.

Таблиця 2.1

Елементи залізобетонних конструкцій для обов'язкової оцінки класу вогнестійкості

Елемент конструкції	Позн.	Призначення	Необхід. клас вогн.
Діафрагма			
Діафрагма жорсткості	ДМ-1	Діафрагма жорсткості	REI 120
Ненесучі стіни			
Цегляна перегородка	СЦ-1	Внутрішня перегородка	EI 15

Зам. інв. №							
Підпис і дата							
Інв. №							
						25/2021-PP.1.2	
						Арк	
						9	
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

продовження табл. 2.1

Перекриття			
Залізобетонне монолітне перекриття	ПМ-1	Міжповерхове перекриття	REI 45
Колони			
Залізобетонний пілон	КМ-1	Елемент каркасу	R 120
Сходові марші			
Проліт сходового маршу	СМ-1	Сходовий марш типовий	R 60
Сходова площадка	СП-1	Сходова площадка типова	R 60
Несучі стіни			
Несуча залізобетонна стіна	СНЗ-1	Стіна сходової клітки	REI 120

2.3. Навантаження на елементи будівельних конструкцій

Згідно із ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 потрібно використати спрощений підхід, де у загальному випадку розрахункове значення навантаження, що діє під час пожежі визначається за формулою:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d, \quad (2.1)$$

де E_d розрахункове значення відповідного зусилля чи моменту при нормальних температурах;

η_{fi} - коефіцієнт зниження, що визначає рівень навантаження при пожежі.

Коефіцієнт зниження η_{fi} для сполучення навантажень (6.10) в EN 1990 має визначатись за:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \quad (2.2)$$

$Q_{k,1}$ - головне змінне навантаження;

G_k - характеристичне значення постійної дії;

$\gamma_G = 1.35$ - частковий коефіцієнт постійної дії;

$\gamma_{Q,1} = 1.5$ - частковий коефіцієнт змінної дії 1;

ψ_{fi} - частковий коефіцієнт сполучень для циклічних та квазіпостійних значень.

Як спрощення для розрахунків можна прийняти $\eta_{fi} = 0.7$.

2.4. Загальна постановка задачі і основні положення розрахунку

Розрахункова оцінка вогнестійкості, будівельних конструкцій об'єкту має проводитися у такій послідовності.

1. Шляхом розв'язку задачі теплопровідності визначається температурне поле у перерізі елементу конструкції, що дозволяє визначити час досягнення на

Зам. інв. №								Арк
Підпис і дата						25/2021-PP.1.2		10
Інв. №	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

2.6. Математична модель теплопередачі

2.6.1 Математична модель теплопередачі для перерізів плит та стін

Математична модель теплопередачі у цьому випадку добре описана у роботах [1 – 4, 6]. При цьому використовується рівняння теплопровідності у такому вигляді:

$$c(\theta)\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda(\theta)\frac{\partial \theta}{\partial x}\right), \tag{2.4}$$

де $c(\theta) = \rho(\theta)c_p(\theta)$ - питома об'ємна теплоємність

Вираз, який відповідає ГУ III роду на обігрівній поверхні записується у вигляді:

$$-\lambda(\theta)\frac{\partial \theta}{\partial x}\Big|_{x=b} = \alpha_p(\theta_p - \theta_w). \tag{2.5}$$

де θ_p θ_w – температури відповідно пожежного середовища та поверхні елемента з обігрівної сторони.

На не обігрівній поверхні елемента вираз для ГУ III роду записується у вигляді:

$$-\lambda(\theta)\frac{\partial \theta}{\partial x}\Big|_{x=0} = \alpha_n(293 - \theta_n), \tag{2.6}$$

де α_p , α_n – коефіцієнти теплообміну на обігрівній та необігрівній поверхні відповідно.

2.6.2 Математична модель теплопередачі для перерізів колон

Математична модель теплопередачі для круглого перерізу добре описана у роботах [1 – 4, 6]. При цьому використовується рівняння теплопровідності у такому вигляді:

$$c(\theta)\rho(\theta)\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda(\theta)\frac{\partial \theta}{\partial r}\right), \tag{2.7}$$

де $c(\theta) = \rho(\theta)c_p(\theta)$ - питома об'ємна теплоємність

Вираз, який відповідає ГУ III роду на обігрівній поверхні записується у вигляді:

$$-\lambda(\theta)\frac{\partial \theta}{\partial r}\Big|_{x=R} = \alpha_p(\theta_p - \theta_w). \tag{2.8}$$

де θ_p θ_w – температури відповідно пожежного середовища та поверхні елемента з обігрівної сторони.

Зам. інв. №							
	Підпис і дата						
Інв. №							
						25/2021-PP.1.2	Арк
							12
	Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата	

Математична модель теплопередачі для плоского перерізу довільної форми добре описана у роботах [2 – 4]. При цьому використовується рівняння теплопровідності у такому вигляді:

$$c(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right), \quad (2.9)$$

Вираз, який відповідає ГУ III роду на обігрівній поверхні записується у вигляді:

$$-\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial r} \Big|_{r=0} = \alpha_p (\theta_p - \theta_w). \quad (2.10)$$

де θ_p θ_w – температури відповідно пожежного середовища та поверхні елементу з обігрівної сторони;

r – координата у нормальному напрямку до обігрівної поверхні

На не обігрівній поверхні елементу вираз для ГУ III роду записується у вигляді:

$$-\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial r} \Big|_{r=b} = \alpha_n (293 - \theta_n), \quad (2.11)$$

де α_p , α_n – коефіцієнти теплообміну на обігрівній та не обігрівній поверхні відповідно.

b – координата необігрівної поверхні у нормальному напрямку до неї.

2.7. Методика наближеного розв'язку нестационарного рівняння теплопровідності

2.7.1 Методика наближеного розв'язку нестационарного рівняння теплопровідності для перерізів плит та стін

Для чисельного розв'язку рівняння теплопровідності має бути застосований метод кінцевих різниць.

Для рівняння теплопровідності у запису (2.4) при його лінеаризації застосовується інтегро-інтерполяційний метод [4].

Ліва частина рівняння теплопровідності у кінцевих різницях записується у вигляді виразу [4]:

$$c(T) \frac{\partial T}{\partial t} = c \left(\frac{\theta_{i,k} + \theta_{i,k+1}}{2} \right) \cdot \frac{\theta_{i,k+1} - \theta_{i,k}}{\Delta t}. \quad (2.12)$$

Права частина рівняння (2.4) з точністю $0(h^2 + \Delta t)$ у кінцевих різницях має такий вигляд [4]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) = a_x \theta_{i-1,k}^x - (a_x + b_x) \theta_{i,k}^x + b_x \theta_{i+1,k}^x \quad (2.13)$$

Зам. інв. №												
Підпис і дата												
Інв. №												
											Арк	
						25/2021-PP.1.2					13	
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата						

При залежності від температури коефіцієнту теплопровідності останній визначається з використанням інтегро-інтерполяційного методу [4] за такими виразами:

$$a = \frac{\lambda(\theta_{i-1})\lambda(\theta_i)}{(\lambda(\theta_{i-1}) + \lambda(\theta_i))h^2}, \quad b = \frac{\lambda(\theta_{i+1})\lambda(\theta_i)}{(\lambda(\theta_{i+1}) + \lambda(\theta_i))h^2} \quad (2.14)$$

При використанні виразів (2.12) - (2.14) рівняння теплопровідності записується у вигляді рекурентних формул у вузлових точках для $k+1$ -го часового шару попередньо визначеними температурами k -того часового шару. Рекурентні формули записується в неявному вигляді і розв'язуються як нелінійні рівняння.

ГУ III роду у кінцевих різницях записуються у вигляді [4]:

$$\frac{\lambda(\theta_{w_k})\lambda(\theta_{1,k})}{\lambda(\theta_{w_k}) + \lambda(\theta_{1,k})} \cdot \frac{\theta_{w_k} - \theta_{1,k}}{h} + \frac{h \cdot c(\theta_{1,k})}{2 \cdot \Delta t} \cdot (\theta_{1,k} - \theta_{1,k-1}) = \alpha_k (\theta_{1,k} - \theta_{p,k}) \quad (2.15)$$

де θ_p – температура пожежі, що відповідає стандартному температурному режимові і визначається за формулою (2.6);

α – коефіцієнт теплообміну;

$h = 0.02 \div 0.025$ м – крок розбиття перерізу;

$\Delta t = 60$ с – часовий крок.

Часовий і просторовий крок вибирається за умовою збіжності вибраної кінцево-різницевої схеми. Також часовий крок за можливістю вибирається рівним 1 хв, відповідно до контрольного проміжку часу при проведенні вогневих випробувань.

2.7.2 Методика наближеного розв'язку нестационарного рівняння теплопровідності для перерізів колон

Для чисельного розв'язку рівняння теплопровідності застосовується метод кінцевих різниць.

Для рівняння теплопровідності у запису (2.7) при визначенні його коефіцієнтів застосовується інтегро-інтерполяційний метод [4].

Для розв'язку прямої задачі нестационарної теплопровідності має бути застосована підстановка Гудмена:

$$H = \int_0^T c(\theta) d\theta, \quad (2.16)$$

де $Cv(\theta)$ – об'ємна теплоємність, визначувана за формулою:

Зам. інв. №								Арк
Підпис і дата						25/2021-PP.1.2		14
Інв. №	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

$$c(\theta) = \rho(\theta)C_p(\theta).$$

Рівняння теплопровідності у перетвореному вигляді має бути записане:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left[r \cdot k(H(\theta)) \cdot \frac{\partial H}{\partial r} \right], \quad (2.17)$$

$$k(H(\theta)) = \lambda(H(\theta))/c(H(\theta)). \quad (2.18)$$

Кінцево-різнична апроксимація рівняння у запису із застосуванням інтегро-інтерполяційного методу [11] записується у вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial t} &= \frac{H_{k+1,i} - H_{k,i}}{\Delta t}, \\ \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left[r \cdot k(H(\theta)) \cdot \frac{\partial H}{\partial r} \right] &= \frac{1}{r_{k,i} \cdot \Delta r^2} (aH_{k,i-1} - (a+b)H_{k,i} + bH_{k,i+1}), \quad (2.19) \\ \frac{1}{a} &= \frac{1}{r_{i-\frac{1}{2}}} \int_0^{\Delta r} \frac{dr}{k(H(\theta))} = \frac{(k(\theta_{i-1}) + k(\theta_i))\Delta r}{r_{i-\frac{1}{2}} k(\theta_{i-1}) k(\theta_i)}, \quad \frac{1}{b} = \frac{1}{r_{i+\frac{1}{2}}} \int_0^{\Delta r} \frac{dr}{k(H(\theta))} = \frac{(k(\theta_{i+1}) + k(\theta_i))\Delta r}{r_{i+\frac{1}{2}} k(\theta_{i+1}) k(\theta_i)}. \end{aligned}$$

ГУ III роду у кінцевих різницях записуються у вигляді [4]:

$$\frac{\lambda(\theta_{w_k})\lambda(\theta_{1,k})}{\lambda(\theta_{w_k})+\lambda(\theta_{1,k})} \cdot \frac{\theta_{w_k}-\theta_{1,k}}{h} + \frac{h \cdot c(\theta_{1,k})}{2 \cdot \Delta t} \cdot (\theta_{1,k}-\theta_{1,k-1}) = \alpha_k(\theta_{1,k}-\theta_{p,k}) \quad (2.20)$$

де θ_p – температура пожежі, що відповідає стандартному температурному режимові і визначається за формулою (2.3);

α – коефіцієнт теплообміну;

$h \sim 0.02 \div 0.025$ м – крок розбиття перерізу;

$\Delta t = 60$ с – часовий крок.

Часовий і просторовий крок вибирається за умовою збіжності вибраної кінцево-різницевої схеми. Також часовий крок за можливістю вибирається рівним 1 хв, відповідно до контрольного проміжку часу при проведенні вогневих випробувань.

Для чисельного розв'язку рівняння теплопровідності (2.8) нами застосовується метод кінцевих різниць.

Для рівняння теплопровідності у запису (2.9) при визначенні його коефіцієнтів застосовується інтегро-інтерполяційний метод [4].

Ліва частина рівняння теплопровідності у кінцевих різницях записується у вигляді виразу [4]:

$$c(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial t} = c\left(\frac{\theta_{i,k} + \theta_{i,k+1}}{2}\right) \cdot \frac{\theta_{i,k+1} - \theta_{i,k}}{\Delta t}. \quad (2.21)$$

рівним τ хв, відповідно до контрольного проміжку часу при проведенні вогневих випробувань.

Для чисельного розв'язку рівняння теплопровідності (2.8) нами застосовується метод кінцевих різниць.

Для рівняння теплопровідності у запису (2.9) при визначенні його коефіцієнтів застосовується інтегро-інтерполяційний метод [4].

Ліва частина рівняння теплопровідності у кінцевих різницях записується у вигляді виразу [4]:

$$c(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial t} = c \left(\frac{\theta_{i,k} + \theta_{i,k+1}}{2} \right) \cdot \frac{\theta_{i,k+1} - \theta_{i,k}}{\Delta t}. \quad (2.21)$$

Права частина рівняння (2.9) з точністю $0(h^2 + \Delta t)$ у кінцевих різницях має такий вигляд [4]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) = a_x \theta_{i-1,k}^x - (a_x + b_x) \theta_{i,k}^x + b_x \theta_{i+1,k}^x. \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) = a_y \theta_{i-1,k}^y - (a_y + b_y) \theta_{i,k}^y + b_y \theta_{i+1,k}^y. \quad (2.23)$$

При залежності від температури коефіцієнту теплопровідності останній визначається з використанням інтегро-інтерполяційного методу [4] за такими виразами:

$$a = \frac{\lambda(\theta_{i-1})\lambda(\theta_i)}{(\lambda(\theta_{i-1}) + \lambda(\theta_i))h^2}, \quad b = \frac{\lambda(\theta_{i+1})\lambda(\theta_i)}{(\lambda(\theta_{i+1}) + \lambda(\theta_i))h^2} \quad (2.24)$$

При використанні виразів (2.21) - (2.24) рівняння теплопровідності записується у вигляді рекурентних формул у вузлових точках для $k+1$ -го часового шару попередньо визначеними температурами k -того часового шару. Рекурентні формули записується в неявному вигляді і розв'язуються як нелінійні рівняння.

ГУ III роду у кінцевих різницях записуються у вигляді [4]:

$$\frac{\lambda(\theta_{w_k})\lambda(\theta_{1,k})}{\lambda(\theta_{w_k}) + \lambda(\theta_{1,k})} \cdot \frac{\theta_{w_k} - \theta_{1,k}}{h} + \frac{h \cdot c(\theta_{1,k})}{2 \cdot \Delta t} \cdot (\theta_{1,k} - \theta_{1,k-1}) = \alpha_k (\theta_{1,k} - \theta_{p,k}) \quad (2.25)$$

де θ_p – температура пожежі, що відповідає стандартному температурному режимові і визначається за формулою (2.3);

α – коефіцієнт теплообміну;

$h \sim 0.02 \div 0.025$ м – крок розбиття перерізу;

$\Delta t = 60$ с – часовий крок.

Часовий і просторовий крок вибирається за умовою збіжності вибраної кінцево-різничевої схеми. Також часовий крок за можливістю вибирається рівним 1 хв, відповідно до контрольного проміжку часу при проведенні вогневих випробувань.

2.8. Граничні умови до теплотехнічної задачі

При встановленні ГУ важливим є завдання коефіцієнту теплообміну. Нормативами визначено коефіцієнт теплообміну визначати через дві складові – променисту і конвекційну. Промениста складова визначається за законом Стефана-Больцмана:

Зам. інв. №							
Підпис і дата							
Інв. №							
						25/2021-PP.1.2	Арк
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		16

$$\alpha_p = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \frac{(\theta_p + 273)^4 - (\theta_w + 273)^4}{\theta_p - \theta_w}, \quad (2.26)$$

де ε - ступінь чорноти поверхні бетону;

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \text{ К}^4)$ – константа Стефана-Больцмана

Згідно із прийнятими припущеннями маємо ГУ III роду на границях розрахункової області відповідно до вимог ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2, ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2, ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2 та ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2 встановлені параметри даних ГУ, які наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Параметри граничних умов для стін

Параметр	Позн.	Од.вим.	Вел.	Посилання
Обігрівна сторона				
Конвективна складова коефіцієнту теплообміну	α_c	Вт/(м ² ·°C)	25	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2
Ступінь чорноти кам'яної кладки	ε		0.8	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2
Ступінь чорноти бетону			0.7	ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2
Необігрівна сторона				
Коефіцієнт теплообміну		Вт/(м ² ·°C)	9	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2

2.9. Теплофізичні властивості матеріалів будівельних конструкцій

Для розв'язку рівняння теплопровідності потрібно задати температурні залежності теплофізичних характеристик матеріалів стін та плит перекриттів. В табл. 2.3 подані теплофізичні характеристики матеріалів, необхідних для здійснення розрахунку.

Таблиця 2.3

Теплофізичні характеристики матеріалів будівельних конструкцій

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda(\theta)$, Вт/(м·°C)	Об'ємна питома теплоємність, $c_p(\theta) \cdot \rho$, Дж/(м ³ ·°C)	Густина, кг/м ³
Важкий бетон на гранітному заповнювачі ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012		
$2 - 0,2451 \frac{\theta}{100} + 0,0107 \left(\frac{\theta}{100} \right)^2$	900 ρ при 20 °C ≤ θ ≤ 100 °C, (900+(θ - 100)) ρ при 100°C < θ ≤ 200°C, (1000+0,5(θ -100)) ρ при 200°C < θ ≤ 400°C, 1100 ρ при 400°C < θ ≤ 1200°C	2300

Зам. інв. №						
Підпис і дата						
Інв. №						
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата	25/2021-PP.1.2
						Арк
						17

Кладка з керамічної цегли ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:2012		
0,42 при $0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,42+4,7 \cdot 10^{-3}(\theta - 50)$ при $20\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1,26 при $200\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$	564 ρ при $20\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $(1,1 \cdot 10^4 + 13,5(\theta - 100))\rho$ при $100\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $(2,8 \cdot 10^3 + 3,9(\theta - 100))\rho$ при $200\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.	825
Цементно-піщана штукатурка [8]		
1,2	$\rho \cdot 1000$	1800
Сталь ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2012 Eurocode 3		
54 – $3,33 \cdot 10^{-2}\theta$ при $20\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 800\text{ }^{\circ}\text{C}$, 27,3 при $\theta > 800\text{ }^{\circ}\text{C}$.	$425+0,773\theta - 1,69 \cdot 10^{-2}\theta^2 + 2,22 \cdot 10^{-6}\theta^3$ при $20\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $666-13002/(\theta - 738)$ при $600\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 735\text{ }^{\circ}\text{C}$, $545+17820/(\theta - 731)$ при $735\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 900\text{ }^{\circ}\text{C}$, 650 при $900\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$	7850

2.10. Розрахунок несучої здатності елементів конструкцій

2.10.1 Теоретичне обґрунтування методики рішення статичної задачі та її математичного апарату

У загальному випадку розрахунок міцності елементу конструкції під впливом пожежі відбувається у три етапи. Перший етап полягає у встановленні мінімальних меж вогнестійкості, що визначається необхідним класом вогнестійкості елементу. На другому етапі виконується сполучення навантажень на елемент під час пожежі за діючими навантаженнями на елемент у нормальному стані. На третьому етапі визначається відповідність конструктивних параметрів елементу вимогам щодо міцності у даний контрольний момент часу дії пожежі.

Відповідність заданим вимогам щодо вогнестійкості за несучою здатністю встановлюється порівнянням максимального навантаження, що здатний витримувати досліджуваний елемент конструкції із діючим навантаженням у даний контрольний момент часу. Якщо діюче навантаження більше за максимально можливе в цьому випадку вважається що стан втрати несучої спроможності настав. Тобто для збереження відповідним елементом несучої здатності повинна виконуватися умова:

$$E_{d,fi}/R_{d,fi} \leq 1,0 \quad (2.27)$$

де $E_{d,fi}$ - розрахунковий результат дії при пожежі

$R_{d,fi}$ - розрахункова несуча здатність при пожежі

Зам. інв. №							
Підпис і дата							
Інв. №							
						25/2021-PP.1.2	Арк
							18
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

2.10.2 Механічні та термомеханічні властивості компонентів залізобетону

Для розрахунку потрібні механічні властивості компонентів залізобетону. При визначенні міцності бетону та арматурної сталі використовується підхід, який полягає у зменшенні значень властивостей в цілях безпеки.

$$X_{d,fi} = \gamma_{M,fi} X_{k,\theta} \quad (2.28)$$

де: $X_{k,\theta}$ - значення властивостей матеріалу при розрахунках на вогнестійкість, залежних від температури матеріалу;

$\gamma_{M,fi}$ - коефіцієнт надійності відповідних властивостей матеріалу при пожежі (за EN 1992-1-2:2012 потрібно приймати рівним 1,0).

2.10.3 Пружно-пластичні властивості бетону в умовах високо-температурного нагрівання

Для врахування зниження міцності бетону під час його нагрівання початкова міцність помножується на коефіцієнт зниження міцності:

$$f_{ck,t}(\theta) = k_{c,t}(\theta) f_{ck,t}, \quad (2.29)$$

де $k_{c,t}(\theta)$ - коефіцієнт зниження міцності бетону у залежності від температури.

При врахуванні нелінійності деформування бетону застосовується спеціальна діаграма, яка визначається формулами:

$$\begin{aligned} \text{при } 0 < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c1,T}, \quad \sigma(\varepsilon_c) &= \frac{3\varepsilon_c f_{ck,t}(\theta)}{\varepsilon_{c1,T} \left(2 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1,T}} \right)^3 \right)}, \\ \text{при } \varepsilon_{c1,T} < \varepsilon_c < \varepsilon_{cu1,\theta}, \quad \sigma(\varepsilon_c) &= f_{ck,t}(\theta) - \frac{f_{ck,t}(\theta)(\varepsilon_c - \varepsilon_{c1,T})}{\varepsilon_{cu1,t} - \varepsilon_{c1,T}}, \end{aligned} \quad (2.30)$$

ε_c - відносна деформація бетону,

$\varepsilon_{c1,T}$ - відносна деформація, до якої діаграма деформування зростає,

$\varepsilon_{cu1,\theta}$ - гранична відносна деформація.

Дані параметри можна визначити за табл. 2.4.

Зам. інв. №							
Підпис і дата							
Інв. №							
						25/2021-PP.1.2	Арк
							19
	Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата	

продовження табл. 2.5

100	1,00	0,98	1,00	0,72	1,00	0,76
200	1,00	0,92	0,81	0,62	0,90	0,51
300	1,00	0,86	0,61	0,58	0,80	0,62
400	1,00	0,69	0,42	0,52	0,70	0,41
500	0,78	0,26	0,36	0,14	0,60	0,20
600	0,47	0,21	0,18	0,11	0,31	0,15
700	0,23	0,15	0,07	0,09	0,13	0,10
800	0,11	0,09	0,05	0,06	0,09	0,06
900	0,06	0,04	0,04	0,03	0,07	0,03
1000	0,04	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00
1100	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00
1200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Для діаграм деформування арматурної сталі робочі формули мають такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 &\text{при } 0 < \varepsilon_s < \varepsilon_{s0} & \sigma_s &= E_{s,\theta} \varepsilon_s \\
 &\text{при } \varepsilon_{s0} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy} & \sigma_s &= f_{sp,\theta} - c + (b/a)[a^2 - (\varepsilon_{sy} - \varepsilon_s)^2]^{0,5}, \\
 &\text{при } \varepsilon_{sy} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{st} & \sigma_s &= f_{sy,\theta}, \\
 &\text{при } \varepsilon_{st} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s2} & \sigma_s &= f_{sy,\theta} [1 - (\varepsilon_s - \varepsilon_{st})/(\varepsilon_{s0} - \varepsilon_{st})], \\
 &\text{при } \varepsilon_{s2} < \varepsilon_s & \sigma_s &= 0,
 \end{aligned} \tag{2.32}$$

де a, b, c – параметри, визначувані за формулами:

$$\begin{aligned}
 a^2 &= (\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp} + c/E_{s,\theta}), \quad b^2 = c(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})E_{s,\theta} + c^2 \\
 c &= \frac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})^2}{(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})}
 \end{aligned} \tag{2.33}$$

де ε_{sy} – деформація, при якій настає межа текучості,

ε_{st} – деформація, при якій починається спадна ділянка діаграми,

$f_{sp,\theta}$ – границя пропорційності сталі,

$E_{s,\theta}$ – модуль пружності сталі, залежний від температури нагрівання.

2.10.5 Зонний метод

Для розв'язку міцнісної задачі використовується зонний метод. Зонний метод полягає у розділенні перерізу на ушкоджені зони, не здатної опиратися силовій дії механічного навантаження та зони, яка опирається механічним навантаженням на рівні ненагрітого бетону. Даний метод заснований на виконанні наступних процедур.

1. Половина товщини перерізу ділиться на n паралельних зон однакової товщини, де $n \geq 3$.

2. Для кожної з зон визначається середня температура.

Зам. інв. №						
Підпис і дата						
Інв. №						
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	25/2021-PP.1.2
						Арк
						21

$$k(\varphi)f_{sd,fi} = \frac{\sum_i [k_s(\theta_i)f_{sd,i}A_i]}{\sum_i A_i}, \quad (2.40)$$

де $k_s(\theta_i)$ коефіцієнт зниження міцності і-того арматурного стержня;
 $f_{sd,i}$ розрахунковий опір і-того арматурного стержня;
 A_i площа поперечного перерізу і-того арматурного стержня;

Відстань a від розрахункового поперечного перерізу до центру тяжіння арматурної групи розраховується за формулою (2.41).

$$a = \frac{\sum_i [a_i k_s(\theta_i) f_{sd,i} A_i]}{\sum_i [k_s(\theta_i) f_{sd,i} A_i]}, \quad (2.41)$$

де a_i відстань від розрахункового поперечного перерізу до осі і-того арматурного стержня.

Розрахунок згинального моменту поперечного перерізу може виконуватися за такими виразами:

$$M_{u1} = A_{s1} f_{sd,fi}(\theta_m) z, \quad (2.42)$$

$$\omega_k = \frac{A_{s1} f_{sd,fi}(\theta_m)}{b_{fi} d_{fi} f_{cd,fi}(20)}, \quad (2.43)$$

$$M_{u2} = A_{s2} f_{scd,fi}(\theta_m) z', \quad (2.44)$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad (2.45)$$

де A_s загальна площа армування;

$f_{sd,fi}$ розрахунковий опір армування на розтяг;

$f_{scd,fi}$ розрахунковий опір армування на стиск;

ω_k коефіцієнт міцності армування поперечного перерізу при вогневому впливі;

b_{fi} ширина приведенного поперечного перерізу при пожежі;

d_{fi} робоча висота приведенного поперечного перерізу при пожежі;

$f_{cd,fi}(20)$ розрахунковий опір бетону на стиск (при нормальній температурі);

z відстань між розтягнутими арматурними стержнями;

z' відстань від розтягнутого армування до стиснутого армування;

θ_m середня температура арматурного ряду.

Коли вплив моменту оцінюється як показано вище, повна здатність чинити опір моменту обчислюється за такою формулою:

$$M_u = M_{u1} + M_{u2} \quad (2.46)$$

Потім отримане значення порівнюється із моментом, що діє у балці згідно з розрахунковою схемою. Якщо обчислене значення моменту більше, це значить межа вогнестійкості не досягається.

Зам. інв. №						Арк
Підпис і дата						25/2021-PP.1.2
Інв. №						25
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата

Для альтернативної оцінки класу вогнестійкості застосовується метод згідно із додатком ВЗ п. 3.2.

Для вивчення розподілень температури по перерізу сходового маршу нами пропонується розрахункова методика, заснована на розв’язку рівняння теплопровідності із граничними умовами (ГУ) III роду встановлена чинними стандартами України і детально описана у роботах [1 – 4, 6]. Математична модель теплопередачі у цьому випадку добре описана у роботах [1 – 4, 6]. При цьому використовуються рівняння (6) – (9).

Відповідно до обраного методу використана діаграма, що наведена на рис. 2.4.

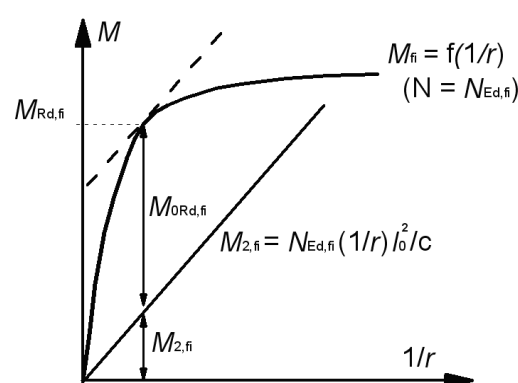


Рис. 2.4. Схема визначення максимального моменту, що здатна витримати досліджувана залізобетонна колона.

Для розрахунку використаний алгоритм, блок-схема якого наведена на рис. 2.5.

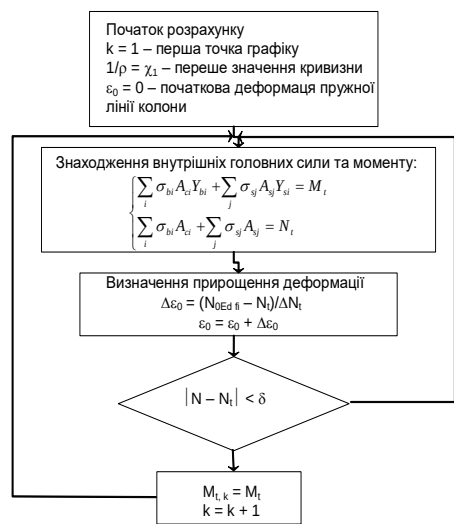


Рис. 2.5. Блок-схема алгоритму визначення найбільшого моменту залізобетонної колони.

Для перевірки розрахункової оцінки залізобетонних колон застосовується табличний метод В відповідно до п. 5.3.3 EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2. Згідно з цим методом за табл. 5.1б EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2 визначаються мінімальні товщина та осьова відстань арматури до обігрівної поверхні для відповідних

```

graph TD
    A{ |N - N_k| < δ } -- Yes --> B[ M_{t,k} = M_t  
k = k + 1 ]
    B -- Loop --> A
  
```

Рис. 2.5. Блок-схема алгоритму визначення найбільшого моменту залізобетонної колони.

Для перевірки розрахункової оцінки залізобетонних колон застосовується табличний метод В відповідно до п. 5.3.3 EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2. Згідно з цим методом за табл. 5.16 EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2 визначаються мінімальні товщина та осьова відстань арматури до обігрівної поверхні для відповідних

Зам. інв. №2		<pre> graph TD A{ N - N_k < δ } -- Yes --> B[M_{t,k} = M_t k = k + 1] B -- Loop --> A </pre>										Арк																								
Підпис і дата		Рис. 2.5. Блок-схема алгоритму визначення найбільшого моменту залізобетонної колони. Для перевірки розрахункової оцінки залізобетонних колон застосовується табличний метод В відповідно до п. 5.3.3 EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2. Згідно з цим методом за табл. 5.16 EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2 визначаються мінімальні товщина та осьова відстань арматури до обігрівної поверхні для відповідних										26																								
Інв. №2		25/2021-PP.1.2										Арк																								
<table> <tr> <td data-bbox="154 2072 229 2107"></td><td data-bbox="229 2072 304 2107"></td><td data-bbox="304 2072 381 2107"></td><td data-bbox="381 2072 458 2107"></td><td data-bbox="458 2072 533 2107"></td><td data-bbox="533 2072 609 2107"></td><td data-bbox="609 2072 684 2107"></td><td data-bbox="684 2072 1469 2107"></td><td data-kind="end"></td><td data-kind="end"></td><td data-kind="end"></td><td data-kind="end"></td><td data-bbox="1469 2072 1530 2107"></td></tr> <tr> <td data-bbox="154 2107 229 2184">Зм.</td><td data-bbox="229 2107 304 2184">Кільк.</td><td data-bbox="304 2107 381 2184">Арк.</td><td data-bbox="381 2107 458 2184">№док.</td><td data-bbox="458 2107 533 2184">Підп.</td><td data-bbox="533 2107 609 2184">Дата</td><td data-bbox="609 2107 1469 2184"></td><td data-kind="end"></td><td data-kind="end"></td><td data-kind="end"></td><td data-kind="end"></td><td data-bbox="1469 2107 1530 2184"></td></tr> </table>														Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата																	
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата																															

елементів. При відсутності відповідного класу вогнестійкості у таблиці означені параметри визначаються шляхом лінійної інтерполяції.

Інв. №	Підпис і дата	Зам. інв. №							25/2021-PP.1.2		Арк
											27
			Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата			

3. ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ДІАФРАГМИ

3.1. Технічне описання діафрагми

Аналізу на вогнестійкість піддається діафрагма для каркасу перекриття. На рис. 3.1 показана конструктивна схема даної діафрагми. Згідно із прийнятою системою позначаємо її ДМ-1.

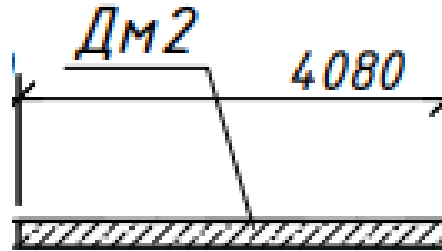


Рис. 3.1. Конструктивна схема діафрагми ДМ-1.

Тепловий вплив пожежі - чотирьохсторонній. Діафрагма з'єднана монолітно із перекриттями.

Згідно із визначеними вимогами клас вогнестійкості залізобетонної діафрагми має відповідати значенню, що наведене у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Необхідний клас вогнестійкості діафрагми

Елемент	Позн.	Призначення	Клас вогне-стійкості
Залізобетонна діафрагма	ДМ-1	Елемент каркасу будинку	REI 120

3.2. Початкові дані до розрахунку

3.2.1 Розрахункова схема

На рис. 3.2 наведена розрахункова схема впливу пожежі на залізобетонну діафрагму.

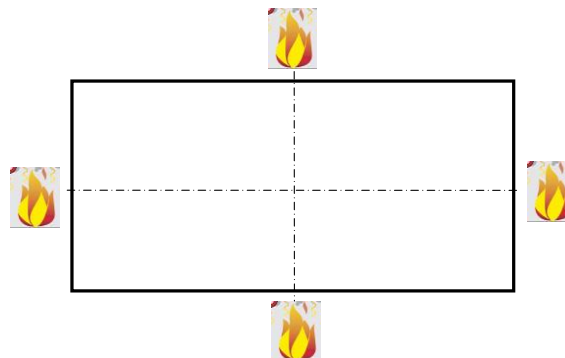


Рис. 3.2. Схема вогневого впливу пожежі на ДМ-1.

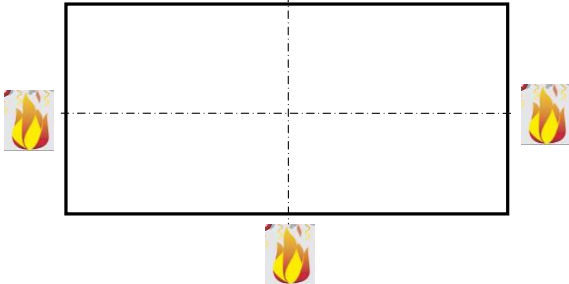
Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. №							Арк				
			Рис. 3.2. Схема вогневого впливу пожежі на ДМ-1.						28				
							25/2021-PP.1.2						
							Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	



Рис. 3.3. Кінцево-різницька схема для теплового розрахунку ДМ-1.

На рис. 3.4 показана розрахункова схема залізобетонної діафрагми, що виготовлена монолітно із плитами перекриттів, що мають спиратися на неї.

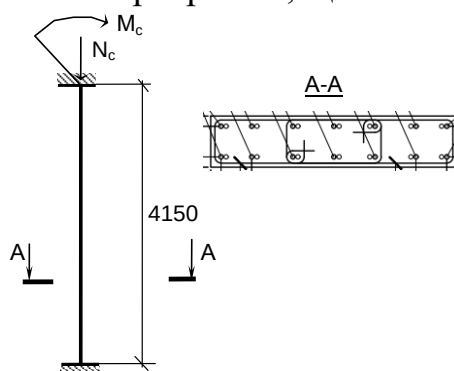


Рис. 3.4. Розрахункова схема ДМ-1.

Враховуючи ці розрахункові схеми, потрібно визначити необхідні параметри для виконання розрахунку. Розрахунок виконується у найбільш небезпечному перерізі у місці, розташованому посередині довжини діафрагми. Згідно із цим розглядаємо розрахункову схему силової взаємодії у серединному перерізі залізобетонної діафрагми за рис. 3.4.

В табл. 3.2. наведені дані щодо арматури та бетону залізобетонної діафрагми.

Таблиця 3.2

Характеристики бетону та арматури залізобетонної діафрагми

Позн.	Параметри роб. арматури	Параметри дод. арматури	Клас бетону
ДМ-1	Ø16 A500C	Ø8 A240C	C25/30

3.2.2 Температурний режим пожежі та механічне навантаження

Згідно із рекомендаціями стандартів, чинних в Україні, для розрахунку використовуємо стандартний температурний режим пожежі, який визначається формулою (2.3).

Згідно із розрахунковою схемою, що надана замовником стиснуті елементи залізобетонних конструкцій навантажені стискальною силою та згинальними моментами у бік найменшого моменту інерції перерізу.

Зам. інв. №								Арк
Підпис і дата						25/2021-PP.1.2		29
Інв. №	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

3.5. Оцінка класу вогнестійкості залізобетонної діафрагми та відповідності її вимогам будівельних норм

Дані п. 3.4 показують, що умова зберігання несучої здатності для залізобетонної діафрагми ДМ-1 під час пожежі виконується, значить вона має необхідний клас вогнестійкості REI 120.

Зам. інв. №							
Підпис і дата							
Інв. №							
						25/2021-PP.1.2	Арк
							32
	Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата	

4. ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ПЕРЕКРИТТЯ

4.1. Технічне описання залізобетонної плити перекриття

У даній роботі оцінюється клас вогнестійкості залізобетонної плити перекриття будівлі, призначення якої та вимоги щодо класу вогнестійкості наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Функціональне призначення та необхідний клас вогнестійкості залізобетонної плити перекриття

Елемент конструкції	Позн.	Призначення	Необхідний клас вогнестійкості
Залізобетонна плита перекриття	ПМ-1	Міжповерхова плита перекриття	REI 45

На рис. 4.1 наведена конструктивна схема та схема армування перерізу даної плити.

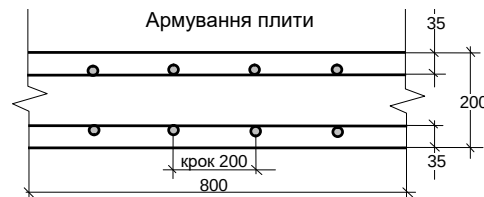


Рис. 4.1. Конструктивна схема фрагменту залізобетонної плити перекриття ПМ-1.

Тепловий вплив пожежі на плити однобічний з нижньої сторони. Спирання плити на стіни та колони є монолітним.

В табл. 4.2. наведені дані щодо арматури та бетону залізобетонної плити.

Таблиця 4.2

Характеристики бетону та арматури залізобетонної плити

Параметри нижньої арматури	Параметри верхньої арматури	Параметри додаткової арматури	Клас бетону
Залізобетонна плита перекриття ПМ-1			
Ø12 A500C	Ø12 A500C	Ø8 A240C	C 25/30

4.2. Початкові дані до розрахунку

4.2.1 Розрахункова схема

Для вивчення розподілень температури по перерізу плити нами використана розрахункова методика, заснована на розв'язку рівняння

Зам. інв. №							
Підпис і дата							
Інв. №							
						25/2021-PP.1.2	
						Арк	
						33	
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

теплопровідності із граничними умовами (ГУ) III роду рекомендована чинними стандартами України і детально описана у роботах [1 – 4, 6]. Крайова задача при цьому була поставлена з використанням розрахункової схеми, яка подана на рис. 4.2.



Рис. 4.2. Розрахункова схема до теплового розрахунку залізобетонної плити.

Також для розрахунку має бути використана кінцево-різницьва схема, що наведена на рис. 4.3.

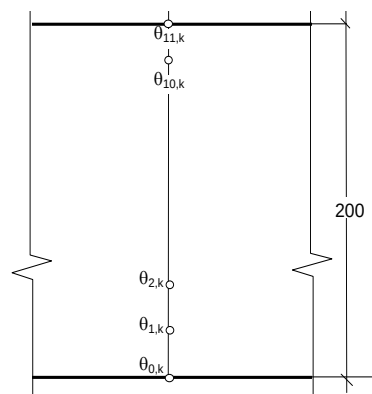


Рис. 4.3. Кінцево-різницьва схема для розв’язку задачі теплопровідності при визначенні температур у перерізі залізобетонної плити ПМ-1.

На рис. 4.4 показана розрахункова схема для залізобетонної плити. При цьому розглядається тільки її фрагмент у вигляді залізобетонної балки, що навантажена розподіленим навантаженням.

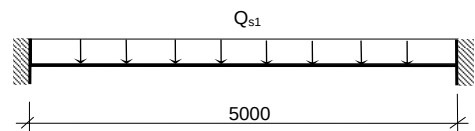
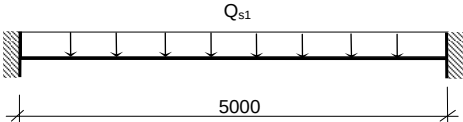


Рис. 4.4. Розрахункова схема залізобетонної плити ПМ-1.

Зам. інв. №							
Підпис і дата							
Інв. №							
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	25/2021-PP.1.2	Арк
							34

На рис. 4.4 показана розрахункова схема для залізобетонної плити. При цьому розглядається тільки її фрагмент у вигляді залізобетонної балки, що навантажена розподіленим навантаженням.



The diagram shows a horizontal beam of length 5000 units, supported at both ends by vertical walls. A uniformly distributed load, represented by a series of downward-pointing arrows, is applied across the entire length of the beam. The load is labeled Q_{s1} above the beam.

Рис. 4.4. Розрахункова схема залізобетонної плити ПМ-1.

4.2.2 Температурний режим пожежі та механічне навантаження

Згідно із рекомендаціями стандартів, чинних в Україні, для розрахунку використовуємо стандартний температурний режим пожежі, який визначається формулою (2.3).

Навантаження на залізобетонну плиту для розв'язку статичної задачі щодо її міцності в умовах пожежі зведене до табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Розрахункове навантаження на залізобетонну плиту

Тип елементу	Тип навантаження	Поз н.	Од. вим.	Вел-на
Залізобетонна плита ПМ-1	Розподілене навантаження	Q_{s1}	кН/м ²	10.5

4.2.3 Теплофізичні властивості бетону

Теплофізичні властивості бетону наведені у п. 2.9.

4.2.4 Механічні властивості бетону та арматурної сталі

Згідно із технічною документацією, що надана замовником, залізобетонна плита ПМ-1 виготовлена з важкого бетону на гранітному заповнювачі класу C25/30 (B30). Арматурний каркас виготовлений з арматурної сталі класу міцності A500C. Згідно з даними вимогами міцнісні властивості бетону та арматурної сталі наведені у табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Міцнісні властивості бетону та арматурної сталі

Матеріал	Клас міцності	Позначення	Нормативна міцність, МПа
Бетон	C25/30	$f_{ck,t}$	25
Арматурна сталь	A500C	$f_{yk,t}$	500

Використовуючи дані щодо міцності, наведені у п. 2.10.2 була побудована діаграма деформування бетону та арматурної сталі. Побудована діаграма наведена на рис. 3.5.

4.3. Результати розрахунку за табличним методом

Відповідно до п. 5.7.2 за табл. 5.9 EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2 визначаються мінімальні товщина та осьова відстань арматури до обігрівної поверхні для плити. При відсутності відповідного класу вогнестійкості у таблиці означені параметри визначаються шляхом лінійної інтерполяції. У табл. 4.5 наведені мінімальні розміри та реальні розміри плити.

Зам. інв. №							
Підпис і дата							
Інв. №							
						25/2021-PP.1.2	Арк
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		35

Таблиця 4.5

Мінімальні розміри та осьові відстані для залізобетонної плити

Стандартна вогнестійкість		Мінімальні розміри (мм) при $l_y/l_x \leq 1,5$	
		Товщина плити, h_s	Осьова відстань між нижнім рядом арматури до поверхні плити a
Залізобетонна плита ПМ-1			
REI 30		60	10
REI 60		80	10
REI 45 (за лін. інтерполяцією)		70	10
Плита (позн.)	Необхідний клас вогнестійкості	Реальні розміри (мм)	
ПМ-1	REI 45	200	35

Згідно із даними табл. 4.5 бачимо, що клас вогнестійкості залізобетонної плити ПМ-1 забезпечений, так як осьова відстань між нижнім рядом арматури до поверхні плити більша за необхідну. Для перевірки вогнестійкості даної плити застосовується альтернативний зонний метод згідно із додатком В 2 EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2.

4.4. Результати теплотехнічного розрахунку

Розрахунок реалізований у програмному середовищі табличного процесору Microsoft Excel 2003. Після проведення розрахунків були отримані температурні розподілення по товщині плити ПМ-1 у контрольний час впливу пожежі.

На рис. 4.5 показані розподіли температури по перерізу залізобетонної плити у час температурного впливу пожежі, на який розрахований їх необхідний клас вогнестійкості.

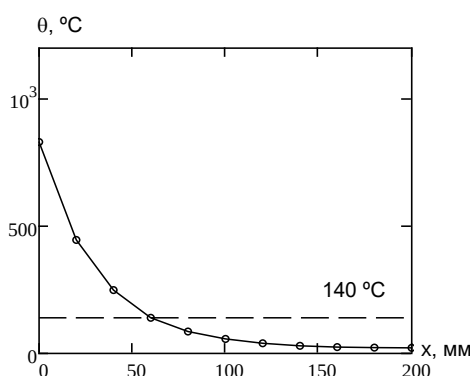


Рис. 4.5. Температурні розподіли по перерізу залізобетонної плити ПМ-1 у час розвитку пожежі 45 хв.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						25/2021-PP.1.2	Арк
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		36

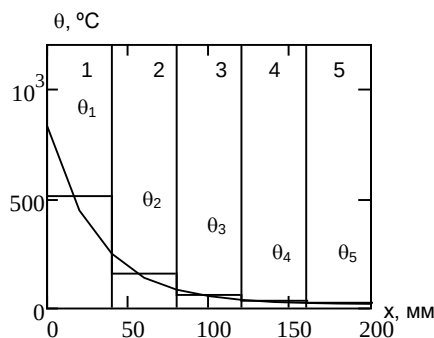


Рис. 4.6. Схема розбиття перерізу залізобетонної плити ПМ-1.

Відповідно до цього у табл. 4.6 подані значення середньої температури кожного шару, на які розбитий переріз залізобетонної плити.

Таблиця 4.6

Коефіцієнти зниження міцності бетону у шарах залізобетонної плити

Номер шару бетону у перерізі плити	1	2	3	4	5
Залізобетонні плити ПМ-1 (час впливу пожежі 45 хв)					
Середня температура шару, θ , °C	508.727	158.368	60.843	31.698	24.203
Коефіцієнт зниження міцності бетону, $k_c(\theta)$	0.587	0.971	1	1	1

Температура арматурних стержнів у відповідний час пожежі із стандартним режимом та відповідні ним коефіцієнти зниження міцності арматурної сталі відповідно до табл. 2.5, визначені шляхом лінійної інтерполяції наведені у табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Коефіцієнти зниження міцності арматурної сталі у залізобетонній плиті

Арматурний каркас	Нижній	Верхній
Залізобетонна плита ПМ-1 (час впливу пожежі 45 хв)		
Температура арматури, θ , °C	298.455	24.406
Коефіцієнт зниження міцності на розтяг, $k_t(\theta)$	0.613	1
Коефіцієнт зниження міцності на стиск, $k_p(\theta)$	1	1
Коефіцієнт зниження модуля пружності, $k_E(\theta)$	0.802	1

Ширина пошкодженої зони перерізу плити розраховується за формулою:

Зам. інв. №							Арк
Підпис і дата							38
Інв. №							25/2021-PP.1.2
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	

$$a_z = w \left[1 - \frac{k_{c,n}}{k_c(\theta_M)} \right]$$

Коефіцієнт $k_{c,n}$ визначається за формулою (2.36).

Таблиця 4.8

Ширина пошкодженої зони перерізу залізобетонної плити

Залізобетонна плита (позначення)	Середній к-т зниження міцності бетону $k_{c,n}$	Ширина пошкодженої зони перерізу, a_z , мм
ПМ-1	0.875	24.983

Згідно із цим для плити ПМ-1 розглядаємо розрахункову схему перерізу, представлену на рис. 4.7 у двох небезпечних перерізах. Для спрощення розрахунку ми розглядаємо тільки її частину із трьома основними арматурними стержнями.

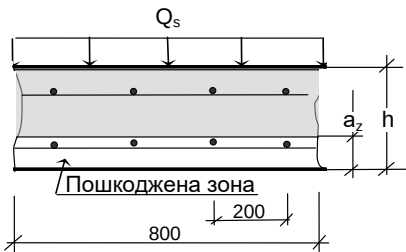


Рис. 4.7. Універсальна розрахункова схема перерізу плити перекриття у перерізі між опорами та у перерізі над опорами.

Визначаємо положення нейтральної вісі у середині прольоту плити та параметри епюри граничних напружень у даному небезпечному перерізі згідно із рис. 4.7. Для цього використовуємо схему, зображену на рис. 4.8.

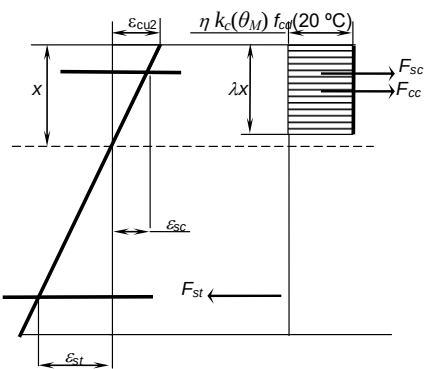


Рис. 4.8. Схема визначення параметрів епюри деформації та граничних напружень у бетоні плити перекриття у першому небезпечному перерізі.

Результат визначення параметрів відповідних до рис. 4.9 для досліджуваної плити наведений у табл. 4.9.

Зам. інв. №						25/2021-PP.1.2	Арк
Підпис і дата						39	
Інв. №							
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

Таблиця 4.9

**Параметри для визначення епюри деформації та граничних напружень у
бетоні плити у першому небезпечному перерізі**

Параметр	ε_{c1}	ε_{st}	ε_{sc}	x , мм	λ	$k_c(\theta_M) f_{cd}(20\text{ }^\circ\text{C})$, МПа	η
Залізобетонна плита ПМ-1 (час впливу пожежі 45 хв)							
Величина	0.004	0.032	-0.003	19.56	0.8	25	0.85

Виходячи з даних, наведених у табл. 4.9, та використовуючи формули (2.42) – (2.46), знаходимо максимальний момент, що може витримати перший небезпечний переріз плити. Результати розрахунку наведені у табл. 4.10.

Таблиця 4.10

**Максимальний момент у першому небезпечному перерізі залізобетонної
плити**

Залізобетонна плита (позначення)	Момент за формулою (2.42), M_{u1}' , кНм	Момент за формулою (2.44), M_{u2}' , кНм	Загальний момент формулою (2.46), M_u' , кНм
ПМ-1	13.16	4.95	18.12

Визначаємо положення нейтральної вісі у перерізі біля опор плити та параметри епюри граничних напружень у даному небезпечному перерізі згідно із рис. 4.7. Для цього використовуємо схему, зображену на рис. 4.9.

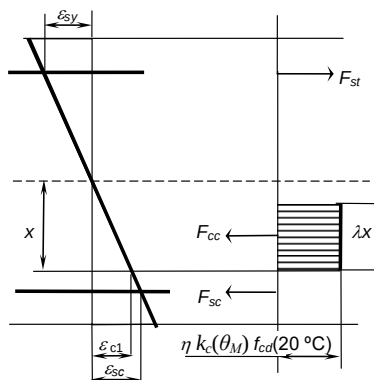


Рис. 4.9. Схема визначення параметрів епюри деформації та граничних напружень у бетоні плити перекриття у другому небезпечному перерізі.

Результати визначення параметрів відповідних, до рис. 4.9 для досліджуваних плит наведені у табл. 4.11.

Зам. інв. №						
Підпис і дата						
Інв. №						
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	25/2021-PP.1.2
						Арк 40

Таблиця 4.11

Параметри для визначення епюри деформації та граничних напружень у бетоні плити у другому небезпечному перерізі

Параметр	ε_{c1}	ε_{st}	ε_{sc}	x , мм	λ	$k_c(\theta_M) f_{cd}(20^\circ\text{C})$, МПа	η
Залізобетонна плита ПМ-1 (час впливу пожежі 45 хв)							
Величина	0.004	0.007	0	10.043	0.8	25	0.85

Виходячи з даних, наведених у табл. 4.11 та використовуючи формули (2.42) – (2.46), знаходимо максимальний момент, що може витримати переріз плити у другому небезпечному перерізі. Результати розрахунку наведені у табл. 4.12.

Таблиця 4.12

Максимальний момент у другому небезпечному перерізі залізобетонної плити

Залізобетонна плита (позначення)	Момент за формулою (2.42), M_{u1}'' , кНм	Момент за формулою (2.44), M_{u2}'' , кНм	Загальний момент формулою (2.46), M_u'' , кНм
ПМ-1	18.44	0	18.44

Загальний момент, що враховує моменти у жорстких защемленнях визначається з використанням епюри згинальних моментів, що наведена на рис. 4.10.

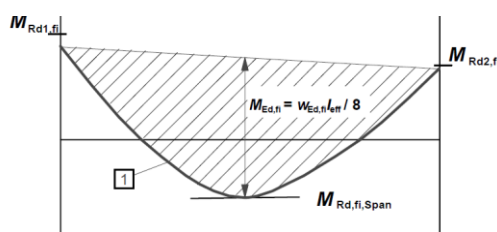


Рис. 4.10. Схема визначення загального моменту жорстко защемленого з обох боків зігнутого елемента.

Згідно із схемою на рис. 4.10 загальний момент визначений за формулою:

$$M_{Rd, fi} = M_{Rd, fi \text{ mid-span}} + M_{Rd, fi, end \text{ sup}}$$

Момент для плити, що визначений за даною формулою, наведений у табл. 4.13.

Таблиця 4.13

Максимальний момент у перерізі залізобетонної плити

Залізобетонна плита	ПМ-1
Максимальний момент, $M_{Rd, fi}$, кНм	36.56

Зам. інв. №	Згідно із схемою на рис. 4.10 загальний момент визначений за формулою:								
	$M_{Rd, fi} = M_{Rd\ fi\ mid-span} + M_{Rd, fi, end\ sup}$								
Підпис і дата	Момент для плити, що визначений за даною формулою, наведений у табл. 4.13.								
	Таблиця 4.13								
Інв. №	Максимальний момент у перерізі залізобетонної плити								
	<table><tr><td>Залізобетонна плита</td><td>ПМ-1</td></tr><tr><td>Максимальний момент, $M_{Rd, fi}$, кНм</td><td>36.56</td></tr></table>						Залізобетонна плита	ПМ-1	Максимальний момент, $M_{Rd, fi}$, кНм
Залізобетонна плита	ПМ-1								
Максимальний момент, $M_{Rd, fi}$, кНм	36.56								
						25/2021-PP.1.2	Арк		
							41		
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата			

Отриманий момент порівнюється із діючим моментом у плиті для визначення виконання умови, при якій зберігається несуча здатність елементу конструкції:

$$M_{Rd, fi} > M_{Ed, fi}$$

У даному випадку для плити ПМ-1 $M_{Rd, fi}$ співпадає із моментом M_u , а момент $M_{Ed, fi}$ визначається за формулою:

$$M_{Ed, fi} = 0.125 \eta_{fi} Q_{s1} b l_x^2.$$

Коефіцієнт зниження η_{fi} для сполучення навантажень (6.10) в EN 1990 має визначатись за формулою:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}},$$

$Q_{k,1}$ – головне змінне навантаження для плити ПМ-1;

G_k – характеристичне значення постійної дії для плити ПМ-1;

$\gamma_G = 1.35$ – частковий коефіцієнт постійної дії;

$\gamma_{Q,1} = 1.5$ – частковий коефіцієнт змінної дії 1;

$\psi_{fi} = 0.5$ – частковий коефіцієнт сполучень для циклічних та квазіпостійних значень.

Отримані дані після порівняння зведені до табл. 4.14.

Таблиця 4.14

Максимальний та діючий момент у перерізі залізобетонної плити

Залізобетонна плита (позначення)	Загальний момент за табл. 4.13, $M_{Rd, fi}$, кНм	Діючий момент за формулою (2.1) $M_{Ed, fi}$, кНм	Виконання умови (2.29)
ПМ-1	36.56	13.563	Виконується

4.7. Оцінка класу вогнестійкості плити перекриття та відповідності її вимогам будівельних норм

Аналізуючи дані, наведені у п. 4.3 та п. 4.4 можна помітити, що температура на необігрівній стороні плити ПМ-1 протягом контрольного часу не досягає значення 140 °С. Це дає нам змогу стверджувати, що клас вогнестійкості досліджуваної залізобетонної плити ПМ-1 є не меншим за необхідний клас, тобто вона за граничним станом втрати теплоізолювальної здатності відповідає вимогам норм щодо її вогнестійкості.

Зам. інв. №							
Підпис і дата							
Інв. №							
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	25/2021-PP.1.2	Арк
							42

Дані, що подані у п. 4.3 та п. 4.5 показують, що коефіцієнт цілісності у контрольний час залізобетонної плити, який не перевищує число 4, дають підґрунтя для ствердження, що клас вогнестійкості залізобетонної плити є не меншим за необхідний клас, тобто вона за граничним станом втрати цілісності відповідає вимогам норм.

Дані п. 4.3 та п. 4.6 показують, що умова зберігання несучої здатності залізобетонної плити ПМ-1 під час пожежі виконується, це означає, що вона відповідає необхідному класу вогнестійкості REI 45.

Зам. інв. №							
	Підпис і дата						
	Інв. №						
						25/2021-PP.1.2	Арк
							43
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		



Рис. 5.2. Розрахункова схема впливу пожежі на сходовий марш СМ-1 та сходову площадку СП-1.

Для розрахунку також необхідно задати початкову температуру розрахункової області та параметри граничних умов. Параметри граничних умов аналогічні до наведених у табл. 2.2.

Для розв’язку задачі теплопровідності за методом кінцевих різниць необхідно задатись початковими даними. Згідно із розробленою методикою були встановлені початкові дані, що відповідають п. 2.6 цієї роботи.

Для рішення задачі теплопровідності при визначення температурних розподілень у перерізах елементів сходового маршу також була складена кінцево-різницева схема, що наведена на рис. 5.3.

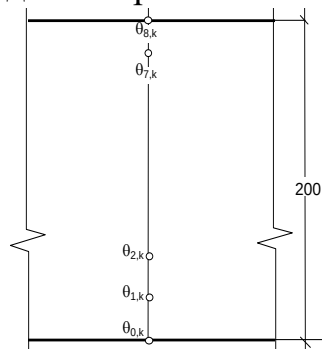


Рис. 5.3. Кінцево-різницева схема для розв’язку задачі теплопровідності при визначенні температур у сходовій площадці СП-1 і марші СМ-1.

На рис. 5.4 показані розрахункові схеми залізобетонного сходового маршу і площадки.

Зам. інв. №	На рис. 5.4 показані розрахункові схеми залізобетонного сходового маршу і площадки.									
Підпис і дата										
Інв. №										
						25/2021-PP.1.2				Арк
										45
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата					

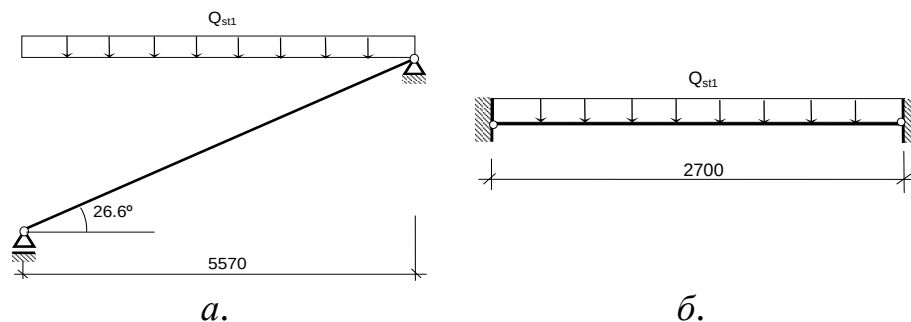


Рис. 5.4. Розрахункові схеми залізобетонного сходового маршу СМ-1 (а), сходової площадки СП-1 (б).

Згідно із схемами на рис. 5.4 залізобетонний сходовий марш розглядається як вільно опертий косоур, а сходові площадки як вільно оперта залізобетонна балка, що працює під дією рівномірно розподіленого навантаження.

5.2.2 Впливи на залізобетонні сходові марші та сходові площадки при пожежі

Згідно із рекомендаціями стандарту ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012, для розрахунку використовуємо стандартний температурний режим пожежі, який визначається формулою: (2.1)

Згідно із ДБН В.1.2-2:2006 та розрахунковою схемою на рис. 5.4 на сходовий марш і площадку діє розподілене навантаження $Q_{st1} = 10.5$ кН/м.

Згідно із EN 1992-1-2:2012 для визначення діючого під час пожежі механічного навантаження використовується спрощений підхід, де у загальному випадку розрахункове значення навантаження, що діє під час пожежі визначається за формулою (3.6).

5.2.3 Теплофізичні властивості бетону та граничні умови

Теплофізичні властивості бетону для розв'язку задачі теплопровідності сходового маршу наведені у п. 2.8 та п. 2.9.

5.2.4 Механічні властивості бетону та арматурної сталі

Згідно із технічною документацією, що надана замовником, залізобетонні сходові марші і площадки виготовлені з важкого бетону на гранітному заповнювачі класу C25/30 (B30). Робоча арматура виготовлена з арматурної сталі класу міцності A500C. Згідно з ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 механічні властивості бетону та арматурної сталі наведені у п. 2.10.3 та п. 2.10.4.

5.3. Результати теплотехнічного розрахунку

Розрахунок реалізований у програмному середовищі табличного процесору Microsoft Excel 2003. Після виконання розрахунку були отримані результати для сходової площадки СП-1 і маршу СМ-1, які представлені на рис.

Зам. інв. №	5.2.4 Механічні властивості бетону та арматурної сталі						
	Згідно із технічною документацію, що надана замовником, залізобетонні сходові марші і площадки виготовлені з важкого бетону на гранітному заповнювачі класу C25/30 (B30). Робоча арматура виготовлена з арматурної сталі класу міцності A500C. Згідно з ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 механічні властивості бетону та арматурної сталі наведені у п. 2.10.3 та п. 2.10.4.						
Підпис і дата	5.3. Результати теплотехнічного розрахунку						
	Розрахунок реалізований у програмному середовищі табличного процесору Microsoft Excel 2003. Після виконання розрахунку були отримані результати для сходової площадки СП-1 і маршу СМ-1, які представлені на рис.						
Інв. №						25/2021-PP.1.2	Арк
							46
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	

5.5 у вигляді графіку температури нагріву контрольних точок у від їх відстані до обігрівної поверхні.

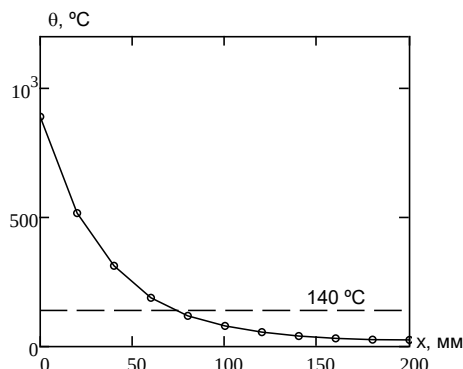


Рис. 5.5. Температурні розподіли по перерізу залізобетонної сходової площадки СП-1 і маршу СМ-1 у момент часу 60 хв.

5.4. Результати розрахунку несучої здатності

Для оцінки класу вогнестійкості сходових маршу застосовуємо зонний метод додатку В2 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012.

Використовуючи результати теплотехнічного розрахунку, які наведені на рис. 5.5 була вирішена статична задача.

За зонним методом розбиваємо переріз сходової площадки і маршу на 5 шарів по їх товщині, як показано на рис. 5.6.

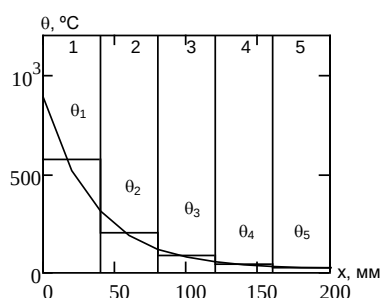


Рис. 5.6. Схема розбиття перерізу сходової площадки СП-1 і маршу СМ-1 на шари для реалізації зонного методу.

У табл. 5.2 та табл. 5.3 подані значення середньої температури кожного шару, на які розбитий переріз залізобетонного сходового маршу та сходової площадки, а також температура арматурних стержнів на 60 хв пожежі із стандартним режимом та відповідні ним коефіцієнти зниження міцності бетону та арматурної сталі відповідно табл. 2.4, табл. 2.5 - визначені шляхом лінійної інтерполяції.

Зам. інв. №												
Підпис і дата												
Інв. №												
											Арк	
						25/2021-PP.1.2					47	
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата							

Таблиця 5.2

**Коефіцієнти зниження міцності бетону у шарах залізобетонних
сходової площадки і маршу**

Номер шару бетону у перерізі сход. маршу	1	2	3	4	5
Сходова площадка СП-1 і марш СМ-1 (на 60 хв. пожежі)					
Середня температура шару, θ , °C	573.499	207.194	85.135	43.152	30.642
Коефіцієнт зниження міцності бетону, $k_c(\theta)$	0.49	0.943	1	1	1

Таблиця 5.3

**Коефіцієнти зниження міцності сталі у арматурних стержнях сходових
площадки і маршу на 60 хв пожежі із стандартним температурним режимом**

Арматурні стержні	Середня значення для арматури нижнього ряду	Середня значення для арматури верхнього ряду
Сходова площадка СП-1 і маршу СМ-1 (на 60 хв. пожежі)		
Температура арматури, θ , °C	364.254	31.035
Коефіцієнт зниження міцності на розтяг, $k_t(\theta)$	0.488	1
Коефіцієнт зниження міцності на стиск, $k_s(\theta)$	1	1
Коефіцієнт зниження модуля пружності, $k_E(\theta)$	0.736	1

Згідно із цим розглядаємо розрахункові схеми перерізу сходових площадки і маршу, представлені на рис. 5.7.

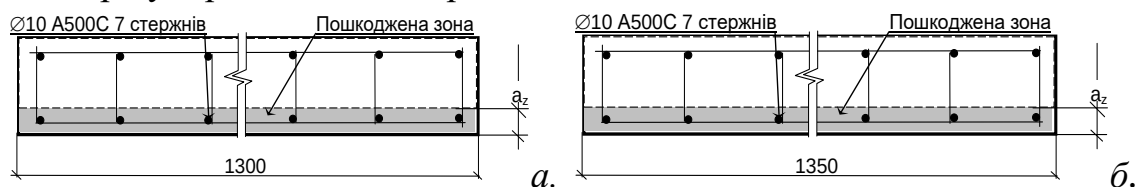
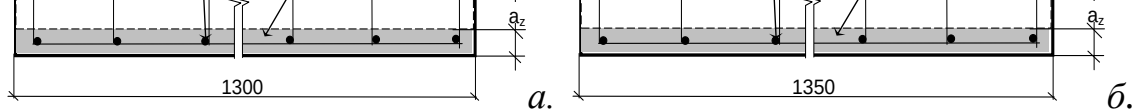


Рис. 5.7. Розрахункова схема перерізу залізобетонних сходового маршу СМ-1 (а) і площадки СП-1 (б).

Згідно із даними, що наведені у табл. 5.2 та формулами (2.36) та (2.37) була визначена товщина пошкодженої зони перерізу залізобетонних сходових площадки і маршу. Форма та розміри пошкодженої зони також наведені на рис. 5.7, а числові значення товщини пошкодженої зони та середнього коефіцієнту зниження міцності наведені у табл. 5.4.

Зам. інв. №						
	Рис. 5.7. Розрахункова схема перерізу залізобетонних сходового маршу СМ-1 (а) і площадки СП-1 (б). Згідно із даними, що наведені у табл. 5.2 та формулами (2.36) та (2.37) була визначена товщина пошкодженої зони перерізу залізобетонних сходових площадки і маршу. Форма та розміри пошкодженої зони також наведені на рис. 5.7, а числове значення товщини пошкодженої зони та середнього коефіцієнту зниження міцності наведені у табл. 5.4.					
Підпис і дата						
Інв. №						
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	25/2021-PP.1.2
Арк						
48						

Таблиця 5.4

Ширина пошкодженої зони перерізу сходових маршу та площадки

Елемент сходового маршу (позначення)	Середній коефіцієнт зниження міцності бетону $k_{c,n}$	Ширина пошкодженої зони перерізу, a_z , мм
СМ-1, СП-1	0.851	29.79

Визначаємо положення нейтральної вісі та параметри епюри граничних напружень у косоурах та балках в небезпечному перерізі посередині між опорами. Для цього використовуємо схему, зображену на рис. 5.8.

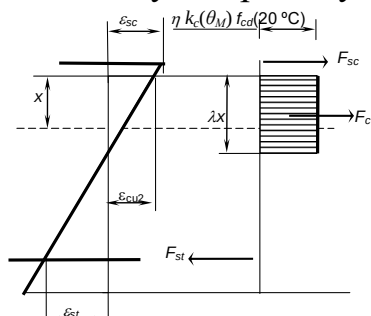


Рис. 5.8. Схема визначення параметрів епюри деформації та граничних напружень у бетоні залізобетонного сходового маршу і площадки.

Параметри, відповідні до рис. 5.8, мають значення, наведені у табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Параметри для визначення епюри деформації та граничних напружень у бетоні залізобетонних сходових площадки і маршу посередині між опорами

Параметр	ε_{c1}	ε_{st}	ε_{sc}	x , мм	λ	$k_c(\theta_M) f_{cd}(20\text{ }^\circ\text{C})$, МПа	η
Сходова площадка СП-1 (на 60 хв. пожежі)							
Величина	0.0035	0.134	-0.021	5.082	0.8	25	0.85
Сходовий марш СМ-1 (на 60 хв. пожежі)							
Величина	0.0035	0.129	-0.02	5.277	0.8	25	0.85

Виходячи з даних, наведених у табл. 5.5, та використовуючи формули (2.44) – (2.48), знаходимо максимальний момент, що може витримати переріз маршу та площадки. Результати розрахунку наведені у табл. 5.6.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						25/2021-PP.1.2	Арк
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		49

Таблиця 5.6

Максимальні моменти у перерізі залізобетонних сходових площадки і маршу

Елемент сходового маршу (позначення)	Момент пари ст. зона бетону - нижня арматура, M_{u1}'' , кНм	Момент пари нижн. арм. ряд - верх. арм. ряд, M_{u2}'' , кНм	Загальний момент M_u , кНм
СП-1	19.01	0	19.01
СМ-1	19	0	19

У даному випадку для елементів СМ-1 та СП-1 $M_{Rd,fi}$ співпадає із моментом M_u , а момент $M_{Ed,fi}$ визначається за формулою:

$$M_{Ed,fi} = 0.125 \eta_{fi} Q_s l_p^2 \quad (5.1)$$

де l_p – робоча довжина елемента.

Отримані дані після порівняння зведені до табл. 5.7.

Таблиця 5.7

Максимальні та діючі моменти у перерізі залізобетонних сходових площадки і маршу

Елемент залізобетонного сходового маршу (позначення)	Загальний момент, M_u , кНм	Діючий момент за формулою (5.1) $M_{Ed,fi}$, кНм	Виконання умови міцності
СП-1	19.01	3.955	Виконується
СМ-1	19	16.831	Виконується

5.5. Оцінка класу вогнестійкості залізобетонних сходових маршу і площадки та відповідності їх вимогам будівельних норм

Дані п. 5.4 та п. 5.5 показують, що умова зберігання несучої здатності елементами залізобетонних сходових маршу і площадки СМ-1, СП-1 під час пожежі виконується. Вимоги щодо несучої здатності сходових маршу СМ-1 та площадки СП-1 виконуються і вони відповідають класу вогнестійкості R 60.

Таким чином, встановлено, що клас вогнестійкості для сходових маршу СМ-1 та площадки СП-1 R 60 забезпечений.

Зам. інв. №								
	Підпис і дата							
Інв. №								
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	25/2021-PP.1.2	Арк
								50

6. ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПІЛОНА

6.1. Технічне описання залізобетонного пілона

Аналізу на вогнестійкість піддається залізобетонний пілон для каркасу перекриття. На рис. 6.1 показана конструктивна схема даного пілона, а також схема його армування. Згідно із прийнятою системою позначаємо його КМ-1.

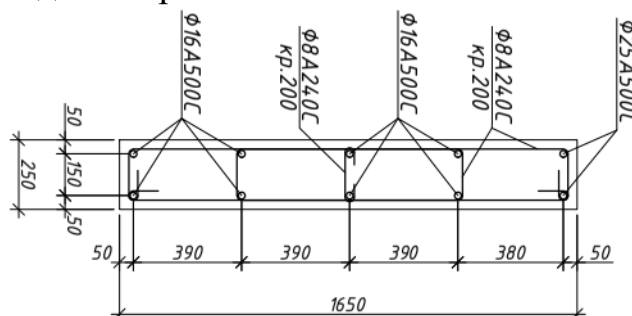


Рис. 6.1. Конструктивна схема пілону КМ-1.

Тепловий вплив пожежі - чотирьохсторонній. Пілон з'єднаний монолітно із перекриттями.

Згідно із визначеними вимогами клас вогнестійкості залізобетонного пілона має відповідати значенню, що наведене у табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Необхідний клас вогнестійкості пілона

Колона	Позн.	Призначення	Клас вогнестійкості
Залізобетонний пілон	КМ-1	Елемент каркасу будинку	REI 120

6.2. Початкові дані до розрахунку

6.2.1 Розрахункова схема

На рис. 6.2 наведена розрахункова схема впливу пожежі на залізобетонний пілон.

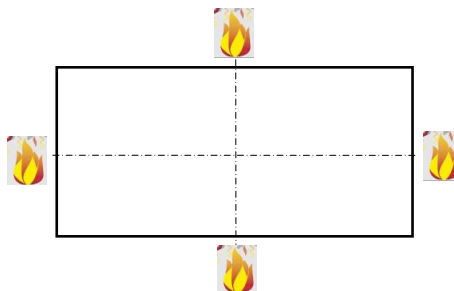


Рис. 6.2. Схема вогневого впливу пожежі на пілон КМ-1.

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. №

						25/2021-PP.1.2	Арк
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		51



Рис. 6.3. Кінцево-різницька схема для теплового розрахунку пілона КМ-1.

На рис. 6.4 показана розрахункова схема залізобетонного пілона, що виготовлений монолітно із плитами перекриттів, що мають спиратися на нього.

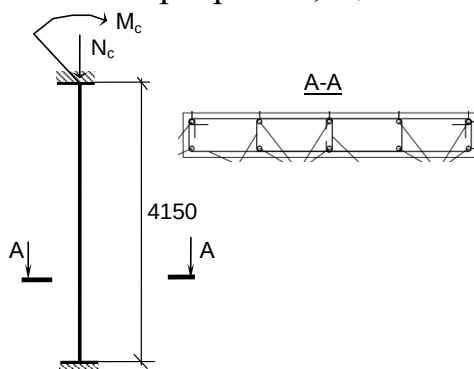


Рис. 6.4. Розрахункова схема залізобетонного пілона КМ-1.

Враховуючи ці розрахункові схеми, потрібно визначити необхідні параметри для виконання розрахунку. Розрахунок виконується у найбільш небезпечному перерізі у місці, розташованому посередині довжини колони. Згідно із цим розглядаємо розрахункову схему силової взаємодії у серединному перерізі залізобетонного пілона за рис. 6.4.

В табл. 6.2. наведені дані щодо арматури та бетону залізобетонного пілона.

Таблиця 6.2

Характеристики бетону та арматури залізобетонного пілона

Позн.	Параметри роб. арматури	Параметри дод. арматури	Клас бетону
КМ-1	Ø16A500C	Ø8 A240C	C25/30

6.2.2 Температурний режим пожежі та механічне навантаження

Згідно із рекомендаціями стандартів, чинних в Україні, для розрахунку використовуємо стандартний температурний режим пожежі, який визначається формулою (2.3).

Згідно із розрахунковою схемою, що надана замовником стиснуті елементи залізобетонних конструкцій навантажені стискальною силою та згинальними моментами у бік найменшого моменту інерції перерізу.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						25/2021-PP.1.2	Арк
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		52

Навантаження на даний елемент наведене у табл. 6.3.

Таблица 6.3

Розрахункові навантаження на залізобетонний пілон

Тип елементу	Тип навантаження	Позн.	Од. вим.	Величин а
Залізобетонний пілон КМ-1	Зосереджена сила	N_c	кН	5000
	Згинальний момент	M_c	кНм	42

6.2.3 Теплофізичні властивості бетону

Теплофізичні властивості бетону для розв'язку задачі теплопровідності залізобетонного пілона наведені у табл. 2.3.

6.2.4 Механічні властивості бетону та арматурної сталі

Згідно із технічною документацією, що надана замовником, залізобетонний пілон КМ-1 виготовлений з важкого бетону на гранітному заповнювачі класу С25/30. Робоча арматура виготовлена з арматурної сталі класу міцності А500С. Згідно з даними вимогами механічні властивості бетону та арматурної сталі наведені у табл. 2.4, табл. 2.5 та рис. 3.5.

6.3. Результати теплотехнічного розрахунку

Розрахунок реалізований у програмному середовищі табличного процесору Microsoft Excel 2003.

На рис. 6.5 наведені розподілення температури по перерізу залізобетонного пілона КМ-1 на 120 хв розвитку пожежі відповідно.

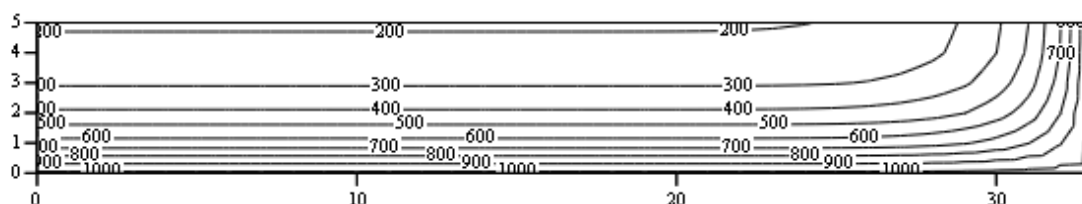


Рис. 6.5. Температурні розподіли у симетричній четверті пілона КМ-1 на 120 хв розвитку пожежі (°C).

6.4. Результати розрахунку несучої здатності

Для оцінки класу вогнестійкості застосовується метод згідно із додатком В3 п. 3.2. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2. Даний метод описаний у п. 2.10.5. Згідно із цим методом будується графік максимального моменту у колоні, що досліджується із використанням діаграм деформування.

Побудований графік моменту від кривизни для пілона КМ-1 наведений на рис. 6.6.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	Рис. 6.5. Температурні розподіли у симетричній четверті пілона КМ-1 на 120 хв розвитку пожежі (°C).
Інв. №	6.4. Результати розрахунку несучої здатності Для оцінки класу вогнестійкості застосовується метод згідно із додатком В3 п. 3.2. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2. Даний метод описаний у п. 2.10.5. Згідно із цим методом будується графік максимального моменту у колоні, що досліджується із використанням діаграм деформування. Побудований графік моменту від кривизни для пілона КМ-1 наведений на рис. 6.6.

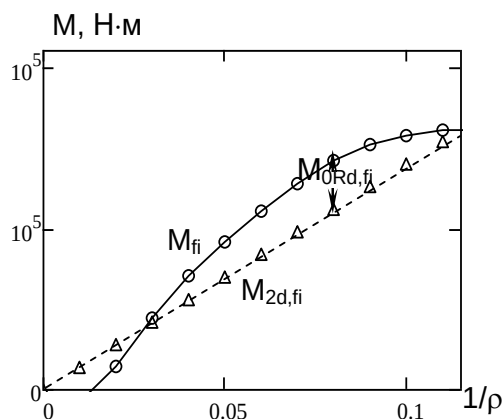


Рис. 6.6. Результати розрахунку максимального моменту у залізобетонному пілоні КМ-1 у час розвитку пожежі 120 хв зі стандартним температурним режимом.

Визначаємо виконання умови зберігання несучої здатності за формулою:

$$M_{Rd,fi} > M_{Ed,fi} \quad (6.1)$$

Для цього використані дані, наведені на рис 6.6 та величини діючих моментів, що визначені за формулою:

$$M_{Ed,fi} = \eta_{fi} M_d \quad (6.2)$$

де M_d розрахункове значення відповідного моменту при нормальних температурах за табл. 6.3;

$\eta_{fi} = 0.7$ - коефіцієнт зниження, що визначає рівень навантаження при пожежі. Отримані результати наведені у табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Максимальний момент у перерізі залізобетонного пілона

Залізобетонний елемент (позн.)	Макс. момент за рис. 6.6, $M_{Rd,fi}$, кНм	Момент за ф-лою (6.2), $M_{Ed,fi}$, кНм	Виконання умови (6.1)
Пілон КМ-1	30.16	27.3	Виконується

Таким чином можна зробити висновок, що для залізобетонного пілона КМ-1 клас вогнестійкості REI 120 забезпечений.

6.5. Оцінка класу вогнестійкості залізобетонного пілона та відповідності його вимогам будівельних норм

Дані п. 6.4 показують, що умова зберігання несучої здатності для залізобетонного пілона КМ-1 під час пожежі виконується, значить він має необхідний клас вогнестійкості REI 120.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						25/2021-PP.1.2	Арк
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		54

7. ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ НЕНЕСУЧОЇ СТІНИ

7.1 Технічне описання стіни

Досліджувана стіна не має навантажень з боку опорного вузла і не є несучою. Дана стіна зводиться на залізобетонних плитах перекриття та на монолітних залізобетонних силових плитах по ґрунту. Матеріалом стіни є кладка з керамічної цегли на цементно-піщаному будівельному розчині. На рис. 7.1 показана конструкція досліджуваної стіни.

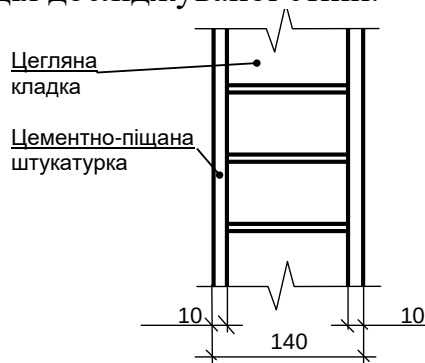


Рис. 7.1. Конструктивна схема ненесучої стіни СЦ-1.

Відповідно до вимог стандартів встановлений клас вогнестійкості для даної стіни. Визначений клас вогнестійкості поданий у табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Функціональне призначення та необхідний клас вогнестійкості ненесучої стіни

Елемент конструкції	Позн.	Призначення	Необхідний клас вогнестійкості
Ненесуча цегляна стіна	СЦ-1	Перегородка	EI 15

7.2. Методика розрахунку

Для вивчення розподілень температури по перерізу стіни нами пропонується розрахункова методика, заснована на розв'язку рівняння теплопровідності із граничними умовами (ГУ) III роду встановлена чинними стандартами України і детально описана у роботах [1 – 4, 6].

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-4-98*, ДБН В.1.1-7-2002, ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:2012 критерій теплоізолювальної здатності вважається забезпеченим, коли підвищення середньої температури по всій необігрівній поверхні обмежене 140°C, а підвищення максимальної температури у будь-якій точці поверхні не перевищує 180 °C. Тому будемо вважати, коли температура на необігрівній поверхні досягає температури 140 °C настає граничний стан втрати теплоізолювальної здатності. Якщо за контрольний час 15 хв стан втрати теплоізолювальної здатності не настає, це означає що за цим станом зовнішня стіна, або залізобетонна плита перекриття відповідає класу вогнестійкості I 15.

Зам. інв. №								Арк
Підпис і дата						25/2021-PP.1.2		55
Інв. №	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

У випадку стіни із керамічної цегли чинними стандартами не регламентується розрахунок цілісності. Такий стан зумовлений тим, що відпалена керамічна цегла ефективно опирається розтріскуванню під тепловою дією пожежі. Найбільш небезпечним місцем в кам'яній кладці з керамічної цегли є шви з будівельного розчину. Умовою зберігання несучої спроможності є зберігання цілісності швів. Оскільки стіна не є навантаженою, це означає, що втрата цілісності і втрата несучої здатності протягом відповідного часу не відбувається і вважається такою, що забезпечена апіорно.

7.3.1. Розрахункові схеми

Номинальна дія пожежі (стандартний темп. режим)

The diagram illustrates a three-layer fire protection structure. The layers are defined by their thicknesses: 10 units for the left layer, 140 units for the middle layer, and 10 units for the right layer. The horizontal axis is labeled x . The left side of the structure is subjected to 'Конвекція + випромінювання' (Convection + radiation), indicated by arrows and a small fire icon. The right side is subjected to 'Конвекція + випромінювання охолодження' (Convection + radiation cooling), indicated by arrows and a wavy line. The material properties for each layer are listed in the center:

- Left layer (10 units): $\lambda_1(\theta)$, $c_{P1}(\theta)$, $\rho_1(\theta)$
- Middle layer (140 units): $\lambda_M(\theta)$, $c_{PM}(\theta)$, $\rho_M(\theta)$
- Right layer (10 units): $\lambda_2(\theta)$, $c_{P2}(\theta)$, $\rho_2(\theta)$

Згідно із розробленою методикою для визначення температурного розподілення у перерізі стіни використаний метод кінцевих різниць. Для його реалізації була складена розрахункова схема, подана на рис. 7.3.

						25/2021-PP.1.2	Арк
							56
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

Для розрахунку також необхідно задати початкову температуру розрахункової області та параметри граничних умов. Параметри граничних умов наведені у табл. 7.2.



Рис. 7.3. Кінцево-різницева схема для розв'язку задачі теплопровідності при визначенні температур у перерізі ненесучої стіни СЦ-1.

Таблиця 7.2

Параметри граничних умов для цегляних стін

Параметр	Позн.	Од.вим.	Вел.	Посилання
Обігрівна сторона				
Конвективна складова коефіцієнту теплообміну	s	Вт/(м ² °C)	25	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012
Ступінь чорноти			0,8	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012
Необігрівна сторона				
Коефіцієнт теплообміну		Вт/(м ² °C)	9	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012

Для розв'язку задачі теплопровідності за методом кінцевих різниць необхідно задатись початковими даними. Згідно із розробленою нами методикою нами були встановлені початкові дані, відповідні п. 2.6 дійсної роботи.

7.3.2. Теплофізичні властивості

Для розв'язку рівняння теплопровідності потрібно задати температурні залежності теплофізичних характеристик матеріалів стіни. В табл. 7.3 подані теплофізичні характеристики матеріалів необхідних для здійснення розрахунку.

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. №							25/2021-PP.1.2	Арк	
											57
			Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата			

Таблиця 7.3

Теплофізичні характеристики матеріалів цегляних стін

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda(\theta)$, Вт/(м·°С)	Об'ємна питома теплоємність, $c_p(\theta) \cdot \rho$, Дж/(м³·°С)	Густина, кг/м³
Кладка з керамічної цегли ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:2012		
0,42· при $0^\circ\text{C} \leq \theta \leq 20^\circ\text{C}$, 0,42+4,7·10 ⁻³ ($\theta - 50$) при $20^\circ\text{C} < \theta \leq 200^\circ\text{C}$, 1,26 при $200^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C}$	564ρ· при $20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C}$, (1,1·10 ⁴ +13,5($\theta - 100$))ρ при $100^\circ\text{C} \leq \theta \leq 200^\circ\text{C}$, (2,8·10 ³ +3,9($\theta - 100$))ρ при $200^\circ\text{C} \leq \theta \leq 1200^\circ\text{C}$.	825
Цементно-піщана штукатурка [8]		
1,2	ρ·1000	1800
Мінераловатна плита [8]		
0,081	0,081	0,081

На рис. 7.4 подані графіки температурних залежностей теплофізичних характеристик кладки з керамічної цегли.

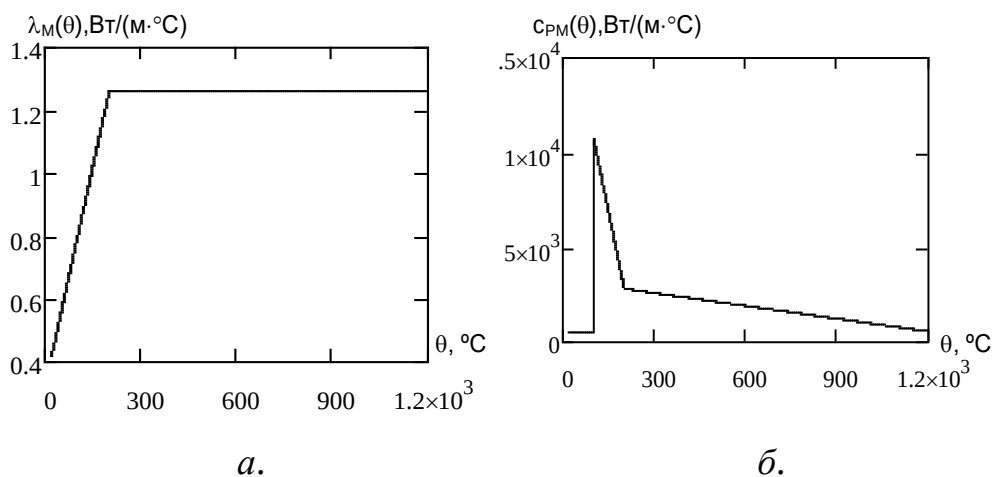


Рис. 7.4. Теплофізичні характеристики кладки з керамічної цегли: *а* – коефіцієнт теплопровідності; *б* – питома теплоємність.

7.4. Результати теплотехнічного розрахунку

Розрахунок реалізований у програмному середовищі табличного процесору Microsoft Excel 2003. Після виконання розрахунку були отримані результати, які представлені на рис. 7.5 у вигляді графіку температури нагріву контрольних точок у залежності від часу пожежі.

Зам. інв. №								Арк
Підпис і дата						25/2021-PP.1.2		58
Інв. №	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

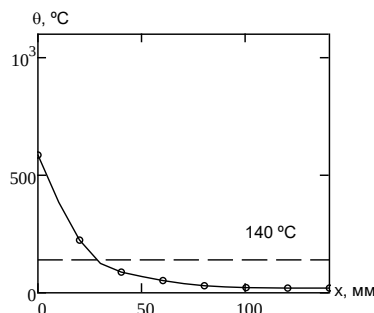


Рис. 7.5. Температурні розподіли по перерізу стіни СЦ-1 на 15 хв розвитку пожежі відповідно.

Аналізуючи дані, подані на графіку рис. 7.5, можна помітити, що температура на необігрівній стороні стіни протягом контрольного часу для досліджуваної стіни не досягає значення 140 °С. Це дає нам змогу стверджувати, що клас вогнестійкості даної стіни є не меншим за необхідний за табл. 7.1, тобто вона за граничним станом втрати теплоізолювальної здатності відповідає вимогам норм.

7.5. Результати розрахунку цілісності

Втрата цілісності настає у той час, коли утворюються наскрізні отвори або тріщини через які можуть поширюватись продукти горіння, полум'я і т.п. Стан втрати цілісності контролюється за трьома ознаками: загорання або тління зі свіченням ватного тампона, що піднесений до необігрівної поверхні зразка в місця тріщин на відстань від 20 мм до 30 мм протягом проміжку часу не менше ніж 30 с; виникнення тріщини, через яку можна вільно (без додаткових зусиль) ввести в піч щуп діаметром 6 мм і перемістити його вздовж цієї тріщини на відстань не менше 150 мм; виникнення тріщини (або отвору), через яку можна вільно ввести в піч щуп діаметром 25 мм; полум'я на необігрівній поверхні зразка спостерігається протягом проміжку часу не менше ніж 10 с.

Для визначення класу вогнестійкості досліджуваних стін застосовується табличний метод згідно із табл. N.B.1.1. за ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:2012 і табл. N.B.4.1 за ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:2005. Отримані дані наведені у табл. 7.4.

Таблиця 7.4

Мінімальний розмір товщини стіни для ненесучої стіни

Стандартна вогнестійкість	Мінімальні розміри (мм)
	Товщина стіни w_s
Ненесуча стіна СЦ-1 (односторонній вплив)	
EI 60	100 (без штукатурки)
Необхідний клас вогнестійкості	Реальні розміри (мм)
	EI 15
	120 (без штукатурки)

Зам. інв. №							Таблиця 7.4			
Підпис і дата							Мінімальний розмір товщини стіни для ненесучої стіни			
	Стандартна вогнестійкість			Мінімальні розміри (мм)						
				Товщина стіни w_s						
	Ненесуча стіна СЦ-1 (односторонній вплив)									
	EI 60			100 (без штукатурки)						
	Необхідний клас вогнестійкості			Реальні розміри (мм)						
	EI 15			120 (без штукатурки)						
Інв. №										
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	25/2021-PP.1.2		Арк	
									59	

Дані табл. 7.4 показують, що клас вогнестійкості досліджуваної стіни забезпечений. Тож клас вогнестійкості стіни не менший за необхідний за табл. 7.1, що відповідає встановленим вимогам.

7.6. Оцінка класу вогнестійкості ненесучої стіни та відповідності її вимогам будівельних норм

За даними, які отримані у п. 7.1 – п. 7.6 можна зробити висновок, що клас вогнестійкості EI 15 для стіни СЦ-1 забезпечений.

Інв. №	Зам. інв. №					Підпис і дата	Інв. №							Арк	
								25/2021-PP.1.2						60	
	Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.			Дата							

8. ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ НЕСУЧОЇ СТІНИ

8.1 Технічне описання несучої стіни

На рис. 8.1 представлений загальний вигляд та схема армування досліджуваної стіни сходової клітки – СНЗ-1. Креслення надані замовником відповідають ескізного проекту.

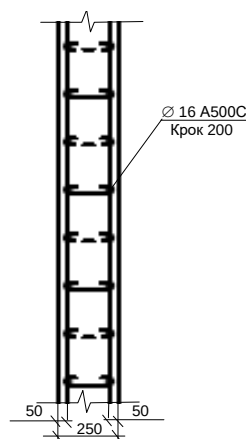


Рис. 8.1. Конструктивна схема несучої стіни СНЗ-1.

В табл. 8.1 наведений необхідний клас вогнестійкості, що необхідно забезпечити для досліджуваної несучої стіни.

Таблиця 8.1

Необхідний клас вогнестійкості несучої стіни

Елемент констр.	Позн.	Призначення	Клас вогн.
Несуча залізобетонна стіна	СНЗ-1	Стіна сходової клітки	REI 120

8.2. Початкові дані до розрахунку

8.2.1. Розрахункові схеми

Досліджувана стіна є несучою. Вона монолітно з'єднана із плитами перекриттів і спирається на фундамент. Стіна є суцільною, а її поверхня не має шарів штукатурки.

При розгляді теплової дії пожежі на стіну згідно із конструктивними схемами приходимо до висновку, що її можна розглядати за схемою одностороннього теплового впливу на нескінченну пластину із певною товщиною.

Для вивчення розподілень температури по перерізу стін використовується розрахункова методика, заснована на розв'язку рівняння теплопровідності із граничними умовами (ГУ) III роду встановлена чинними стандартами України і детально описана у роботах [1 – 4, 6]. Гранична задача при цьому була поставлена з використанням розрахункової схеми, що подана на рис. 8.2.

Зам. інв. №						
Підпис і дата						
Інв. №						
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата
						25/2021-PP.1.2
						Арк
						61

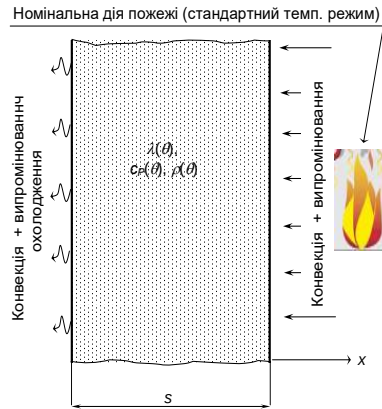


Рис. 8.2. Розрахункова схема при односторонньому нагріву стіни.

Для рішення задачі теплопровідності при визначенні температурних розподілень у перерізі несучої стіни СНЗ-1 також була складена універсальна розрахункова та кінцево-різницева схема. Кінцево-різницева схема для означеної стіни наведена на рис. 8.3.

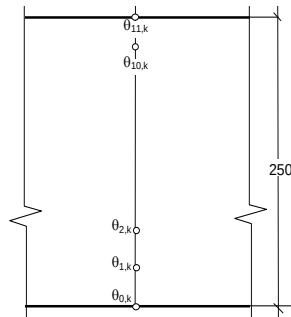


Рис. 8.3. Кінцево-різницева схема для розв'язку задачі теплопровідності при визначенні температур у перерізі несучої стіни СНЗ-1.

На рис. 8.4 показана розрахункова схема несучої залізобетонної стіни. При цьому розглядається її фрагмент у вигляді колони, навантаженої центральною зосередженою силою.

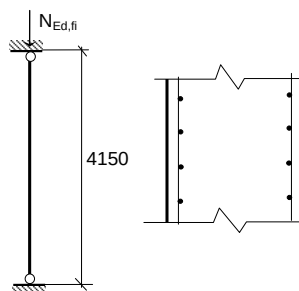


Рис. 8.4. Розрахункова схема для несучої стіни СНЗ-1.

8.2.2. Температурний режим пожежі та механічне навантаження

Згідно із рекомендаціями стандартів, чинних в Україні, для розрахунку використовуємо стандартний температурний режим пожежі, який визначається формулою:

$$\theta_p(t) = 345 \cdot \lg(8t / 60 + 1) + \theta_0,$$

де: t – час стандартного вогневого випробування, с;

Зам. інв. №							
Підпис і дата							
Інв. №							
						25/2021-PP.1.2	
						Арк	
						62	
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

θ_0 – початкова температура середовища, °C; $\theta_0 \approx 20^\circ\text{C}$;

$\theta_p(t)$ – температура у вогневій камері установки для визначення меж вогнестійкості конструкцій в залежності від часу t стандартного випробування.

Навантаження на несучу стіну для розв'язку статичної задачі щодо їх міцності в умовах пожежі зведені до табл. 8.2.

Таблиця 8.2

Розрахункове навантаження на несучу стіну

Несуча стіна (позн.)	Тип навантаження	Позн.	Од. вим.	Велич.
СНЗ-1	Розподілене навантаження	Q_{w1}	кН/м	4500

8.2.3. Теплофізичні властивості

Для розв'язку рівняння теплопровідності потрібно задати температурні залежності теплофізичних характеристик матеріалів стіни. В табл. 8.3 подані теплофізичні характеристики бетону несучої стіни.

Таблиця 8.3

Теплофізичні характеристики матеріалів бетону

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda(\theta)$, Вт/(м·°C)	Об'ємна питома теплоємність, $c_p(\theta) \cdot \rho$, Дж/(м³·°C)	Густина, ρ , кг/м³
Важкий бетон на силікатному заповнювачі ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012		
$2 - 0,2451 \frac{\theta}{100} + 0,0107 \left(\frac{\theta}{100} \right)^2$	900ρ при $20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C}$, $(900 + (\theta - 100))\rho$ при $100^\circ\text{C} < \theta \leq 200^\circ\text{C}$, $(1000 + 0,5(\theta - 100))\rho$ при $200^\circ\text{C} < \theta \leq 400^\circ\text{C}$, 1100ρ при $400^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C}$	2300

На рис. 8.5 подані графіки температурних залежностей теплофізичних характеристик бетону.

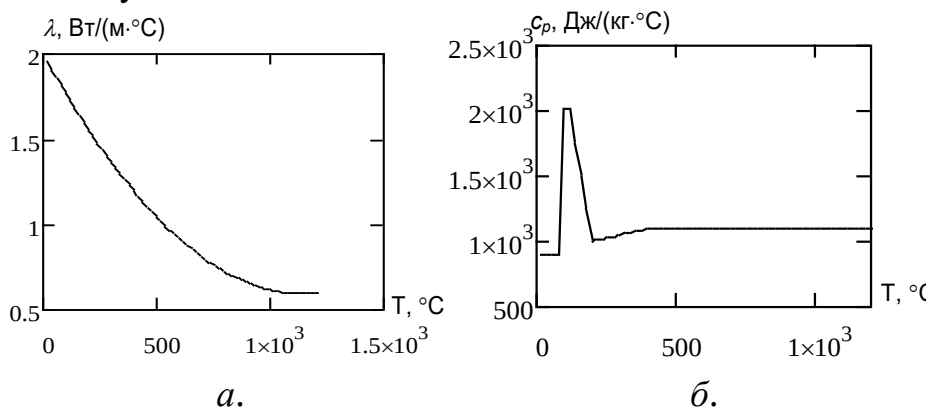


Рис. 8.5. Теплофізичні характеристики важкого бетону на гранітному заповнювачі: *a* – коефіцієнт теплопровідності; *б* – питома теплоємність.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						25/2021-PP.1.2	Арк
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		63

Для розрахунку також необхідно задати початкову температуру розрахункової області та параметри граничних умов. Параметри граничних умов наведені у табл. 8.4.

Для розв'язку задачі теплопровідності за методом кінцевих різниць необхідно задатись початковими даними. Згідно із розробленою методикою були встановлені такі початкові дані:

- початкова температура $\theta_0 = 20^\circ\text{C}$;
- просторовий крок інтегрування $\Delta h \sim 0.025\text{ м}$;
- часовий крок інтегрування – $\Delta t = 60\text{ с}$.

Таблиця 8.4

Параметри граничних умов для несучої стіни

Параметр	Позн	Од.вим.	Вел	Посилання
Обігрівна сторона				
Конвективна складова коефіцієнту теплообміну	α_c	Вт/(м ² °C)	25	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012
Ступінь чорноти	ε		0,7	ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012
Необігрівна сторона				
Коефіцієнт теплообміну	α	Вт/(м ² °C)	9	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012

8.2.4. Механічні властивості бетону та арматурної сталі

Згідно із технічною документацією, що надана замовником, залізобетонна стіна СНЗ-1 – класу C25/30 (B30). Арматурні каркаси виготовлені з арматурної сталі класу міцності A500С. Згідно з даними вимогами міцнісні властивості бетону та арматурної сталі наведені у табл. 8.5.

Таблиця 8.5

Міцнісні властивості бетону та арматурної сталі

Нес.стіна (позн.)	Матеріал	Клас міцності	Позначення	Нормативна міцність, МПа
СНЗ-1	Бетон	C25/30	$f_{ck,t}$	25
	Арматурна сталь	A500С	$f_{yk,t}$	500

Використовуючи дані щодо міцності, наведені у п. 2.10.2 були побудовані діаграми деформування бетону та арматурної сталі. Побудовані діаграми наведені на рис. 8.6.

Зам. інв. №							
	Підпис і дата						
Інв. №							
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата	25/2021-PP.1.2	Арк
							64

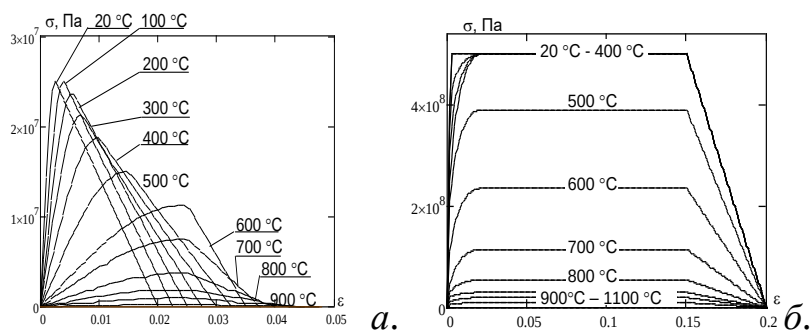


Рис. 8.6. Діаграми деформування бетону класу C25/30 (а) та арматурної сталі класу міцності A500C (б).

8.3. Результати розрахунку за табличним методом

Табличний метод реалізований при використанні табл. 5.4 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012. Для цього визначається коефіцієнт навантаження.

Діюча зосереджена сила для стіни дорівнює:

$$N_{Ed,fi} = w \cdot l \cdot Q_{w1} + \rho w \cdot l \cdot H$$

де w та l – товщина та ширина фрагменту стіни; H – висота стіни. Значення діючої зосередженої сили наведено у табл. 8.6.

Таблиця 8.6

Значення діючої зосередженої сили для досліджуваної стіни

Несуча стіна (позначення), $N_{Ed,fi}$, кН
CH3-1
2521

Несуча здатність стіни у нормальному стані визначається за формулою:

$$N_{Rd} = 0,7(w \cdot l \cdot f_{cd} + 0,25 \cdot 6 \pi d^2 f_{ud})$$

$$\text{Для CH3-1 } N_{Rd1} = 3465 \text{ кН}$$

Коефіцієнт навантаження визначається за формулою:

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd}$$

де N_{Rd} - розрахункова міцність стіни при нормальних температурах.

Значення коефіцієнту навантаження наведено у табл. 8.7.

Зам. інв. №						
Підпис і дата						
Інв. №						
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	25/2021-PP.1.2
						Арк
						65

Таблиця 8.7

Значення коефіцієнту навантаження для досліджуваної стіни

Несуча стіна (позначення), μ_{fi}
CH3-1
0.728

Маючи числове значення даних параметрів за табл. 5.3 EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2 визначаємо мінімальні геометричні характеристики перерізу стіни. Результати подані у табл. 8.8.

Таблиця 8.8

Мінімальні розміри та осьові відстані для несучої залізобетонної стіни

Стандартна вогнестійкість	Мінімальні розміри (мм) при $\mu_{fi} = 0.75$	
	Товщина стіни w_s	Осьова відстань між нижнім рядом арматури до поверхні стіни a
Залізобетонна стіна CH3-1		
REI 120	160	35
Необхідний клас вогнестійкості	Реальні розміри (мм)	
REI 120	250	50

Дані табл. 8.8 показують, що клас вогнестійкості залізобетонної стіни CH3-1 забезпечений, оскільки реальна осьова відстань від арматури до поверхні стіни більша за мінімальну. Для перевірки вогнестійкості даної стіни застосовується альтернативний зонний метод.

8.4. Результати теплотехнічного розрахунку

Перевірку отриманих результатів проводимо за альтернативними методами розрахунку. Тепловий розрахунок був реалізований у програмному середовищі табличного процесору Microsoft Excel 2003. Після виконання розрахунку були отримані результати, що наведені на рис. 8.7.

Використовуючи результати теплотехнічного розрахунку, визначаємо, що за контрольні терміни часу граничний стан втрати теплоізолювальній здатності залізобетонної стіни не настає. Отже, за теплоізолювальною здатністю клас вогнестійкості даної стіни є не меншим за потрібний, що відповідає встановленим вимогам.

Зам. інв. №						
Підпис і дата						
Інв. №						
	Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата
						25/2021-PP.1.2
						Арк
						66

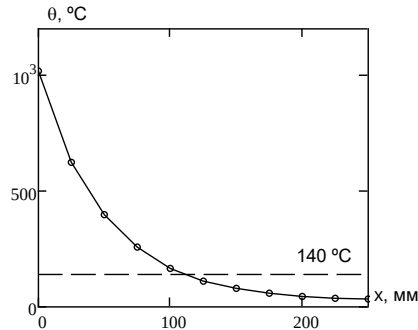


Рис. 8.7. Температурні розподіли по перерізу залізобетонної стіни СНЗ-1 на 120 хв розвитку «стандартної» пожежі.

8.5. Результати розрахунку цілісності

Для забезпечення цілісності залізобетонної стіни застосовується методика, визначена у джерелах [1, 2]. Згідно із положеннями в даних джерелах цілісність контролюється за спеціальним коефіцієнтом, що визначається за формулою:

$$F = b_c \alpha_{ct} E_{s,\theta} \rho_c / K_1 \lambda_n,$$

де b_c - коефіцієнт пропорційності, рівний $1,16 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{3/2}$;

$\alpha_{ct} (250^\circ \text{C}) = 9 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ \text{C}^{-1}$ коефіцієнт температурного розширення бетону [ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012];

$E_{c,\theta} = 1,2 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ початковий модуль пружності бетону [ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012];

$\rho_c = 2150 \text{ кг/м}^3$ – густина бетону у сухому стані, кг/м^3 , що дорівнює густині бетону природної вологості за відніманням випареної води у кількості 150 кг/м^3 ;

$K_1 = 0,47 \text{ МН} \cdot \text{м}^{3/2}$ - коефіцієнт псевдоінтенсивності напружень у бетоні [1, 2];

$\lambda_n = 1,5 \text{ Вт} \cdot \text{м} \cdot ^\circ \text{C}$ – коефіцієнт теплопровідності бетону при температурі 250°C [ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012].

Використовуючи початкові дані, які подані вище отримаємо параметр F .

$$F = \frac{1,16 \cdot 10^{-2} \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 1,2 \cdot 10^4 \cdot 2150}{0,47 \cdot 1,5} = 3,821 \leq 4$$

Параметр менший за 4 це означає, що граничний стан втрати цілісності для досліджуваної стіни не настає.

8.6. Перевірка результатів розрахунку при застосуванні альтернативного методу

Для перевірки результатів розрахунку проведемо розрахунок температурного розподілення у перерізі залізобетонної плити або стіни відповідно до номограми, на рис. 8.8. Дані температурні розподілення наведені у

Зам. інв. №																		Арк
Підпис і дата																		67
Інв. №																		
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата													

ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2 і можуть бути використані для тестування застосованого алгоритму.

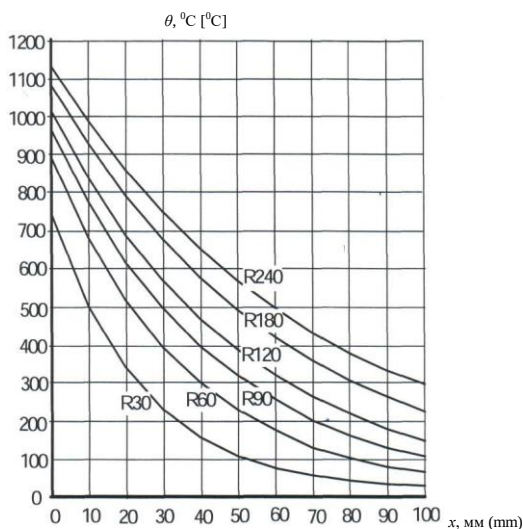


Рис. 8.8. Номограма для визначення температурного розподілення у залізобетонній плиті або стіні товщиною 200 мм.

За умовою тестової задачі розглядається залізобетонна плита або стіна товщиною 200 мм густиною 2300 кг/м³. Для розрахунку застосовуємо розрахункову схему, наведену на рис. 8.9.

Параметри граничних умов співпадають із параметрами поданими у табл. 3.4. Теплофізичні характеристики відповідають даним табл. 8.3 крім коефіцієнта теплопровідності, який відповідає нижній межі відповідно до ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2 і визначається за формулою:

$$\lambda(\theta) = 1,36 - 0,136 \frac{\theta}{100} + 0,0057 \left(\frac{\theta}{100}\right)^2.$$



Рис. 8.9. Розрахункова схема до тестової задачі залізобетонної плити або стіни.

На рис. 8.10 наведена кінцево-різницева схема стіни тестової задачі.

Зам. інв. №											Арк
	25/2021-PP.1.2										
Підпис і дата											68
Інв. №											
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата					

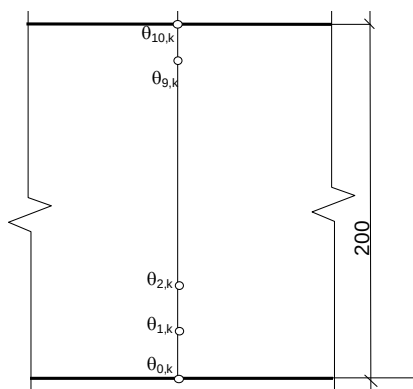


Рис. 8.10. Кінцево-різницька схема для розв’язку задачі теплопровідності при визначенні температур у перерізі плити або стіни тестової задачі.

Використовуючи початкові дані, що співпадають із початковими даними попередньої задачі, проводимо розрахунок за допомогою програмного середовища табличного процесору Microsoft Excel 2003. Результати розрахунку наведені на рис. 8.11.

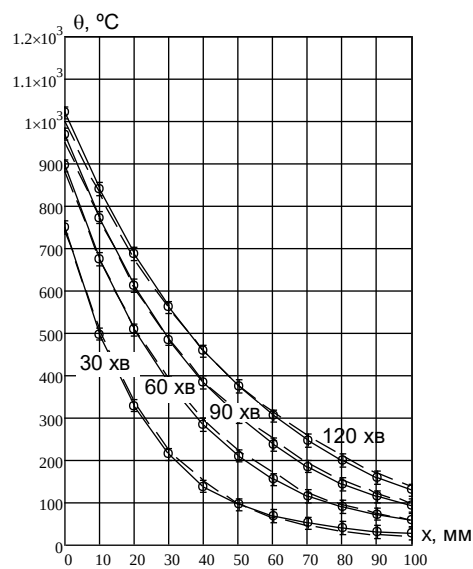


Рис. 8.11. Графіки залежностей температури від координати шару стіни з бетону: — — залежність, відповідна рис. 8.8; — розрахункова залежність.

Рис. 8.11 показує, що результати розрахунку збігаються із даними, поданими у ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012. На рис. 8.11 показана експериментальна похибка, регламентована стандартом ДСТУ Б.В. 1.1.4-98* на випробування будівельних конструкцій на вогнестійкість. Можна побачити, що відхилення розрахункових даних від даних, наведених у стандартах, знаходиться у межах цієї похибки, що дає нам змогу зробити висновок, що чисельний алгоритм та його програмна реалізація дають адекватні результати.

Зам. інв. №											Арк	
						25/2021-PP.1.2					69	
						Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	

8.7. Результати розрахунку несучої здатності

Використовуючи результати теплотехнічного розрахунку, була вирішена статична задача за допомогою зонного методу згідно із прийнятою методикою

За прийнятою методикою розбиваємо переріз залізобетонної стіни на 5 шарів, як показано на рис. 8.12.

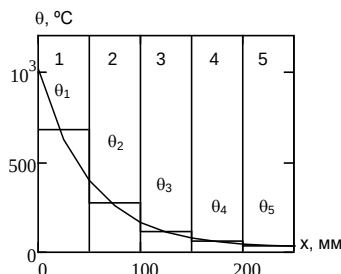


Рис. 8.12. Схема розбиття перерізу несучої стіни СНЗ-1.

У табл. 8.9 та табл. 8.10 подані значення середньої температури кожного шару, на які розбитий переріз залізобетонної стіни, а також температура арматурних стержнів та відповідні їм коефіцієнти зниження міцності бетону та арматурної сталі відповідно до табл. 2.4, табл. 2.5, визначені шляхом лінійної інтерполяції.

Таблиця 8.9

Коефіцієнти зниження міцності бетону у шарах залізобетонної стіни

Номер шару бетону у перерізі стіни	1	2	3	4	5
Залізобетонна стіна СНЗ-1 на 120 хв пожежі із стандартним температурним режимом					
Середня температура шару, θ , °C	680.267	274.117	118.803	61.187	38.893
Коефіцієнт зниження міцності бетону, $k_c(\theta)$	0.33	0.876	0.991	1	1

Таблиця 8.10

Коефіцієнти зниження міцності сталі у арматурних стержнях залізобетонної стіни на заданий час пожежі із стандартним температурним режимом

Арматурний ряд	Лівий	Правий
Залізобетонна стіна СНЗ-1 на 120 хв пожежі із стандартним температурним режимом		
Температура арматури, θ , °C	398.46	45.28
Коефіцієнт зниження міцності на стиск, $k_s(\theta)$	1	1
Коефіцієнт зниження міцності на розтяг, $k_t(\theta)$	0.423	1
Коефіцієнт зниження модуля пружності, $k_E(\theta)$	0.702	1

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						25/2021-PP.1.2	Арк
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		70

Формат А4

$A_{c\theta l} = (b - a_z)l = 1.762 \times 10^5 \text{ мм}^2$ – площа приведенного перерізу бетону фрагменту стіни СНЗ-1;

$\varepsilon_{cu} = 0,0035$ – гранична деформація стиску для бетону;

$l = 800 \text{ мм}$ – ширина фрагменту стіни;

$A_s = \pi d_s^2$ – площа одного арматурного ряду;

$d_s = 16 \text{ мм}$ – діаметр одного арматурного стержня для стіни СНЗ-1.

Несуча здатність для стіни СНЗ-1 - $N_{Rd,fi1} = 4444 \text{ кН}$.

Перевіряємо умови зберігання несучої здатності.

Діюча зосереджена сила для стін наведена у табл. 8.6.

Перевіряємо умову збереження несучої здатності для стіни СНЗ-1:

$$N_{Rd,fi1} = 4444 \text{ кН} > N_{Ed,fi1} = 2521 \text{ кН}.$$

Умови виконуються, отже протягом контрольного часу впливу пожежі несуча здатність досліджуваної стіни зберігається.

8.8. Оцінка класу вогнестійкості несучої стіни та відповідності її встановленим вимогам

Аналізуючи дані, подані в п. 8.3 та п. 8.4, можна помітити, що температура на необігрівній поверхні стіни СНЗ-1 протягом контрольного часу 120 хв не досягає значення 140 °С. Дані п. 8.3 та п. 8.5 показують, що граничний стан втрати цілісності не настає. Розрахунки, що наведені у п. 8.3 та п. 8.7 показали, що граничний стан втрати несучої здатності досліджуваної стіни протягом часу впливу пожежі із стандартним режимом не настає. Отже, можна зробити загальний висновок для несучої стіни СНЗ-1, що вона відповідає класу вогнестійкості REI 120.

Зам. інв. №							
Підпис і дата							
Інв. №							
						25/2021-PP.1.2	Арк
							72
	Зм.	Кільк.	Арк.	№доку.	Підп.	Дата	

9. ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ОБ'ЄКТУ

Розглянувши будівельні конструкції об'єкту були розраховані їх фактичні класи вогнестійкості, що наведені у табл. 9.1.

Таблиця 9.1

Класи вогнестійкості залізобетонних і інших конструкцій об'єкту

Елемент конструкції	Позн.	Необхідний клас вогнестійкості	Фактичний клас вогнестійкості	Ступінь відповідності
Діафрагми				
Діафрагма жорсткості	ДМ-1	REI 120	REI 120	Відповідає
Ненесучі стіни				
Перегородка	СЦ-1	EI 15	EI 15	Відповідає
Перекриття				
Міжповерхове перекриття	ПМ-1	REI 45	REI 45	Відповідає
Колони				
Пілон	КМ-1	R 120	R 120	Відповідає
Сходові марші				
Сходовий марш	СМ-1	R 60	R 60	Відповідає
Сходова площадка	СП-1	R 60	R 60	Відповідає
Несучі стіни				
Стіна сходової клітки	СНЗ-1	REI 120	REI 120	Відповідає

З огляду на дані табл. 9.1 можливо зробити висновок:

будівельні конструкції об'єкту відповідають встановленим вимогам для забезпечення II ступеня вогнестійкості будівлі згідно класифікації за ДБН В.1.1-7:2016 «Пожжежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. №							25/2021-PP.1.2	Арк
			Зм.	Кільк.	Арк.	№доку.	Підп.	Дата	73	

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Для перевірки відповідності елементів конструкцій реставрованої нежитлової будівлі під готель 3* за адресою: м. Київ, вул. Михайла Коцюбинського, 12 встановленим вимогам виконані розрахунки щодо оцінки класу вогнестійкості елементів конструкцій. Розрахунки відповідають методикам, встановленим у чинних стандартах України, і аналогічних других частин стандартів Євросоюзу, Eurocode 1, Eurocode 5 та Eurocode 6.

За результатами розрахунку встановлено, що будівельні конструкції об'єкту відповідають встановленим вимогам для забезпечення II ступеня вогнестійкості будівлі згідно класифікації за ДБН В.1.1-7:2016 «Пожжезна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

Інв. №							Підпис і дата	Зам. інв. №
						25/2021-PP.1.2		Арк
								74
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата			

ЛІТЕРАТУРА

1. Жуков В.В. Взрывообразное разрушение бетона / Жуков В.В., Гуляева В.Ф., Сорокин А.Н. // Огнестойкость строительных конструкций. – Вып. 4. – 1976. – С. 42–57.
2. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. СТО 36554501-006-2006 – [Введен в действие 1996-01-01] – М.: Стройиздат, 2006. – 77 с. – (Национальный стандарт РФ).
3. Бартелеми Б. Огнестойкость строительных конструкций / Бартелеми Б., Крюппа Ж. – М.: Стройиздат, 1985. – 216 с.
4. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1988. – 144 с.
5. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності. (ENV 13381-4:2002) ДСТУ Б В.1.1-17:2007. [Чинний від 2007-01-01.] – К.: Укрархбудінформ, 2007. – 62 с – (Національний стандарт України).
6. Леннон Т., Мур Д.Б., Ван Ю.К., Бейли К.Г. Руководство для проектировщиков к EN 1991-1-2:2002, EN 1992-1-2:2002, EN 1993-1-2:2002 и EN 1994-1-2:2002 : справочник по проектированию противопожарной защиты стальных, сталежелезобетонных и бетонных конструкций зданий и сооружений в соответствии с Еврокодами : пер. с англ. / Т. Леннон и др.; ред. Серии Х. Гульванесян; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т» ; науч ред. пер. В.М. Ройтман, И.А. Кириллов, А.И. Плотников; 2-е изд., Москва – МГСУ, 2013. – 196 с.
7. Промышленные здания. Каталог систем и материалов. Пособие для проектировщиков при использовании изоляционных систем «ROCKWOOL». Москва. – 2010. – 42 с.
8. Франчук А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов, М.: НИИ строительной физики, 1969 - 142 с.

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. №							25/2021-PP.1.2	Арк
			Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		75

Замовник: ТОВ «Тридцять три бай Юнаков»

Власник будівлі: ТОВ «ФОРЕНТ-ІНВЕСТ»

Реставрація нежилого будинку (літ.А) із пристосуванням під сучасні потреби на вул. Коцюбинського Михайла, 12 у Шевченківському районі м. Києва» (Пристосування під готель 3*)

Розрахунок на вогнестійкість окремої будівельної конструкції

01/2022-РР.2

2022



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ЦІА «ШІЛД»

03127, м. Київ, проспект Голосіївський, 93, оф.425, тел.(073) 305 22 16
www.shieldcenter.com.ua, e-mail info@shieldcenter.com.ua, код ЄДРПОУ 40865555

Замовник: ТОВ «Тридцять три бай Юнаков»

Власник будівлі: ТОВ «ФОРЕНТ-ІНВЕСТ»

**Реставрація нежитлого будинку (літ.А) із пристосуванням під
сучасні потреби на вул. Коцюбинського Михайла, 12 у
Шевченківському районі м. Києва» (Пристосування під готель
З*)**

Розрахунок на вогнестійкість окремої будівельної конструкції

01/2022-РР.2

Директор

Ю.О. Ковальова

2022

Позначення	Найменування	Примітка
01/2022-PP.2-3М	Зміст	Стор. 2
01/2022-PP.2-ВУ	Відомості про розробників	Стор. 3
01/2022-PP.2	Реставрація нежитлого будинку (літ.А) із пристосуванням під сучасні потреби на вул. Коцюбинського Михайла, 12 у Шевченківському районі м. Києва» (Пристосування під готель 3*). Розрахунок на вогнестійкість окремої будівельної конструкції.	Стор. 4

Зам. інв. №		Підпис і дата								
Інв. №	Розробив		Поздєєв				Зміст	Стадія	Аркуш	Аркушів
	Перевірив		Добичін							1
								ТОВ «ЦІА «ШІЛД»		

Посада

Ініціали, прізвище

Підпис

Головний науковий співробітник
Черкаського інституту пожежної
безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету
цивільного захисту України
д.т.н., проф.

С.В. Поздєєв

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. №

01/2022-PP.2-BY

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата
Розробив		Поздєєв			
Перевірив		Добичін			

Відомості про розробників

Стадія

Аркуш

Аркушів

1

ТОВ
«ЦІА «ІПЛД»

Зміст

ВСТУП	6
1. ОСНОВНІ ПОСИЛАННЯ.....	8
1.1. Основні поняття і термінологія.....	8
1.2. Список основних позначень.....	9
2. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКОВОЇ ОЦІНКИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	11
2.1. Обґрунтування вибору конструкцій для оцінки класу вогнестійкості....	11
2.2. Обґрунтування вимог щодо вогнестійкості елементів будівельних конструкцій об'єкту.....	11
2.3. Навантаження на елементи будівельних конструкцій.....	11
2.4. Загальна постановка задачі і основні положення розрахунку.....	12
2.5. Температурний режим пожежі.....	13
2.6. Математична модель теплопередачі.....	13
2.6.1 Математична модель теплопередачі для перерізів плит та стін.....	13
2.7. Методика наближеного розв'язку нестационарного рівняння теплопровідності.....	14
2.7.1 Методика наближеного розв'язку нестационарного рівняння теплопровідності для перерізів плит та стін.....	14
2.8. Граничні умови до теплотехнічної задачі.....	15
2.9. Теплофізичні властивості матеріалів будівельних конструкцій.....	15
2.10. Розрахунок несучої здатності елементів конструкцій.....	16
2.10.1 Теоретичне обґрунтування методики рішення статичної задачі та її математичного апарату.....	16
2.10.2 Механічні та термомеханічні властивості компонентів залізобетону....	17
2.10.3 Пружно-пластичні властивості бетону в умовах високо-температурного нагрівання.....	17
2.10.4 Пружно-пластичні властивості арматурної сталі в умовах високотемпературного нагрівання.....	18
2.10.5 Зонний метод.....	19
3. ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ НЕСУЧОЇ ЦЕГЛЯНОЇ СТІНИ.....	26
3.1 Технічне описання стіни.....	26
3.2 Методика розрахунку.....	26
3.3 Початкові дані до розрахунку.....	27
3.3.1 Розрахункові схеми.....	27
3.3.2 Теплофізичні властивості.....	28
3.4 Результати теплотехнічного розрахунку.....	29
3.5 Результати розрахунку цілісності та несучої здатності.....	29

Зам. інв. №	3.1 Технічне описання стіни..... 26								
	3.2 Методика розрахунку..... 26								
Підпис і дата	3.3 Початкові дані до розрахунку..... 27								
	3.3.1 Розрахункові схеми..... 27								
	3.3.2 Теплофізичні властивості..... 28								
	3.4 Результати теплотехнічного розрахунку..... 29								
	3.5 Результати розрахунку цілісності та несучої здатності..... 29								
						01/2022-PP.2			
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис		Дата		
Інв. №	Розробив		Поздєєв			Реставрація нежилого будинку (літ.А) із пристосуванням під сучасні потреби на вул. Коцюбинського Михайла, 12 у Шевченківському районі м. Києва» (Пристосування під готель 3*). Розрахунок на вогнестійкість окремої будівельної конструкції.	Стадія	Аркуш	Аркушів
	Перевірив		Добичін					1	31
							ТОВ «ЦІА «ШІЛД»		

3.6	Оцінка класу вогнестійкості стіни та відповідності її встановленим вимогам	31
4.	ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ОБ'ЄКТУ	32
	ЗАКЛЮЧЕННЯ.....	33
	ЛІТЕРАТУРА.....	34

Інв. №	Пішпис і дата	Зам. інв. №							01/2022-PP.2		Арк
											2
			Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата			

ВСТУП

Об'єктом, що розглядається у даній роботі, є реконструкція нежитлової будівлі під готель 3* за адресою: м. Київ, вул. Михайла Коцюбинського, 12 (далі об'єкт). У числі аварійних ситуацій, настання яких імовірно на даному об'єкті, має бути розглянутий випадок виникнення та розвитку пожежі у внутрішньому просторі будівлі. Такий стан зумовлюється високою відповідальністю даного об'єкту. Потрібно зазначити, що об'єкт може бути класифікований з огляду на чинну нормативну базу України щодо його ступеня вогнестійкості. Основною задачею пожежної безпеки будівельних конструкцій об'єкту, рішення якої залежить від вогнестійкості конструкцій, є забезпечення їх функціональної здатності на час, необхідний для локалізації та ліквідації імовірної пожежі. Для цього необхідно забезпечити відповідність протипожежної стіни 1 типу класу вогнестійкості REI 150 згідно із класифікацією за ДБН В.1.1-7:2016.

Для оцінки вогнестійкості конструкцій була використана методика оцінки класу вогнестійкості будівельних конструкцій об'єкту. Згідно із цією методикою визначені елементи, гарантування відповідності яких встановленим вимогам щодо вогнестійкості автоматично забезпечує відповідність інших елементів із менш небезпечним сполученням навантажень, теплового впливу пожежі і геометричної конфігурації.

З огляду на унікальність, масивність та вартість залізобетонних та інших конструкцій об'єкту, їх вогневі випробування є неефективним, оскільки вони передбачають виготовлення по два зразки конструкцій із дотриманням всіх технологій. Зразки досліджуваних елементів є негабаритними і не можуть бути випробувані на обладнанні що наявне у випробувальних центрах України. Це означає, що розрахункова оцінка вогнестійкості даної структури є ефективним підходом щодо вирішення поставленої задачі.

Використані методики базуються на стандартах, гармонізованих із відповідною методичною та нормативною базою об'єднаної Європи, а також узгоджується із результатами досліджень вітчизняних та закордонних авторів, які апробовані, обговорені та визнані науковою спільнотою і входять у основну базу літературних посилань та цитування фахівцями даної галузі. В методиці передбачено застосування декілька можливих підходів, згідно з якими обґрунтовані і детально пророблені відповідні ним послідовності розрахункових процедур. Розрахунок, виконаний за використаною методикою покрокового аналізу дозволив отримати результати, що були перевірені за допомогою альтернативних розрахункових методів, що взяті з тих же рекомендованих відповідним стандартом методів. У звіті наведені результати розрахунку та перевірки цих результатів. Отримані результати використані як підґрунтя для встановлення відповідності класу вогнестійкості досліджуваних елементів встановленим вимогам.

Вся сукупність даних, що містяться у дійсному звіті спрямована на досягнення важливого технічного результату – забезпечення відповідності класу вогнестійкості REI 150 протипожежної стіни 1 типу реконструйованої

Зам. інв. №							Арк
Підпис і дата							3
Інв. №							01/2022-PP.2
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	

нежитлової будівлі під готель 3* за адресою: м. Київ, вул. Михайла Коцюбинського, 12.

Інв. №	Зам. інв. №					Підпис і дата	01/2022-PP.2	Арк
								4
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.			Дата

1. ОСНОВНІ ПОСИЛАННЯ

1.1. Основні поняття і термінологія

Противопожежна стіна: Стіна, що розділяє 2 простори (зазвичай дві споруди) і запроектована для забезпечення вогнестійкості та конструкційної стійкості, і може включати опір на горизонтальні навантаження такі як, у випадку пожежі та руйнування конструкцій з однієї сторони стіни, розповсюдження вогню за стіну виключається.

Противопожежні стіни 1-го типу, які на всю висоту та ширину (або довжину) будинку відокремлюють одну його частину від іншої, повинні забезпечувати непоширення пожежі в суміжні частини будинку в разі однобічного обвалення конструкцій, що прилягають до цих стін (п. 6.7 ДБН В. 1.1-7:2016); спиратися на фундаменти або на фундаментні балки, перетинати всі конструкції та поверхи будинку (п. 6.7 ДБН В. 1.1-7:2016).

Противопожежні стіни допускається встановлювати безпосередньо на конструкції каркаса будинку, які виконані з негорючих матеріалів. При цьому межа вогнестійкості каркаса разом з його заповненням і вузлами кріплення має бути не меншою за нормовану межу вогнестійкості протипожежної стіни відповідного типу (п. 6.8 ДБН В. 1.1-7:2016).

Межа вогнестійкості визначається часом (у хвилинах) від початку вогневої дії пожежі із стандартним температурним режимом до настання одного з граничних станів конструкції.

Граничним станом елемента конструкції називається стан, що є ознакою настання межі вогнестійкості. Розрізняють три граничні стани із відповідними позначеннями: втрата несучої здатності (R); втрата цілісності (E); втрата теплоізолявальної здатності (I).

Клас вогнестійкості – мінімальний час вогневої дії пожежі із стандартним температурним режимом, що вимагається забезпечити до настання одного з регламентованих граничних станів.

Розрахунковий метод оцінки вогнестійкості – комплекс математичних моделей, що рекомендується у рамках окремого теоретичного підходу, що рекомендована у сучасній нормативній базі України, для одержання комплексу параметрів, на основі яких можна визначити межу і клас вогнестійкості конкретного окремого елемента будівельної конструкції і згодом оцінити на їх основі відповідність даного елемента вимогам нормативних документів.

Максимальний рівень напруження. Рівень напруження, для заданої температури, при якому на діаграмі “напруження - деформація” для компонентів залізобетону, або матеріалу кам’яної кладки відбувається перехід у пластичну стадію

Елемент конструкції. Окрема частина всієї конструктивної системи з відповідними опорами та граничними умовами

Приведений поперечний переріз. Поперечний переріз конструкції при розрахунку на вогнестійкість, що застосовується при використанні методу приведення поперечного перерізу. Приведений поперечний переріз отримують з залишкового поперечного перерізу шляхом відкидання частин з опором та жорсткістю, що дорівнюють нулю.

Зам. інв. №							
Підпис і дата							
Інв. №							
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	01/2022-PP.2	Арк
							5

$\lambda_{0,fi}$	гнучкість колони при пожежі
$\sigma_{c,fi}$	стискаюче напруження в бетоні при пожежі
$\sigma_{s,fi}$	напруження сталі при пожежі
θ	температура (°C)
θ_{cr}	критична температура (°C)

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. №							01/2022-PP.2	Арк
										7
			Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

2. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКОВОЇ ОЦІНКИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

2.1. Обґрунтування вибору конструкцій для оцінки класу вогнестійкості

Розгляд елементів будівельних конструкцій здійснюємо вибірково. При цьому має бути розглянуто декілька основних типів елементів конструкцій – несучі стіни, які повинні відповідати вимозі найбільш небезпечного поєднання жорсткості, навантажень та силових факторів. Вибір конструкцій здійснюємо за такими критеріями:

- несучі, самонесучі та ненесучі стіни - геометричні параметри (найбільша висота, найменша товщина), найбільш небезпечне механічне навантаження, а також матеріал, з якого виготовлена стіна.

Будівля об'єкту відносяться до об'єктів будівництва, що відповідають вимогам щодо вогнестійкості будівельних конструкцій за ДБН В.1.1-7:2016.

2.2. Обґрунтування вимог щодо вогнестійкості елементів будівельних конструкцій об'єкту

До будівельних конструкцій об'єкту висуваються вимоги відповідно класифікації за ДБН В. 1.1-7 : 2016. Враховуючи це, обов'язковій розрахунковій оцінці класу вогнестійкості піддаються елементи що наведені у табл. 2.1. Позначення досліджуваних елементів відповідають прийнятій системі у даному звіті.

Таблиця 2.1

Елементи залізобетонних конструкцій для обов'язкової оцінки класу вогнестійкості

Елемент конструкції	Позн.	Призначення	Необхід. клас вогн.
Несучі стіни			
Цегляна стіна	СНЦ-1	Стіна протипожежна 1 типу	REI 150

2.3. Навантаження на елементи будівельних конструкцій

Згідно із ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 потрібно використати спрощений підхід, де у загальному випадку розрахункове значення навантаження, що діє під час пожежі визначається за формулою:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d, \quad (2.1)$$

де E_d розрахункове значення відповідного зусилля чи моменту при нормальних температурах;

Зам. інв. №							
	Підпис і дата						
Інв. №							
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	01/2022-PP.2	Арк
							8

η_{fi} - коефіцієнт зниження, що визначає рівень навантаження при пожежі.

Коефіцієнт зниження η_{fi} для сполучення навантажень (6.10) в EN 1990 має визначатись за:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \quad (2.2)$$

$Q_{k,1}$ - головне змінне навантаження;

G_k - характеристичне значення постійної дії;

$\gamma_G = 1.35$ - частковий коефіцієнт постійної дії;

$\gamma_{Q,1} = 1.5$ - частковий коефіцієнт змінної дії 1;

ψ_{fi} - частковий коефіцієнт сполучень для циклічних та квазіпостійних значень.

Як спрощення для розрахунків можна прийняти $\eta_{fi} = 0.7$.

2.4. Загальна постановка задачі і основні положення розрахунку

Розрахункова оцінка вогнестійкості, будівельних конструкцій об'єкту має проводитися у такій послідовності.

1. Шляхом розв'язку задачі теплопровідності визначається температурне поле у перерізі елементу конструкції, що дозволяє визначити час досягнення на необігрівній стороні огорожувального елементу температури настання граничного стану теплоізолювальної здатності.

2. За отриманими температурними розподілами у перерізі елементу у мінімальний час, обумовлений класом вогнестійкості, визначається можливість настання граничного стану втрати цілісності за цей час. За отриманими даними щодо часу настання зазначених граничних станів визначається клас вогнестійкості огорожувального елементу конструкції.

3. Для розрахунків при розв'язку міцнісної задачі визначаються температурні розподілення по перерізах елементів несучих конструкцій, що підлягають оцінці класу вогнестійкості. Для розрахунку використовується кінцево-різницевий метод вирішення рівняння теплопровідності.

4. Для оцінки класу вогнестійкості як основний використовується спрощений табличний метод відповідний до EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2 EN 1993-1-2:2012 Eurocode 3 та EN 1996-1-2:2012 Eurocode 6.

5. Якщо табличним методом необхідний клас не підтверджується то для розрахунку межі вогнестійкості елементів конструкцій застосовуються основний метод – зонний метод. Даний метод регламентований чинними стандартами України EN 1991-1-2:2012 Eurocode 1, EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2, EN 1993-1-2:2012 Eurocode 3 та EN 1996-1-2:2012 Eurocode 6.

6. Отримавши значення фактичної межі вогнестійкості, визначається фактичний клас вогнестійкості шляхом вибору найближчого меншого значення по відношенню до значення межі вогнестійкості для граничного стану, що настає якнайшвидше.

Зам. інв. №							Арк
Підпис і дата							9
Інв. №							01/2022-PP.2
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	

7. У випадку коли фактичний клас вогнестійкості досліджуваних елементів є меншим за необхідний, виконується розрахункове обґрунтування проектних технічних вимог щодо системи вогнезахисту даних елементів.

8. Для перевірки отриманих результатів використовується один з альтернативних методів, що наведений у EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2 EN 1993-1-2:2012 Eurocode 3, та EN 1996-1-2:2012 Eurocode 6.

2.5. Температурний режим пожежі

Згідно із вимогами стандартів, чинних в Україні, для розрахунку повинен бути використаний стандартний температурний режим пожежі, який визначається формулою:

$$\theta_p(t) = 345 \cdot \lg(8t / 60 + 1) + \theta_0, \quad (2.3)$$

де: t – час стандартного вогневого випробування, с;

θ_0 – початкова температура середовища, °C; $\theta_0 \approx 20^\circ\text{C}$;

$\theta_p(t)$ – температура у вогневій камері установки для визначення меж вогнестійкості конструкцій в залежності від часу t стандартного випробування.

2.6. Математична модель теплопередачі

2.6.1 Математична модель теплопередачі для перерізів плит та стін

Математична модель теплопередачі у цьому випадку добре описана у роботах [1 – 4, 6]. При цьому використовується рівняння теплопровідності у такому вигляді:

$$c(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right), \quad (2.4)$$

де $c(\theta) = \rho(\theta) c_p(\theta)$ – питома об'ємна теплоємність

Вираз, який відповідає ГУ III роду на обігрівній поверхні записується у вигляді:

$$-\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=b} = \alpha_p (\theta_p - \theta_w). \quad (2.5)$$

де θ_p , θ_w – температури відповідно пожежного середовища та поверхні елементу з обігрівної сторони.

На не обігрівній поверхні елементу вираз для ГУ III роду записується у вигляді:

$$-\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_n (293 - \theta_n), \quad (2.6)$$

Зам. інв. №	ВИГЛЯДІ:																
	$-\lambda(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial x}\Big _{x=b}=\alpha_p(\theta_p-\theta_w).$																
Підпис і дата	де θ_p θ_w – температури відповідно пожежного середовища та поверхні елементу з обігрівної сторони. На не обігрівній поверхні елементу вираз для ГУ III роду записується у вигляді:																
	$-\lambda(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial x}\Big _{x=0}=\alpha_n(293-\theta_n),$																
Інв. №							01/2022-PP.2										Арк
																	10
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата											

де α_p, α_k – коефіцієнти теплообміну на обігрівній та необігрівній поверхні відповідно.

2.7. Методика наближеного розв'язку нестационарного рівняння теплопровідності

2.7.1 Методика наближеного розв'язку нестационарного рівняння теплопровідності для перерізів плит та стін

Для чисельного розв'язку рівняння теплопровідності має бути застосований метод кінцевих різниць.

Для рівняння теплопровідності у запису (2.4) при його лінеаризації застосовується інтегро-інтерполяційний метод [4].

Ліва частина рівняння теплопровідності у кінцевих різницях записується у вигляді виразу [4]:

$$c(T) \frac{\partial T}{\partial t} = c \left(\frac{\theta_{i,k} + \theta_{i,k+1}}{2} \right) \cdot \frac{\theta_{i,k+1} - \theta_{i,k}}{\Delta t}. \quad (2.7)$$

Права частина рівняння (2.4) з точністю $O(h^2 + \Delta t)$ у кінцевих різницях має такий вигляд [4]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) = a_x \theta_{i-1,k}^x - (a_x + b_x) \theta_{i,k}^x + b_x \theta_{i+1,k}^x \quad (2.8)$$

При залежності від температури коефіцієнту теплопровідності останній визначається з використанням інтегро-інтерполяційного методу [4] за такими виразами:

$$a = \frac{\lambda(\theta_{i-1})\lambda(\theta_i)}{(\lambda(\theta_{i-1}) + \lambda(\theta_i))h^2}, \quad b = \frac{\lambda(\theta_{i+1})\lambda(\theta_i)}{(\lambda(\theta_{i+1}) + \lambda(\theta_i))h^2} \quad (2.9)$$

При використанні виразів (2.7) - (2.9) рівняння теплопровідності записується у вигляді рекурентних формул у вузлових точках для $k+1$ -го часового шару попередньо визначеними температурами k -того часового шару. Рекурентні формули записується в неявному вигляді і розв'язуються як нелінійні рівняння.

ГУ III роду у кінцевих різницях записуються у вигляді [4]:

$$\frac{\lambda(\theta_{w,k})\lambda(\theta_{1,k})}{\lambda(\theta_{w,k}) + \lambda(\theta_{1,k})} \cdot \frac{\theta_{w,k} - \theta_{1,k}}{h} + \frac{h \cdot c(\theta_{1,k})}{2 \cdot \Delta t} \cdot (\theta_{1,k} - \theta_{1,k-1}) = \alpha_k (\theta_{1,k} - \theta_{p,k}) \quad (2.10)$$

де θ_p – температура пожежі, що відповідає стандартному температурному режимові і визначається за формулою (2.6);

Зам. інв. №						
Підпис і дата						
Інв. №						
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	01/2022-PP.2
						Арк
						11

α – коефіцієнт теплообміну;

$h = 0.02 \div 0.025$ м – крок розбиття перерізу;

$\Delta t = 60$ с – часовий крок.

Часовий і просторовий крок вибирається за умовою збіжності вибраної кінцево-різницевої схеми. Також часовий крок за можливістю вибирається рівним 1 хв, відповідно до контрольного проміжку часу при проведенні вогневих випробувань.

2.8. Граничні умови до теплотехнічної задачі

При встановленні ГУ важливим є завдання коефіцієнту теплообміну. Нормативами визначено коефіцієнт теплообміну визначати через дві складові – променисту і конвекційну. Промениста складова визначається за законом Стефана-Больцмана:

$$\alpha_p = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \frac{(\theta_p + 273)^4 - (\theta_w + 273)^4}{\theta_p - \theta_w}, \quad (2.11)$$

де ε - ступінь чорноти поверхні бетону;

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² К⁴) – константа Стефана-Больцмана

Згідно із прийнятими припущеннями маємо ГУ III роду на границях розрахункової області відповідно до вимог ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2, ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2, ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2 та ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2 встановлені параметри даних ГУ, які наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Параметри граничних умов для стін

Параметр	Позн.	Од.вим.	Вел.	Посилання
Обігрівна сторона				
Конвективна складова коефіцієнту теплообміну	α_c	Вт/(м ² ·°C)	25	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2
Ступінь чорноти кам'яної кладки	ε		0.8	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2
Ступінь чорноти бетону			0.7	ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2
Необігрівна сторона				
Коефіцієнт теплообміну		Вт/(м ² ·°C)	9	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2

2.9. Теплофізичні властивості матеріалів будівельних конструкцій

Для розв'язку рівняння теплопровідності потрібно задати температурні залежності теплофізичних характеристик матеріалів стін та плит перекриттів. В табл. 2.3 подані теплофізичні характеристики матеріалів, необхідних для здійснення розрахунку.

Зам. інв. №	кладки					ε		0.8	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2
	Ступінь чорноти бетону							0.7	ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2
	Необігрівна сторона								
	Коефіцієнт теплообміну			Вт/(м²·°C)		9	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2		

2.9. Теплофізичні властивості матеріалів будівельних конструкцій

Для розв’язку рівняння теплопровідності потрібно задати температурні залежності теплофізичних характеристик матеріалів стін та плит перекриттів. В табл. 2.3 подані теплофізичні характеристики матеріалів, необхідних для здійснення розрахунку.

						01/2022-PP.2	Арк
							12
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.3

Теплофізичні характеристики матеріалів будівельних конструкцій

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda(\theta)$, Вт/(м·°C)	Об'ємна питома теплоємність, $c_p(\theta) \cdot \rho$, Дж/(м³·°C)	Густина, кг/м³
Важкий бетон на гранітному заповнювачі ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012		
$2 - 0,2451 \frac{\theta}{100} + 0,0107 \left(\frac{\theta}{100} \right)^2$	900ρ при 20 °C ≤ θ ≤ 100 °C, (900+(θ - 100))ρ при 100°C < θ ≤ 200°C, (1000+0,5(θ-100))ρ при 200°C < θ ≤ 400°C, 1100ρ при 400°C < θ ≤ 1200°C	2300
Кладка з керамічної цегли ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:2012		
0,42 при 0 °C ≤ θ ≤ 20 °C, 0,42+4,7·10 ⁻³ (θ - 50) при 20°C < θ ≤ 200°C, 1,26 при 200°C < θ ≤ 1200 °C	564ρ при 20 °C ≤ θ ≤ 100 °C, (1,1·10 ⁴ +13,5(θ - 100))ρ при 100 °C ≤ θ ≤ 200 °C, (2,8·10 ³ +3,9(θ - 100))ρ при 200 °C ≤ θ ≤ 1200 °C.	825
Цементно-піщана штукатурка [8]		
1,2	ρ·1000	1800
Сталь ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2012 Eurocode 3		
54 - 3,33·10 ⁻² θ при 20 °C ≤ θ ≤ 800 °C, 27,3 при θ > 800 °C.	425+0,773θ - 1,69 10 ⁻² θ ² +2,22 10 ⁻⁶ θ ³ при 20 °C ≤ θ ≤ 600 °C, 666-13002/(θ - 738) при 600°C < θ ≤ 735°C, 545+17820/(θ - 731) при 735°C < θ ≤ 900°C, 650 при 900°C < θ ≤ 1200°C	7850

2.10. Розрахунок несучої здатності елементів конструкцій**2.10.1 Теоретичне обґрунтування методики рішення статичної задачі та її математичного апарату**

У загальному випадку розрахунок міцності елементу конструкції під впливом пожежі відбувається у три етапи. Перший етап полягає у встановленні мінімальних меж вогнестійкості, що визначається необхідним класом вогнестійкості елементу. На другому етапі виконується сполучення навантажень на елемент під час пожежі за діючими навантаженнями на елемент у нормальному стані. На третьому етапі визначається відповідність конструктивних параметрів елементу вимогам щодо міцності у даний контрольний момент часу дії пожежі.

Відповідність заданим вимогам щодо вогнестійкості за несучою здатністю встановлюється порівнянням максимального навантаження, що здатний витримувати досліджуваний елемент конструкції із діючим навантаженням у

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. №							Арк
			01/2022-PP.2						13
			Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата	

Формат А4

$\varepsilon_{cl,T}$ – відносна деформація, до якої діаграма деформування зростає,
 $\varepsilon_{cul,\theta}$ – гранична відносна деформація.

Дані параметри можна визначити за табл. 2.4.

Таблиця 2.4

**Значення типових параметрів діаграми «напруження – деформація»
 для звичайного бетону на гранітному заповнювачі при підвищених
 температурах**

Температура бетону, θ	$k_{c,t}(\theta)$	$\varepsilon_{cl,\theta}$	$\varepsilon_{cul,\theta}$
[°C]	[-]	[-]	[-]
1	2	3	4
20	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425
1000	0,04	0,0250	0,0450
1100	0,01	0,0250	0,0475
1200	0,00	-	-

2.10.4 Пружно-пластичні властивості арматурної сталі в умовах високотемпературного нагрівання

Для врахування зниження міцності арматурної сталі під час її нагрівання початкова міцність помножується на коефіцієнт зниження міцності:

$$f_{sy,t}(\theta) = k_s(\theta) f_{yk,t}, \quad (2.16)$$

де $k_s(\theta)$ – коефіцієнт зниження міцності бетону у залежності від температури.

При врахуванні нелінійних деформацій звичайної та попередньо напруженої арматурної сталі також визначається зміна межі пропорційності у залежності від температури. Всі дані параметри можна визначити з табл. 2.5.

Зам. інв. №							
Підпис і дата							
Інв. №							
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	01/2022-PP.2	Арк
							15

Таблиця 2.5

**Значення параметрів діаграми «напруження – деформація»
гарячекатаної та холодно тягнутої арматурної сталі при підвищених
температурах**

Температура сталі θ [°C]					$E_{s,\theta}/E_s$	
	гарячекатана звичайна $f_{sy,\theta}/f_{yk}$	гарячекатана п. напружена $f_{py,\theta}/(\beta f_{pk})$	гарячекатана звичайна $f_{sp,\theta}/f_{yk}$	гарячекатана п. напружена $f_{pp,\theta}/(\beta f_{pk})$	гарячекатана звичайна	гарячекатана п. напружена
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	0,98	1,00	0,72	1,00	0,76
200	1,00	0,92	0,81	0,62	0,90	0,51
300	1,00	0,86	0,61	0,58	0,80	0,62
400	1,00	0,69	0,42	0,52	0,70	0,41
500	0,78	0,26	0,36	0,14	0,60	0,20
600	0,47	0,21	0,18	0,11	0,31	0,15
700	0,23	0,15	0,07	0,09	0,13	0,10
800	0,11	0,09	0,05	0,06	0,09	0,06
900	0,06	0,04	0,04	0,03	0,07	0,03
1000	0,04	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00
1100	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00
1200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Для діаграм деформування арматурної сталі робочі формули мають такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 &\text{при } 0 < \varepsilon_s < \varepsilon_{s0} & \sigma_s &= E_{s,\theta} \varepsilon_s \\
 &\text{при } \varepsilon_{s0} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy} & \sigma_s &= f_{sp,\theta} - c + (b/a)[a^2 - (\varepsilon_{sy} - \varepsilon_s)^2]^{0,5}, \\
 &\text{при } \varepsilon_{sy} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{st} & \sigma_s &= f_{sy,\theta}, \\
 &\text{при } \varepsilon_{st} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s2} & \sigma_s &= f_{sy,\theta} [1 - (\varepsilon_s - \varepsilon_{st})/(\varepsilon_{s0} - \varepsilon_{st})], \\
 &\text{при } \varepsilon_{s2} < \varepsilon_s & \sigma_s &= 0, \\
 &\text{де } a, b, c - \text{параметри, визначувані за формулами:}
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$

$$\begin{aligned}
 a^2 &= (\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp} + c/E_{s,\theta}), \quad b^2 = c(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})E_{s,\theta} + c^2 \\
 c &= \frac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})^2}{(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})}
 \end{aligned}
 \tag{2.18}$$

де ε_{sy} – деформація, при якій настає межа текучості,
 ε_{st} – деформація, при якій починається спадна ділянка діаграми,
 $f_{sp,\theta}$ – границя пропорційності сталі,
 $E_{s,\theta}$ – модуль пружності сталі, залежний від температури нагрівання.

2.10.5 Зонний метод

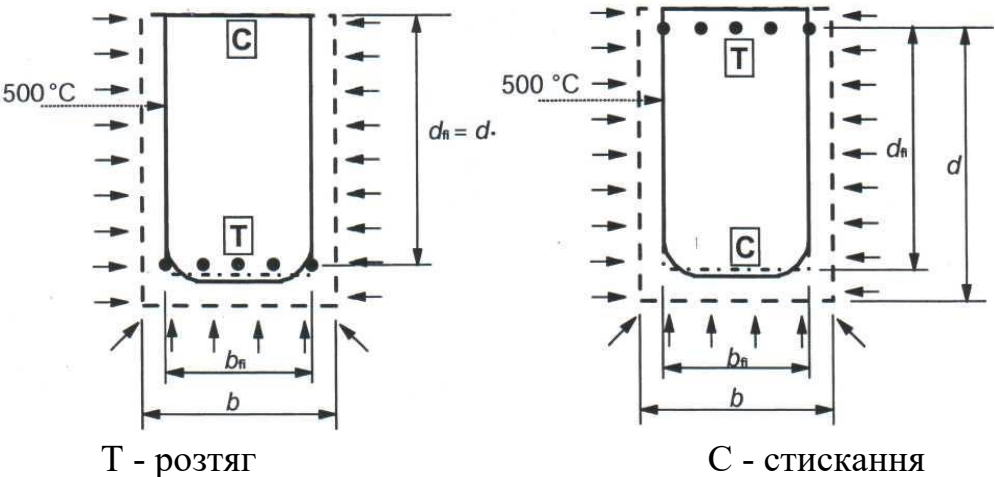
Для розв'язку міцнісної задачі використовується зонний метод. Зонний метод полягає у розділенні перерізу на ушкоджені зони, не здатної опиратися силовій дії механічного навантаження та зони, яка опирається механічним

Зам. інв. №	$C = \frac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})}{(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})}$					(2.16)	
Підпис і дата	де ε_{sy} – деформація, при якій настає межа текучості, ε_{st} – деформація, при якій починається спадна ділянка діаграми, $f_{sp,\theta}$ – границя пропорційності сталі, $E_{s,\theta}$ – модуль пружності сталі, залежний від температури нагрівання.						
Інв. №	2.10.5 Зонний метод						
	Для розв’язку міцнісної задачі використовується зонний метод. Зонний метод полягає у розділенні перерізу на ушкодженій зони, не здатної опиратися силовій дії механічного навантаження та зони, яка опирається механічним						
						01/2022-PP.2	Арк
							16
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	

Після визначення ушкодженої зони, визначається зменшений переріз елемента. Властивості бетону у зменшеному перерізі відповідають бетону у не нагрітому стані. При розрахунку також враховується і арматурні стержні, навіть якщо вони не входять до неушкодженої частини перерізу. За даними температури у арматурних стержнях враховується зниження міцності арматурної сталі відповідно до табл. 2.5.

Визначається температура арматурних стержнів в розтягнутій або стисненій зонах. Деякі з арматурних стержнів можуть виходити за межі приведеного поперечного перерізу як зображено на рис 2.2. Але, їх потрібно враховувати в розрахунку критичної несучої здатності поперечного перерізу при вогневій дії. Далі визначається зменшена міцність арматури в залежності від температури згідно з діаграмами деформування.

Для розв’язку задачі міцності для стін, плит та сходового маршу застосовується метод додатку В.1 п. В.1.2 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2. На рис. 2.3 наведений основний принцип розрахунку несучої здатності поперечного перерізу як з розтягнутим так і зі стиснутим армуванням.



а) тристоронній вогневий вплив на розтягнуту зону

б) тристоронній вогневий вплив на стиснуту зону

Рис. 2.2. Приведений поперечний переріз залізобетонної балки або колони.

Якщо усі стиснуті стержні, розміщені в рядах, мають однакову площу, можна застосовувати наступні формули при розрахунку відстані a від нижньої поверхні розрахункового поперечного перерізу до центру тяжіння арматурного ряду.

Зам. інв. №	Якщо усі стиснуті стержні, розміщені в рядах, мають однакову площу, можна застосовувати наступні формули при розрахунку відстані <i>a</i> від нижньої поверхні розрахункового поперечного перерізу до центру тяжіння арматурного ряду.																			
Підпис і дата																				
Інв. №																				
						01/2022-PP.2				Арк										
										18										
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата															

$$k(\varphi)f_{sd,fi} = \frac{\sum_i [k_s(\theta_i)f_{sd,i}A_i]}{\sum_i A_i}, \quad (2.25)$$

де $k_s(\theta_i)$ коефіцієнт зниження міцності і-того арматурного стержня;
 $f_{sd,i}$ розрахунковий опір і-того арматурного стержня;
 A_i площа поперечного перерізу і-того арматурного стержня;

Відстань a від розрахункового поперечного перерізу до центру тяжіння арматурної групи розраховується за формулою (2.41).

$$a = \frac{\sum_i [a_i k_s(\theta_i) f_{sd,i} A_i]}{\sum_i [k_s(\theta_i) f_{sd,i} A_i]}, \quad (2.26)$$

де a_i відстань від розрахункового поперечного перерізу до осі і-того арматурного стержня.

Розрахунок згинального моменту поперечного перерізу може виконуватися за такими виразами:

$$M_{u1} = A_{s1} f_{sd,fi}(\theta_m) z, \quad (2.27)$$

$$\omega_k = \frac{A_{s1} f_{sd,fi}(\theta_m)}{b_{fi} d_{fi} f_{cd,fi}(20)}, \quad (2.28)$$

$$M_{u2} = A_{s2} f_{scd,fi}(\theta_m) z', \quad (2.29)$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad (2.30)$$

де A_s загальна площа армування;

$f_{sd,fi}$ розрахунковий опір армування на розтяг;

$f_{scd,fi}$ розрахунковий опір армування на стиск;

ω_k коефіцієнт міцності армування поперечного перерізу при вогневому впливі;

b_{fi} ширина приведенного поперечного перерізу при пожежі;

d_{fi} робоча висота приведенного поперечного перерізу при пожежі;

$f_{cd,fi}(20)$ розрахунковий опір бетону на стиск (при нормальній температурі);

z відстань між розтягнутими арматурними стержнями;

z' відстань від розтягнутого армування до стиснутого армування;

θ_m середня температура арматурного ряду.

Коли вплив моменту оцінюється як показано вище, повна здатність чинити опір моменту обчислюється за такою формулою:

$$M_u = M_{u1} + M_{u2} \quad (2.31)$$

Потім отримане значення порівнюється із моментом, що діє у балці згідно з розрахунковою схемою. Якщо обчислене значення моменту більше, це значить межа вогнестійкості не досягається.

Зам. інв. №						Арк
Підпис і дата						01/2022-PP.2
Інв. №						20
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата

Для альтернативної оцінки класу вогнестійкості застосовується метод згідно із додатком ВЗ п. 3.2.

Для вивчення розподілень температури по перерізу сходового маршу нами пропонується розрахункова методика, заснована на розв'язку рівняння теплопровідності із граничними умовами (ГУ) III роду встановлена чинними стандартами України і детально описана у роботах [1 – 4, 6]. Математична модель теплопередачі у цьому випадку добре описана у роботах [1 – 4, 6]. При цьому використовуються рівняння (6) – (9).

Відповідно до обраного методу використана діаграма, що наведена на рис. 2.4.

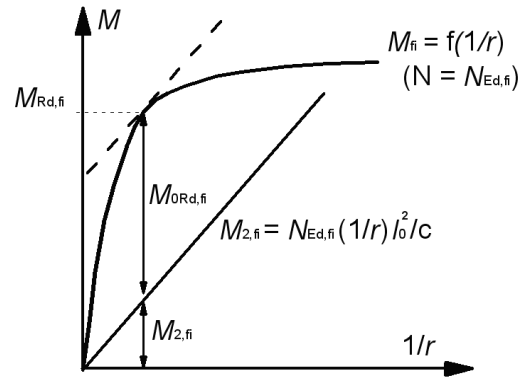


Рис. 2.4. Схема визначення максимального моменту, що здатна витримати досліджувана залізобетонна колона.

Для розрахунку використаний алгоритм, блок-схема якого наведена на рис. 2.5.

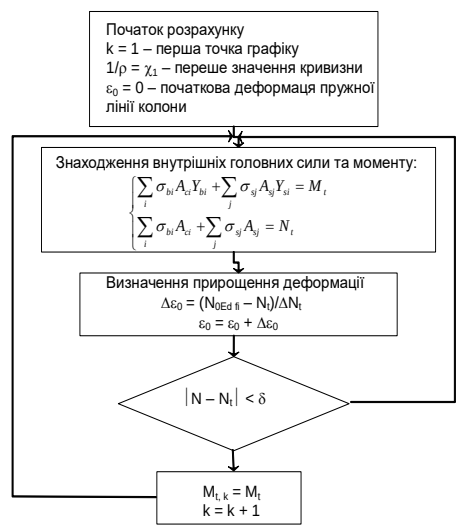


Рис. 2.5. Блок-схема алгоритму визначення найбільшого моменту залізобетонної колони.

Для перевірки розрахункової оцінки залізобетонних колон застосовується табличний метод В відповідно до п. 5.3.3 EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2. Згідно з цим методом за табл. 5.1б EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2 визначаються мінімальні товщина та осьова відстань арматури до обігрівної поверхні для відповідних

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						01/2022-PP.2	Арк
Зм.	Кільк.	Арк.	№доку.	Підп.	Дата		21

елементів. При відсутності відповідного класу вогнестійкості у таблиці означені параметри визначаються шляхом лінійної інтерполяції.

Інв. №	Підпис і дата	Зам. інв. №							01/2022-PP.2		Арк
											22
			Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата			

3. ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ НЕСУЧОЇ ЦЕГЛЯНОЇ СТІНИ

3.1 Технічне описання стіни

Досліджувана стіна є несучою. Дана стіна зведена на монолітних залізобетонних силових плитах. Матеріалом стіни є кладка з керамічної цегли на цементно-піщаному будівельному розчині, оштукатурена цементно-піщаним розчином. На рис. 3.1 показана конструкція досліджуваної стіни.

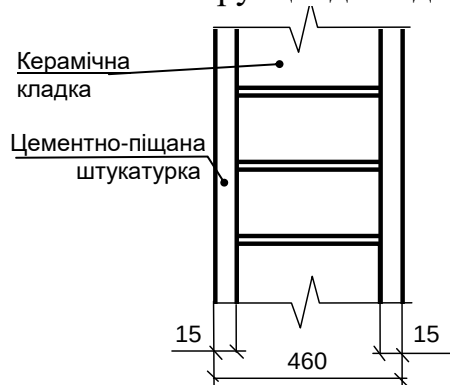


Рис. 3.1. Конструктивна схема несучої стіни СНЦ-1.

Відповідно до вимог стандартів встановлений клас вогнестійкості для даної стіни. Визначений клас вогнестійкості поданий у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Функціональне призначення та необхідний клас вогнестійкості несучої цегляної стіни

Елемент конструкції	Позн.	Призначення	Неб-ний клас вогнестійкості
Стіна несуча із керамічної цегли	СНЦ-1	Стіна протипожежна 1 типу	REI 150

3.2. Методика розрахунку

Для вивчення розподілень температури по перерізу стіни нами пропонується розрахункова методика, заснована на розв'язку рівняння теплопровідності із граничними умовами (ГУ) III роду встановлена чинними стандартами України і детально описана у роботах [1 – 4, 6].

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-4-98*, ДБН В.1.1-7:2016, ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:2012 критерій теплоізолювальної здатності вважається забезпеченим, коли підвищення середньої температури по всій необігрівній поверхні обмежене 140 °С, а підвищення максимальної температури у будь-якій точці поверхні не перевищує 180 °С. Тому будемо вважати, коли температура на необігрівній поверхні досягає температури 140 °С настає граничний стан втрати теплоізолювальної здатності. Якщо за контрольний час стан втрати теплоізолювальної здатності не настає, це означає що за цим станом зовнішня стіна, або залізобетонна плита перекриття відповідає необхідному класу вогнестійкості.

Зам. інв. №							
Підпис і дата							
Інв. №							
						01/2022-PP.2	
						Арк	
						23	
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

Втрата цілісності настає у той час, коли утворюються наскрізні отвори або тріщини через які можуть поширюватись продукти горіння, полум'я і т.п. Стан втрати цілісності контролюється за трьома ознаками: загорання або тління зі свіченням ватного тампона, що піднесений до необігрівної поверхні зразка в місцях тріщин на відстань від 20 мм до 30 мм протягом проміжку часу не менше ніж 30 с; виникнення тріщини, через яку можна вільно (без додаткових зусиль) ввести в піч щуп діаметром 6 мм і перемістити його вздовж цієї тріщини на відстань не менше 150 мм; виникнення тріщини (або отвору), через яку можна вільно ввести в піч щуп діаметром 25 мм; полум'я на необігрівній поверхні зразка спостерігається протягом проміжку часу не менше ніж 10 с.

У випадку стіни із цегли чинними стандартами не регламентується розрахунок цілісності. Такий стан зумовлений тим, що цегла ефективно опирається розтріскуванню під тепловою дією пожежі. Найбільш небезпечним місцем в кам'яній кладці з керамічної цегли є шви з будівельного розчину. Умовою зберігання несучої спроможності є зберігання цілісності швів.

3.3. Початкові дані до розрахунку

3.3.1. Розрахункові схеми

Для вивчення розподілень температури по перерізу стіни нами використана розрахункова методика, заснована на розв'язку рівняння теплопровідності із граничними умовами (ГУ) III роду рекомендована чинними стандартами України і детально описана у роботах [1 – 4, 6]. Крайова задача при цьому була поставлені з використанням розрахункової схеми, яка подана на рис. 3.2.

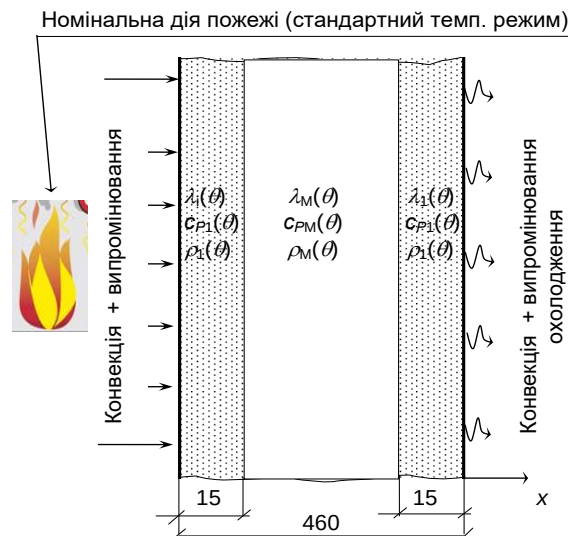
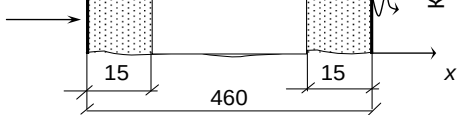


Рис. 3.2 Розрахункова схема при односторонньому нагріву стіни СНЦ-1.

Згідно із розробленою методикою для визначення температурного розподілення у перерізі стіни використаний метод кінцевих різниць. Для його реалізації була складена розрахункова схема, подана на рис. 3.3.

Зам. інв. №																		
Підпис і дата	Рис. 3.2 Розрахункова схема при односторонньому нагріву стіни СНЦ-1. Згідно із розробленою методикою для визначення температурного розподілення у перерізі стіни використаний метод кінцевих різниць. Для його реалізації була складена розрахункова схема, подана на рис. 3.3.																	
Інв. №							01/2022-PP.2										Арк	
																	24	
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата												

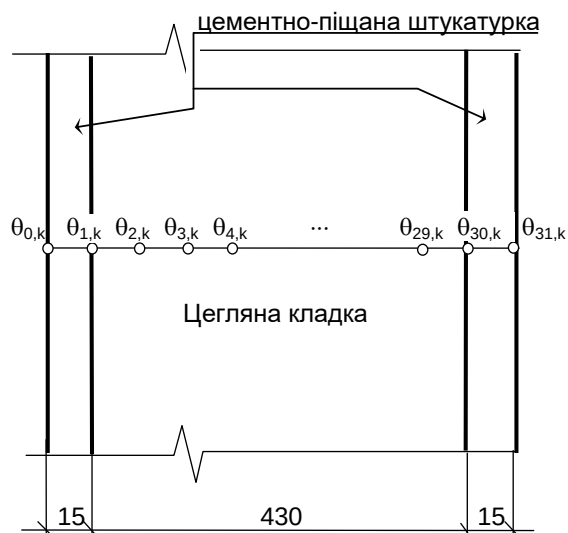


Рис. 3.3. Кінцево-різницева схема для розв'язку задачі теплопровідності при визначенні температур у перерізі стіни СНЦ-1.

Для розрахунку також необхідно задати початкову температуру розрахункової області та параметри граничних умов. Параметри граничних умов наведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Параметри граничних умов для кам'яних несучих стін

Параметр	Позн.	Од.вим.	Вел.	Посилання
Обігрівна сторона				
Конвективна складова коефіцієнту теплообміну	α_c	Вт/(м ² °C)	25	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012
Ступінь чорноти поверхні кам'яної стіни	ε		0,8	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012
Необігрівна сторона				
Коефіцієнт теплообміну	α	Вт/(м ² °C)	9	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012

Для розв'язку задачі теплопровідності за методом кінцевих різниць необхідно задатись початковими даними. Згідно із розробленою нами методикою нами були встановлені початкові дані, відповідні п. 2.6 дійсної роботи.

3.3.2. Теплофізичні властивості

Для розв'язку рівняння теплопровідності потрібно задати температурні залежності теплофізичних характеристик матеріалів несучої стіни. В табл. 3.3 подані теплофізичні характеристики матеріалів необхідних для здійснення розрахунку.

Зам. інв. №						
Підпис і дата						
Інв. №						
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	01/2022-PP.2
						Арк
						25

Таблиця 3.3

Теплофізичні характеристики матеріалів цегляних стін

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda(\theta)$, Вт/(м·°С)	Об'ємна питома теплоємність, $c_p(\theta) \cdot \rho$, Дж/(м³·°С)	Густина, кг/м³
Кладка з керамічної цегли ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:2012 [1]		
0,42· при $0^\circ\text{C} \leq \theta \leq 20^\circ\text{C}$, $0,42 + 4,7 \cdot 10^{-3}(\theta - 50)$ при $20^\circ\text{C} < \theta \leq 200^\circ\text{C}$, 1,26 при $200^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C}$	564· при $20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C}$, $(1,1 \cdot 10^4 + 13,5(\theta - 100))\rho$ при $100^\circ\text{C} \leq \theta \leq 200^\circ\text{C}$, $(2,8 \cdot 10^3 + 3,9(\theta - 100))\rho$ при $200^\circ\text{C} \leq \theta \leq 1200^\circ\text{C}$.	825
Цементно-піщана штукатурка [8]		
1,2	$\rho \cdot 1000$	1800

3.4. Результати теплотехнічного розрахунку

Розрахунок реалізований у програмному середовищі табличного процесору Microsoft Excel 2003. Після виконання розрахунку були отримані результати, які представлені на рис. 3.5 у вигляді графіку температури нагріву контрольних точок у залежності від часу пожежі.

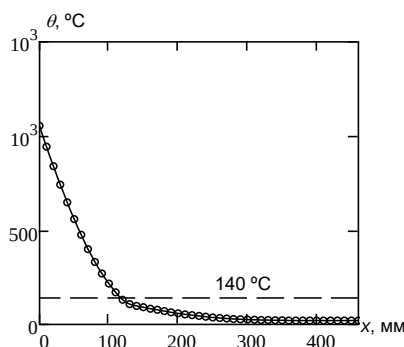


Рис. 3.5. Температурні розподіли по перерізу стіни СНЦ-1.

Аналізуючи дані, подані на графіку рис. 3.5, можна помітити, що температура на необігрівній стороні стіни протягом контрольного часу для досліджуваної стіни не досягає значення 140°C . Це дає нам змогу стверджувати, що клас вогнестійкості даної стіни є не меншим за необхідний за табл. 3.1, тобто вона за граничним станом втрати теплоізолювальної здатності відповідає вимогам норм.

3.5. Результати розрахунку цілісності та несучої здатності

Втрата цілісності настає у той час, коли утворюються наскрізні отвори або тріщини через які можуть поширюватись продукти горіння, полум'я і т.п. Стан втрати цілісності контролюється за трьома ознаками: загоряння або тління зі свіченням ватного тампона, що піднесений до необігрівної поверхні зразка в місця тріщин на відстань від 20 мм до 30 мм протягом проміжку часу не менше ніж 30 с; виникнення тріщини, через яку можна вільно (без додаткових зусиль) ввести в піч щуп діаметром 6 мм і перемістити його вздовж цієї тріщини на

Зам. інв. №								Арк
Підпис і дата						01/2022-PP.2		26
Інв. №	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		

відстань не менше 150 мм; виникнення тріщини (або отвору), через яку можна вільно ввести в піч щуп діаметром 25 мм; полум'я на необігрівій поверхні зразка спостерігається протягом проміжку часу не менше ніж 10 с.

Для визначення несучої здатності задана міцність розчину цегляної кладки як для групи 2 за табл. 3.1 EN 1996-1-1: $f_b = 10$ МПа. За табл. 3.3 EN 1996-1-1 визначена міцність кладки для керамічної цегли – $f_k = 3.5$ МПа.

Розрахункова сила, що діє на фрагмент стіни визначається за формулою:

-для стіни СНЦ-1:

$$N_{Rd} = [0.85 - 0.0011(h_{ef}/t_{ef})] f_k \gamma_M^{-1} l \cdot t_{ef} = 900.629 \text{ кН};$$

де $h_{ef} = 4560$ мм – ефективна висота стіни;

$t_{ef} = 460$ мм – ефективна товщина стіни СНЦ-1.

$\gamma_M = 1.5$ – коефіцієнт безпеки;

$l \cdot t_{ef} = 460 \text{ мм}^2$ – ефективна площа поперечного перерізу стіни.

Погонне навантаження на стіну СНЦ-1 з врахуванням сполучення постійних та тривалих тимчасових навантажень складає $N_{Ed,pl} = 720$ кН/м, а для стіни враховується тільки власна вага.

Розрахункове навантаження на фрагмент стіни складає:

-для стіни СНЦ-1:

$$N_{Ed,fi} = N_{Ed,n} \cdot \eta_{fi} = 504 \text{ кН},$$

де $\eta_{fi} = 0.7$ – коефіцієнт зниження навантаження при пожежі.

Коефіцієнт навантаження складає:

-для стіни СНЦ-1:

$$\alpha = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 0.56 < 0.6$$

Для визначення класу вогнестійкості досліджуваної стіни застосовується табличний метод згідно із табл. N.B.1.2. за ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:2012 та табл. 5.3 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012. Для визначення класу вогнестійкості досліджуваної стіни була застосована лінійна інтерполяція. Отримані дані наведені у табл. 3.4.

Зам. інв. №							Арк
Підпис і дата							
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата		

Таблиця 3.4

Мінімальні розміри та осьові відстані для несучої цегляної стіни

Стандартна вогнестійкість	Мінімальні розміри (мм)
	Товщина стіни w_s
Несуча цегляна стіна СНЦ-1 (односторонній вплив)	
REI 120	365
REI 180	365
REI 150 (за лін інтерп.)	365
Необхідний клас вогнестійкості	Реальні розміри (мм)
REI 150	460

Дані табл. 3.4 показують, що клас вогнестійкості досліджуваної стіни більший за необхідний, оскільки реальні розміри більші за мінімальні. Тож клас вогнестійкості стіни СНЦ-1 не менший за REI 150, що відповідає встановленим вимогам.

3.6. Оцінка класу вогнестійкості стіни та відповідності її встановленим вимогам

За даними, які отримані у п. 3.1 – п. 3.5 можна зробити висновок, що для несучої стіни протипожежної 1 типу СНЦ-1 клас вогнестійкості REI 150 забезпечений.

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. №							01/2022-PP.2	Арк
										28
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата					

4. ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ОБ'ЄКТУ

Розглянувши будівельні конструкції об'єкту були розраховані їх фактичні класи вогнестійкості, що наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Класи вогнестійкості інших конструкцій об'єкту

Елемент конструкції	Позн.	Необхідний клас вогнестійкості	Фактичний клас вогнестійкості	Ступінь відповідності
Несучі стіни				
Стіна протипожежна 1 типу	СНЦ-1	REI 150	REI 150	Відповідає

З огляду на дані табл. 4.1 можливо зробити висновок:

стіна протипожежна 1 типу відповідає встановленим вимогам для забезпечення класу вогнестійкості REI 150 згідно класифікації за ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

Зам. інв. №							
	Підпис і дата						
Інв. №							
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата	01/2022-PP.2	Арк
							29

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Для перевірки відповідності елементів конструкцій реконструйованої нежитлової будівлі під готель 3* за адресою: м. Київ, Шевченківський район, вул. Михайла Коцюбинського, 12 встановленим вимогам виконані розрахунки щодо оцінки класу вогнестійкості елементів конструкцій. Розрахунки відповідають методикам, встановленим у чинних стандартах України, і аналогічних других частин стандартів Євросоюзу, Eurocode 1, Eurocode 5 та Eurocode 6.

За результатами розрахунку встановлено, що стіна протипожежна 1 типу відповідає встановленим вимогам для забезпечення класу вогнестійкості REI 150 згідно класифікації за ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

Зам. інв. №							
Підпис і дата							
Інв. №							
						01/2022-PP.2	Арк
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		30

ЛІТЕРАТУРА

1. Жуков В.В. Взрывообразное разрушение бетона / Жуков В.В., Гуляева В.Ф., Сорокин А.Н. // Огнестойкость строительных конструкций. – Вып. 4. – 1976. – С. 42–57.
2. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. СТО 36554501-006-2006 – [Введен в действие 1996-01-01] – М.: Стройиздат, 2006. – 77 с. – (Национальный стандарт РФ).
3. Бартелеми Б. Огнестойкость строительных конструкций / Бартелеми Б., Крюппа Ж. – М.: Стройиздат, 1985. – 216 с.
4. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1988. – 144 с.
5. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності. (ENV 13381-4:2002) ДСТУ Б В.1.1-17:2007. [Чинний від 2007-01-01.] – К.: Укрархбудінформ, 2007. – 62 с – (Національний стандарт України).
6. Леннон Т., Мур Д.Б., Ван Ю.К., Бейли К.Г. Руководство для проектировщиков к EN 1991-1-2:2002, EN 1992-1-2:2002, EN 1993-1-2:2002 и EN 1994-1-2:2002 : справочник по проектированию противопожарной защиты стальных, сталежелезобетонных и бетонных конструкций зданий и сооружений в соответствии с Еврокодами : пер. с англ. / Т. Леннон и др.; ред. Серии Х. Гульванесян; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т» ; науч ред. пер. В.М. Ройтман, И.А. Кириллов, А.И. Плотников; 2-е изд., Москва – МГСУ, 2013. – 196 с.
7. Промышленные здания. Каталог систем и материалов. Пособие для проектировщиков при использовании изоляционных систем «ROCKWOOL». Москва. – 2010. – 42 с.
8. Франчук А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов, М.: НИИ строительной физики, 1969 - 142 с.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						01/2022-PP.2	Арк
Зм.	Кільк.	Арк.	№доку.	Підп.	Дата		31