

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри БДМБ, к.т.н., професор
В.А. Настоящий
" ____ " _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему: **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ
НА СТАЛЕВІ КАРКАСИ ОДНОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ**

Виконав здобувач вищої освіти 6 курсу
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія
В.А. Чуманевич
" ____ " _____ 2021 р.

Керівник магістерської роботи, к.т.н., ст. викл.
М.В. Пашинський
" ____ " _____ 2021 р.

Консультант з охорони праці, к.т.н., доцент
В.В. Дарієнко
" ____ " _____ 2021 р.

Кропивницький – 2021 рік

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Розділ 1 ДОСВІД ВИВЧЕННЯ Й НОРМУВАННЯ ВПЛИВІВ ТЕМПЕРАТУРИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ	7
1.1 Температура атмосферного повітря як фактор впливу на будівельні конструкції, будівлі та споруди.....	7
1.2 Подання температурних впливів на будівельні конструкції в нормах проєктування.....	10
1.3 Урахування температурних впливів при проєктуванні несучих будівельних конструкцій	17
Висновки по розділу 1.....	21
Розділ 2 РОЗРАХУНКОВІ ЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ КОНСТРУКЦІЙ....	23
2.1 Принципи встановлення розрахункових значень.....	23
2.2 Розрахункові значення перепадів температури за ДБН.....	25
2.3 Розрахункові параметри температури за метеорологічними даними .	27
2.4 Порівняльний аналіз розрахункових значень перепадів температури	34
Висновки по розділу 2.....	39
Розділ 3 ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА СТАЛЕВІ КАРКАСИ ОДНОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ	40
3.1 Об'єкти, завдання й методика досліджень.....	40
3.2 Методи розрахунку просторових конструкцій в середовищі програмного комплексу Autodesk Robot Structural Analysis	43
Висновки по розділу 3.....	51
Розділ 4 ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	52
4.1 Вплив довжини й ширини будівлі	52
4.2 Вплив висоти будівлі.....	76

					КМР 1727428 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Чуманевич В.А.			Дослідження впливу температури повітря на сталеві каркаси одноповерхових будівель	Стадія	Арк.
Перевір.		Пашинський М. В.					2
							114
Н. Контр.		Дарієнко В. В.				ЦНТУ гр. БІ-20М	
Затверд.		Настоящий В. А.					

Висновки по розділу 4.....	81
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	82
GENERAL CONCLUSIONS.....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86
Додаток 1. ВПЛИВ ЧАСУ ЗАМИКАННЯ КОНСТРУКЦІЙ КАРКАСА.....	96
Додаток 2. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ З ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ СТІН ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ	107

					КМР 1727428 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження впливу температури повітря на сталеві каркаси одноповерхових будівель	Стадія	Арк.	Аркушів
Розроб.		Чуманевич В. А.					3	114
Перевір.		Пашинський М. В.						
						ЦНТУ гр. БІ-20М		
Н. Контр.		Дарієнко В. В.						
Затверд.		Настоящий В. А.						

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Досліджено закономірності змін температури атмосферного повітря та сталевих будівельних конструкцій, а також впливу цих змін на напружено-деформований стан сталевих каркасів одноповерхових виробничих будівель.

Згідно зі сформульованими вимогами та передумовами проведено статистичний аналіз добових коливань температури повітря за даними метеостанцій України, визначені й узагальнені розрахункові значення відхилень температури від середньодобових величин. За результатами статистичної обробки даних метеостанцій України встановлені розрахункові значення перепадів температури повітря й сталевих конструкцій каркасу неопалюваної будівлі, проаналізована їх територіальна мінливість, яка порівняна з відповідними даними чинних норм навантажень ДБН В.1.2-2:2006.

Розроблена методика та план чисельного експерименту, проведене комп'ютерне моделювання й розрахунки ряду сталевих каркасів неопалюваних виробничих будівель на дію повного комплексу навантажень, включаючи зміни температури конструкцій. За результатами чисельного експерименту проаналізовано вплив розмірів у плані, висоти та початкової температури замикання конструкцій на переміщення й напруження в елементах сталевих каркасів від перепадів температури атмосферного повітря.

Робота показала, що встановлені у ДБН В.1.2-2:2006 прирости температури відкритих металевих конструкцій, спричинені добовими коливаннями температури повітря, близькі до розрахункових значень, визначених за результатами дослідження добових амплітуд температури повітря. Істотний вплив на напружено-деформований стан несучих конструкцій виявляє їх початкова температура, залежна від періоду замикання каркаса. Для розглянутих каркасів замикання в зимовий період призводить до зростання зусиль і перерізів елементів, а замикання в літній період дозволяє за рахунок зменшення поперечних перерізів колон та ригелів знизити витрати сталі на каркас. Рациональний вибір періоду замикання у відповідності до розрахункової схеми конструкції може служити засобом управління зусиллями при проектуванні сталевих каркасів будівель.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		5

SUMMARY

The regularities of changes in the outside air temperature and steel structures, as well as the impact of these changes on the stress-strain state of steel frames of single-storey industrial buildings are studied.

According to the formulated requirements and preconditions the statistical analysis of daily fluctuations of air temperature according to meteorological stations of Ukraine is carried out, the design values of temperature deviations from average daily values are defined and generalized. According to the results of statistical processing of meteorological stations of Ukraine, the design values of air temperature differences and steel structures of the unheated building frame are established, their territorial variability is analyzed, which is compared with the corresponding data of current load standards DBN B.1.2-2: 2006.

The methodology of the numerical experiment were developed, computer modeling and calculations of a number of steel frames of unheated industrial buildings for the full range of loads, including changes in the temperature of structures is carried out. According to the results of the numerical experiment, the influence of physical dimensions in the plan, height and initial temperature of structures during the closing of structure on the displacement and stress in the elements of steel frames from changes in atmospheric air temperature is analyzed.

The work showed that the temperature gains of open metal structures caused by daily fluctuations of air temperature established in DBN B.1.2-2: 2006 are close to the design values determined by the results of the study of daily air temperature amplitudes. Significant influence on the stress-strain state of load-bearing structures has their initial temperature, depending on the period of closure of the frame. For the considered frameworks, closing in winter leads to an increase of loads and cross-sections of elements, and closing in summer allows to reduce the cost of steel on the frame by reducing the cross-sections of columns and beams. Rational choice of the closing period in accordance with the design scheme of the structure can serve as a way to control the internal stress in the design of steel frames of buildings.

					KMP 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Актуальність теми. Зміни температури атмосферного повітря мають істотний вплив на роботу огорожувальних та несучих будівельних конструкцій, а також на довговічність будівельних матеріалів. З урахуванням мінімальних зимових температур проектується теплозахисна оболонка будівель та системи опалення, зміни температури призводять до втрати морозостійкості пористих матеріалів при їх насиченні водою, певні температурні режими можуть сприяти виникненню ожеледі та конденсату на поверхнях конструкцій, що викликає додаткові навантаження та сприяє розвитку корозії сталевих конструкцій.

Особливої уваги заслуговують дослідження й урахування силового впливу температури на несучі конструкції, у яких можуть виникати додаткові переміщення й напруження від перепадів температури. Чинні в Україні норми навантажень ДБН В.1.2-2:2006 практично не враховують територіальну мінливість параметрів температури атмосферного повітря, значення яких встановлені однаковими для усієї території України. Норми температурних впливів у ДБН В.1.2-2:2006 розроблені на методологічній основі норм навантажень колишнього СРСР і не гармонізовані з нормами проектування ЄС. У ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції" дещо збільшені гранично допустимі відстані між температурними швами порівняно з попередніми СНиП, але питання впливу габаритних розмірів та конструктивних особливостей на величини переміщень і напружень в елементах сталевих каркасів промислових будівель від дії температури не можна вважати вивченим.

Мета дослідження. Метою роботи є дослідження закономірностей змін температури атмосферного повітря та сталевих будівельних конструкцій, а також впливу цих змін на напружено-деформований стан сталевих каркасів одноповерхових виробничих будівель. Для досягнення мети необхідно розв'язати такі завдання:

					<i>КМР 1727428 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

- провести аналіз опублікованих результатів досліджень температури атмосферного повітря, її подання в нормах навантажень, впливу та урахування змін температури при проектуванні несучих конструкцій каркасів виробничих будівель;
- виконати статистичний аналіз добових коливань температури повітря за даними метеостанцій України, визначити й узагальнити розрахункові значення відхилень температури від середньодобових величин;
- за результатами статистичної обробки даних метеостанцій України встановити розрахункові значення перепадів температури повітря й сталевих конструкцій каркасу неопалюваної будівлі, проаналізувати їх територіальну мінливість і порівняти з відповідними даними чинних норм навантажень ДБН В.1.2-2:2006;
- розробити методику та план чисельного експерименту, провести комп'ютерне моделювання й розрахунки ряду сталевих каркасів неопалюваних одноповерхових виробничих будівель на дію повного комплексу навантажень, включаючи зміни температури конструкцій;
- за результатами чисельного експерименту проаналізувати вплив розмірів у плані, висоти та початкової температури замикання конструкцій на переміщення й напруження в елементах сталевих каркасів від перепадів температури атмосферного повітря; виявити гранично допустимі відстані між температурними швами для змодельованих каркасів і порівняти їх з нормативами ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції";

Об'єкт дослідження: температурні впливи на сталеві каркаси одноповерхових виробничих будівель.

Предмет дослідження: напружено-деформований стан сталевих каркасів виробничих будівель при дії змін температури атмосферного повітря.

Методи дослідження: методи комп'ютерного 3-D моделювання в середовищі сучасних програмних комплексів при виконанні чисельного експерименту з дослідження впливу температури на напружено-деформований стан сталевих конструкцій каркасів, методи статистичного аналізу даних при

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

дослідженні добових змін температури повітря та визначенні розрахункових значень перепадів температури повітря за даними метеостанцій.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що нами отримані залежності для визначення гранично допустимих розмірів температурного блоку одноповерхової виробничої будівлі за критеріями граничних переміщень та зростання температурних напружень в несучих конструкціях просторового каркасу і виявлено, що при малих висотах будівель відстані між температурними швами необхідно зменшувати.

Практичне значення полягає в тому, що нами розроблена й апробована методика проведення чисельного експерименту з дослідження впливу температури на напружено-деформований стан сталевих каркасів одноповерхових будівель, отримані величини гранично допустимих розмірів температурного блоку; виявлено істотний вплив періоду замикання та початкової температури конструкцій на величину зусиль, напружень в елементах і переміщень характерних точок сталевих каркасів.

Апробація та публікація результатів роботи. Основні положення магістерської роботи були представлені на III Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції «Досвід впровадження у навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій» (Кропивницький, жовтень 2021 року)

Результати досліджень були **опубліковані в тезах доповіді:**

Чуманевик В.А. Комп'ютерні технології дослідження впливу змін температури на напружено-деформований стан сталевих каркасів будівель // Досвід впровадження в навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій. Збірник матеріалів III Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції. – Кропивницький: ЦНТУ, 2021.

Структура роботи. Робота містить 114 сторінок, у тому список з 92 використаних джерел, анотацію українською та англійською мовами, а також мультимедійну презентацію. Текст роботи містить вступ, 4 розділи, висновки і рекомендації за результатами досліджень та два додатки.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

Розділ 1

ДОСВІД ВИВЧЕННЯ Й НОРМУВАННЯ ВПЛИВІВ ТЕМПЕРАТУРИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

1.1. Температура атмосферного повітря як фактор впливу на будівельні конструкції, будівлі та споруди

Більшість будівельних конструкцій, будівель і споруд у процесі експлуатації взаємодіють з природним середовищем і сприймають впливи кліматичних факторів, у тому числі атмосферного повітря. Вплив температури атмосферного повітря проявляється та враховується в таких формах:

- мінімальні зимові температури для теплотехнічних розрахунків огорожувальних конструкцій будівель та систем опалення;
- максимальні літні температури для теплотехнічних розрахунків огорожувальних конструкцій та систем кондиціонування повітря;
- переходи температури через 0°C, які можуть викликати замерзання й відтавання води в порах будівельних матеріалів і таким чином призводять до втрати їх морозостійкості;
- перебування температури повітря в межах, що сприяють виникненню інших кліматичних впливів (реалізація близьких до нуля температур, при яких може утворюватися ожеледь; пониження температури до значень, при яких відбувається конденсація вологи на відкритих поверхнях конструкцій, що сприяє розвитку корозії незахищених сталевих конструкцій тощо);
- сезонні перепади температури, що викликають переміщення й напруження в несучих конструкціях (температурні навантаження).

Основні результати дослідження й нормування згаданих аспектів впливу температури атмосферного повітря на будівельні конструкції, будівлі та споруди проаналізовані в наступних підрозділах. При цьому головна увага звертається на останній із вказаних видів температурних впливів, тобто на дослідження й нормування силового впливу температури на несучі будівельні конструкції, який

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

згідно з класифікацією [18, 19] прийнято називати температурним навантаженням.

Дослідження температурних впливів усіх вказаних вище видів базуються на результатах метеорологічних спостережень за температурою повітря, які є одним з найдавніших видів систематичних інструментальних вимірювань параметрів клімату. В Російській імперії систематичні спостереження за температурою розпочаті у 1849 році на базі Головної фізичної обсерваторії, яка організувала мережу метеорологічних станцій та встановила єдиною методику вимірювань. На території України спостереження за температурою повітря ведуться приблизно на 500 метеорологічних станціях і постах, які утворюють досить густу мережу пунктів спостереження.

Спостереження за температурою повітря ведуться на метеорологічних станціях та постах відповідно до настанови [41]. Вимірювання ведуться рідинними (ртутними чи толуоловими) термометрами, розміщеними в психрометричній будці на висоті два метри від поверхні землі. Будка має жалюзі, які захищають розміщені в ній термометри від дії сонячних променів і забезпечують вимірювання температури повітря в затінку. Як правило, в будці встановлюють термометр для вимірювань поточних значень температури, а також мінімальний та максимальний термометри, які забезпечують визначення найбільшої та найменшої температури повітря протягом доби.

Вимірювання температури проводяться у певні строки вісім разів на добу: о 1-й, 4-й, 7-й, 10-й, 13-й, 16-й, 19-й, 22-й годині. Такий підхід дозволяє виявити не лише середньодобові значення температури повітря, але й встановити її добовий хід та добові амплітуди. Для більш детального вивчення добового ходу температури на деяких метеостанціях в будках такого ж типу встановлюються термографи, за допомогою яких ведуться безперервні записи температури.

Отримані таким чином дані характеризують температуру повітря в затінку на стандартній висоті 2 м над поверхнею землі. Для прогнозування температур повітря та термічного режиму конструкцій, розміщених на інших висотах чи відкритих дії сонячних променів вводяться поправки, визначені за результатами

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювань температури на різних висотах та з урахуванням спостережень за інтенсивністю сонячної радіації.

Результати метеорологічних спостережень накопичуються в архівах системи Гідрометеослужби та періодично публікуються в спеціалізованих виданнях [38, 39, 72]. Залежно від обсягу первинної інформації та напрямів її подальшого використання, застосовуються різні форми подання метеорологічних показників, у тому числі результатів вимірювань температури. Окрім безпосередньої публікації результатів усіх строкових вимірювань на розрідженій вибірковій мережі метеостанцій в метеорологічних щомісячниках [39], використовуються середні значення, крайні значення, амплітуди, повторюваність за градаціями температури та інші показники, опубліковані в щомісячниках [38] та в довіднику [72].

Середні значення характеризують температурний режим місцевості в цілому. В метеорології використовують середньодобові, середньомісячні та середньорічні значення температури повітря. Середньодобове значення оцінюється за безперервними записами або за результатами строкових спостережень. Середньомісячні значення обчислюються за рядом середніх добових значень за даний місяць, а середньорічні – за рядом середніх місячних величин. Середні місячні та річні значення, обчислені за рядами спостережень тривалістю понад 30 років, називають кліматичними нормами і використовують для порівняння особливостей клімату різних географічних районів.

Амплітуда коливань температури повітря є різницею між найбільшим та найменшим значенням температури протягом певного періоду вимірювань. Для вирішення практичних питань найчастіше використовуються добові та річні амплітуди, визначені як середні значення протягом усіх років спостережень.

Повторюваність значень температури повітря, або значень добової амплітуди коливань температури відображає закон розподілу відповідного кліматичного параметра. Повторюваність вказує, як часто спостерігаються різні значення температури (чи амплітуди) в даному географічному районі. Диференціальні повторюваності температури й амплітуди повітря прийнято

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

визначати для інтервалів з градацією в 5 градусів, виражаючи їх числом днів або процентом від загального числа днів у місяці чи році.

Для проведення статистичного аналізу з метою ймовірнісного опису температури атмосферного повітря можуть бути використані:

- результати строкових вимірювань температури повітря на конкретній метеостанції, взяті з журналів спостережень;
- довідник по клімату СРСР [72] (середньомісячна та середня річна температура повітря, число днів із середньодобовою температурою повітря в різних межах, повторюваність добової амплітуди температури повітря);
- метеорологічний щомісячник [39] (результати чотиристрокових вимірювань температури на вибірковій мережі метеостанцій);
- метеорологічний щомісячник [38] (середня, максимальна та мінімальна температури для кожного окремого місяця).

Окрім того, для дослідження атмосферних навантажень і впливів можуть бути використані результати кліматологічних досліджень, які характеризують окремі регіони чи території, наприклад [34, 37, 42, 62, 79] та інші подібні видання.

1.2. Подання температурних впливів на будівельні конструкції в нормах проєктування

Розроблення норм проєктування будівель, споруд і будівельних конструкцій в колишньому СРСР активно розпочалося в 30-ті роки ХХ століття. У післявоєнні роки була створена система нормативних документів для будівельної галузі під назвою "Строительные нормы и правила" (СНиП), яка проіснувала до кінця ХХ століття. Окремі розділи СНиП продовжують діяти в Україні, поступово витісняючись системою національних нормативних документів – Державними будівельними нормами України (ДБН).

Урахування впливу температури атмосферного повітря на будівельні конструкції, будівлі та споруди в основному регламентувалося двома розділами СНиП: правила розрахунку несучих конструкцій на силовий вплив температури

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

викладені в СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия" [70], а значення температури для теплотехнічних розрахунків огорожувальних конструкцій будівель наведені в СНиП 2.01.01-82 "Строительная климатология и геофизика" [69]. У 2011 році набрав чинності новий стандарт ДСТУ Н Б В.1.1–27:2010 "Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія" [26], який розроблено на заміну СНиП 2.01.01-82. У новому ДСТУ змінений перелік розрахункових параметрів, а також розширено список пунктів спостереження до 53 міст України.

У 2006 році СНиП 2.01.07-85 замінено на ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи" [19]. Нормативні документи [19] і [70] в частині нормування температурних впливів збудовані на єдиній методологічній основі. Температурний перепад, який повинна сприймати конструкція, визначається як різниця між екстремальною температурою повітря (середня температура найтеплішої чи найхолоднішої доби) та ймовірною температурою замикання конструкції в статично невизначену систему (середня температура холодного чи теплого півріччя). Як СНиП [70], так і ДБН [19] ураховують температурні впливи двох видів: зміни середньої по перерізу елемента температури, які викликають поздовжні деформації елемента, а також перепади температури по перерізу елемента, які викликають деформації згину в цьому елементі. Перелік розрахункових параметрів з посиланням на методику й джерела їх визначення в СНиП [70] і в ДБН [19] наведений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Визначення розрахункових параметрів у СНиП і ДБН для території України

Розрахункові параметри		Визначення за СНиП 2.01.07-85	Визначення за ДБН В.1.2-2:2006
t_{ew}	середня добова температура зовнішнього повітря в теплу пору року	від +26°C до +31°C за формулою та картою районування	+28°C для усієї території України
t_{ec}	середня добова температура зовнішнього повітря в холодну пору року	від –5°C до –25°C за формулою та картами районування	мінус 20°C для усієї території України
t_{0w}	початкова температура замикання конструкції в теплу пору року	від +14°C до +21°C за формулою та картами районування	плюс 15°C для усієї території України
t_{0c}	початкова температура замикання конструкції в холодну пору року	від –4°C до +9°C за формулою та картами районування	0°C для усієї території України

θ_1	приріст температури, середньої по перерізу елемента неопалюваної чи опалюваної будівлі, викликаний добовими коливаннями температури зовнішнього повітря	від 2°C до 8°C залежно від матеріалу та масивності конструкцій	
θ_2	те ж для будівлі зі штучним кліматом чи з постійними технологічними джерелами тепла	від 2°C до 6°C залежно від матеріалу та масивності конструкцій	
θ_3	приріст перепаду температури по перерізу елемента будівлі зі штучним кліматом чи з постійними технологічними джерелами тепла, викликаний добовими коливаннями температури зовнішнього повітря	від 4°C до 6°C залежно від матеріалу та масивності конструкцій	
θ_4	приріст температури, середньої по перерізу елемента, викликаний дією сонячної радіації	за формулою (1) через $\rho, S_{\max}, k, k_1$	
θ_5	приріст перепаду температури по перерізу елемента, викликаний дією сонячної радіації	за формулою (1) через $\rho, S_{\max}, k, k_1$	
k	коефіцієнт, що враховує орієнтацію відкритих поверхонь конструкцій	від 0,7 до 1,0 за таблицею	
k_1	коефіцієнт, що враховує швидкість теплопередачі залежно від матеріалу та масивності конструкцій	від 0,3 до 0,7 за таблицею	
ρ	коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні конструкції	від 0,3 до 0,9 за додатком 7 СНиП II-3-79*	
$S_{\max}$	максимальне значення сумарної (прямої і розсіяної) сонячної радіації, Вт/м ²	за СНиП 2.01.01-82 залежно від географічної широти та орієнтації поверхні конструкції	Найбільші можливі значення для кожної орієнтації поверхні (від 540 Вт/м ² до 890 Вт/м ²)

З таблиці видно, що більшість розрахункових параметрів визначаються однаково, але ДБН гірше, ніж СНиП, враховує географічне положення об'єкта будівництва, встановлюючи частину розрахункових параметрів незмінними для усієї території України. За рахунок такого узагальнення середньодобова температура повітря в холодну пору року за ДБН [19] може відхилятися від СНиП [70] в межах 15°C, а початкова температура замикання в холодну пору року – до 9°C. При умові жорсткого закріплення кінців виявлена різниця температур може створювати напруження в сталевих елементах

$$\Delta\sigma = \Delta t \times \alpha \times E = 15 \times 1,2 \cdot 10^{-5} \times 2,06 \cdot 10^5 = 37,1 \text{ МПа.} \quad (1.1)$$

Оскільки це сягає 15% розрахункового опору широкоживаної сталі С245, ігнорування територіальної мінливості середньодобової температури повітря в ДБН [19], особливо в холодну пору року, слід вважати недопустимим.

В таблиці 1.1 також показано, що для елементів конструкцій, захищених від впливу сонячної радіації, зміни середньої по перерізу елемента температури в ДБН і СНиП визначаються окремо для теплої та для холодної пори року як різниця між найвищою літньою температурою експлуатації конструкцій t_w , та початковою зимовою температурою їх замикання t_{0c} , або різниця між найнижчою зимовою температурою експлуатації конструкцій t_c та початковою літньою температурою їх замикання t_{0w} . Перепади температури по перерізу елемента, захищеного від дії сонячної радіації, вважаються рівними нулю.

Європейські норми EN 1991-2-5:2003 [87], розроблені на принципах [86], відрізняються від вітчизняних норм у першу чергу принципом структурної побудови. Всі норми та положення є спільними для будь-яких країн Європи, а географічний фактор враховується в національних додатках, які розробляються країнами-учасниками самостійно на основі рекомендацій Єврокоду. У випадку, якщо національний додаток відсутній, пропонується взяти рекомендовані розробниками значення, які й були прийняті в наведеному нижче порівнянні. Температура в окремому елементі розподіляється на чотири основні складові:

- складова рівномірно розподіленої температури ΔT_u ;
- складова лінійного температурного перепаду по осі $z - z$, ΔT_{Mz} ;
- складова лінійного температурного перепаду по осі $y - y$, ΔT_{My} ;
- складова нелінійного температурного перепаду ΔT_E .

Згідно Єврокоду необхідно розраховувати складову рівномірно розподіленої температури, ΔT_u , що визначається як різниця між середнім значенням температури T елемента і його початковою температурою T_0 . Температуру одношарової конструкції допускається визначати як середнє значення внутрішньої й зовнішньої температур повітря T_{in} і T_{out} . Температуру T_{in} у випадку відсутності національного додатку встановлено на рівні 20°C та 25°C влітку та взимку відповідно. Температуру T_{out} визначають у залежності від розташування конструкції вище чи нижче рівня землі. Для конструкцій, розташованих вище рівня землі T_{out} необхідно приймати за таблицею 1.2 (таблиця 5.2 з норм [87]).

					KMP 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

Температура для елементів над рівнем землі T_{out}

	Основні фактори		Температура T_{out} , °C
Літо	Відносна адсорбція залежно від кольору й поверхні	0,5 променисто світла поверхня	$T_{max} + T_3$
		0,7 світла кольорова поверхня	$T_{max} + T_4$
		0,9 темна поверхня	$T_{max} + T_5$
Зима			T_{min}
Примітка: Значення максимальної температури зовнішнього повітря T_{max}, мінімальної температури зовнішнього повітря T_{min}, а також температурні впливи від сонячного випромінювання T_3, T_4 і T_5 допускається встановлювати в національному додатку. При відсутності значень для регіонів між широтою 45°N і 55°N рекомендується застосування значень: $T_3 = 0^{\circ}\text{C}$, $T_4 = 2^{\circ}\text{C}$ і $T_5 = 4^{\circ}\text{C}$ — для елементів у напрямку північний схід; $T_3 = 18^{\circ}\text{C}$, $T_4 = 30^{\circ}\text{C}$ і $T_5 = 42^{\circ}\text{C}$ — для південно-західного напрямку або горизонтально розташованих елементів.			

Початкову температуру T_0 слід приймати як температуру, замикання конструкції або її частини в закінчену систему. Якщо це не прогнозовано, то слід приймати середню температуру, що діє протягом періоду зведення споруди. Значення T_0 допускається встановлювати в національному додатку. При відсутності інформації застосовують $T_0 = 10^\circ\text{C}$.

Для конструкцій, не захищених від впливу сонячної радіації, згідно ДБН та СНИП додатково враховуються прирости температур θ_1 – θ_5 , викликані добовими коливаннями температури зовнішнього повітря та дією сонячної радіації. Вони визначаються з урахуванням виду та ступеню масивності конструкцій (металеві, бетонні, залізобетонні, кам'яні різної товщини), фактури та орієнтації поверхні конструкцій, а також величини сонячної радіації, що діє на поверхні різної орієнтації.

Прирости θ_1 – θ_3 , вказані в таблиці 1.1, обумовлюються добовими коливаннями температури зовнішнього повітря й не відрізняються в СНИП [70] і ДБН [19]. Прирости температури, викликані дією сонячної радіації, в СНИП і в ДБН визначаються за однаковими формулами

$$\theta_4 = 0,05 \rho S_{\max} k k_1; \quad (1.2)$$

$$\theta_5 = 0,05 \rho S_{\max} k (1 - k_1), \quad (1.3)$$

але відрізняються способом визначення максимального значення сумарної сонячної радіації $S_{\max}$. СНИП вимагають встановлювати значення $S_{\max}$ за СНИП [69] з урахуванням географічної широти місця будівництва та орієнтації поверхні конструкції, а в ДБН для кожної орієнтації поверхні наведені найбільші можливі значення $S_{\max}$ в межах території України.

Необхідність урахування географічного положення при визначенні змін температури металевих конструкцій внаслідок дії сонячної радіації проаналізована шляхом виконання порівняльних розрахунків згідно з вимогами ДБН [19] та СНИП [70] за формулами (1.2), (1.3). В розрахунках, результати яких наведені в таблиці 1.3, враховані інтенсивності сонячної радіації для усієї території України, яка розміщена між 44° та 52° північної широти, а також коефіцієнт поглинання сонячної радіації $\rho=0,7$.

Таблиця 1.3

Вплив сонячної радіації на температури металевих конструкцій

Орієнтація поверхні	Значення за СНИП для географічної широти			За ДБН В.1.2-2:2006
	44°	48°	52°	
	Максимальна сонячна радіація, Вт/м ²			
горизонтальна	894	866	852	890
південь	428	490	547	540
схід	756	764	781	780
захід	756	764	781	780
	Приріст температури θ_4 , °C			
горизонтальна	21,9	21,2	20,9	21,8
південь	10,5	12,0	13,4	13,2
схід	13,0	13,1	13,4	13,4
захід	16,7	16,8	17,2	17,2
	Приріст температури θ_5 , °C			
горизонтальна	9,4	9,1	8,9	9,3
південь	4,5	5,1	5,7	5,7
схід	5,6	5,6	5,7	5,7
захід	7,1	7,2	7,4	7,4

З таблиці видно, що сумарна величина сонячної радіації на горизонтальну поверхню та поверхні, орієнтовані на схід і захід, в межах України змінюється не більше, ніж на 5%. Більші відмінності спостерігаються для поверхонь південної орієнтації. Пропорційно цим змінам змінюються також прирости температури θ_4 і θ_5 . Найбільше відхилення температури конструкцій, визначеної за СНиП [70] і за ДБН [19] складає $\Delta t = 2,7^\circ\text{C}$. Згідно з формулою (1.12), при жорсткому закріпленні це може викликати різницю напружень в 6,7 МПа, тобто менше 3% розрахункового опору маловуглецевої сталі. Така похибка при оцінюванні напруженого стану металевих конструкцій є неістотною, а тому реалізовану в ДБН [19] відмову від урахування географічного положення об'єкта будівництва в межах території України при визначенні змін температури конструкцій від дії сонячної радіації слід вважати цілком допустимою.

В Єврокодi прийнято більш просту градацію за кольором та орієнтацією поверхні. Залежно від кольору поверхні (або показника відносної абсорбції) до максимальної температури зовнішнього повітря T_{max} можуть додаватися три коефіцієнти T_3 , T_4 чи T_5 . Їх абсолютна величина в загальному випадку знаходиться у національному додатку, але за відсутності такого може прийматися $T_3 = 0^\circ\text{C}$, $T_4 = 2^\circ\text{C}$ і $T_5 = 4^\circ\text{C}$ — для елементів, орієнтованих на північний схід; $T_3 = 18^\circ\text{C}$, $T_4 = 30^\circ\text{C}$ і $T_5 = 42^\circ\text{C}$ — для південно-західної орієнтації та для горизонтально розташованих елементів.

Очевидно, що поправки на вплив сонячної радіації в Європейських нормах навантажень [87] набагато перевищують аналогічні значення в СНиП [70] та ДБН [19]. Це дає підстави для більш детального дослідження впливу сонячної радіації на відкриті конструкції будівель та споруд.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

1.3. Урахування температурних впливів при проєктуванні несучих будівельних конструкцій

Зміни температури викликають лінійні деформації та переміщення, а також додаткові напруження в жорстких статично невизначених системах. Згідно з фундаментальними положеннями опору матеріалів та будівельної механіки [73], деформації від зміни температури визначаються через коефіцієнт лінійного температурного розширення

$$\varepsilon = \Delta t \times \alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \times \Delta t, \quad (1.4)$$

де $\alpha = 1,2 \times 10^{-5}$ – коефіцієнт лінійного розширення сталі за ДБН [20];

Δt – перепад температури конструкції, який визначається за нормами навантажень [19].

Взаємне переміщення кінців елемента конструкції може визначатися множенням (1.4) на довжину цього елемента, а додаткові напруження від змін температури – згідно з законом Гука

$$\Delta \sigma = \varepsilon \times E = \varepsilon \times 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}, \quad (1.5)$$

де $E = 2,06 \times 10^5$ МПа – модуль пружності сталі за ДБН [20].

Формули (1.4) і (1.5) можуть використовуватися лише в ідеальних випадках, коли забезпечена повна свобода переміщень, або абсолютно жорсткі закріплення кінців стержнів. У проміжних випадках часткового пружного закріплення, як це звичайно буває в статично невизначених системах, виникають як переміщення, так і напруження від змін температури. Визначення температурних переміщень і напружень в складних просторових системах сталевих каркасів будівель є досить складним завданням, яке потребує повного розрахунку статично невизначеної просторової конструкції.

Такі розрахунки реально можна виконати за допомогою спеціальних програмних комплексів, які дають змогу змодельовати й розрахувати просторову конструкцію каркасу будівлі на дію різних навантажень і впливів, у тому числі й

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

змін температури. Найбільш поширеними є такі програмні комплекси для моделювання й розрахунку будівельних конструкцій:

- ПК «Лира» [83, 36];
- SCAD office [96];
- ANSYS [93, 3];
- NASTRAN for Windows [92, 14];
- Autodesk Robot Structural Analysis [91, 76].

Усі перелічені програмні комплекси дозволяють розраховувати просторові стержньові та континуальні системи на дію навантажень різного виду та температурних впливів і відрізняються особливостями інтерфейсу, можливостями обміну інформацією з іншими програмними продуктами (наприклад, системами для просторового моделювання та виконання креслень), особливостями та зручністю моделювання геометричних схем каркасів і навантажень на них, переліком доступних сортаментів прокатних профілів та арматурної сталі, бібліотеками конструктивних рішень та можливостями розрахунку вузлів різних конструкцій, обсягом програмного коду та вимогами до апаратного забезпечення та іншими деталями.

Дослідження впливу температури на напружено-деформований стан несучих конструкцій каркасів промислових будівель велися в таких основних напрямках: виявлення й аналіз величин переміщень і напружень від дії температури (в основному технологічної температури в цехах з надлишковими виділеннями тепла) [44, 46]; дослідження роботи й ступеню податливості вузлових з'єднань елементів сталевих конструкцій при дії температурних впливів [43]; методи статичного розрахунку сталевих каркасів промислових будівель на дію температури [45]; нормування допустимих розмірів температурного блоку ймовірнісними методами [75]. У цих напрямках проводилися як теоретичні, так і експериментальні дослідження на прикладах сталевих каркасів цехів, що перебували в експлуатації.

В [42] розглянуто податливість підкранових балок промислових будівель при дії на них температурних навантажень та встановлено, що влаштування

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

температурних швів є необхідним лише до певної довжини температурного блока, а при довжині, що менша за неї, напруження змінюються несуттєво. Також вказано, що за рахунок відпору колон можна знизити переміщення балок на 10-30%. В [46] розглянуто питання сприйняття зусиль від температурних впливів сталевими конструкціями промислових будівель та пропонується звертати увагу на відношення жорсткостей основних несучих конструкцій (колони, ригелі), оскільки це значно впливає на температурні зусилля та переміщення.

В роботі [43] досліджене питання податливості вузлів сталевих каркасів промислових будівель та експериментально встановлено, що наявність мостових кранів у промислових будівлях значно збільшує податливість вузлів, яке є дуже неоднорідним і навіть в межах одного ряду окремої будівлі має значний розкид. Пропонується враховувати податливість вузлів лише у будівлях, що мають значну довжину.

Вивчалися питання статичного розрахунку каркасів та особливостей реальної роботи сталевих каркасів промислової будівлі при дії температурних впливів. Ці питання досить повно висвітлені в фундаментальних роботах [30, 35], які містять як результати експериментальних досліджень, так і їх теоретичні узагальнення щодо особливостей урахування температурних впливів при проєктуванні сталевих каркасів одноповерхових виробничих будівель. В [45] проведено значну кількість експериментальних досліджень, але розрахунок пропонується проводити у плоскій постановці задачі. Ці результати можуть бути уточнені із застосуванням сучасних програмних комплексів для розрахунку просторових конструкцій.

Приділялася увага також питанням оцінювання й нормування температурних впливів на будівлі та споруди [84, 90], роботи будівельних матеріалів при дії температурних впливів [97], проєктування будівель і конструкцій з урахуванням впливів температури [81, 82, 89, 95, 98], а також нормуванню розмірів температурних блоків. В [75] для вирішення цієї задачі використано методи теорії надійності та імовірнісний підхід.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

Головним результатом проаналізованих вітчизняних досліджень стало нормування гранично допустимих відстаней між температурними швами. Ці відстані були встановлені в СНиП II-23-81* "Стальные конструкции" [71] і дещо збільшені в чинних ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції" [20], які замінили СНиП [71]. Якщо розміри температурного блоку не перевищують нормованих значень, розрахунки каркасів на дію температурних впливів можна не виконувати.

Порівняльний аналіз вимог цих нормативних документів наведено в таблиці 1.5, до якої занесені значення, що відповідають кліматичному району, до якого відноситься переважна частина території України з середньою температурою повітря в січні, нижчою за 0°C. Вказані в таблиці 1.4 інтервали розмірів між температурними швами враховують, що для будівель, вищих за 12 м, ДБН [20] дозволяють збільшувати відстані між температурними швами пропорційно висоті будівлі, але не більше, ніж у 1,5 рази.

Таблиця 1.4

Гранично допустимі відстані між температурними швами

Типи будівель і споруд	Уздовж блока		Поперек блока	
	за СНиП	за ДБН	за СНиП	за ДБН
Опалювана будівля	230	280 - 420	150	180 - 270
Неопалювана будівля	200	240 - 360	120	150 - 225
Гарячий цех		180 - 270		120 - 180
Відкрита естакада	130	150 - 225	—	—

З таблиці видно, що ДБН [20] дозволяють проєктувати температурні блоки набагато більших розмірів, ніж це було встановлено в СНиП [71]. Дозвіл на збільшення відстаней між температурними швами при великій висоті будівель обумовлений зменшенням кутів відхилення та відносних переміщень верхівок колон, які нормуються в [23], при тих же значеннях лінійних горизонтальних переміщень у рівні підкранових балок чи покриття, викликаних змінами температури конструкцій. Корисним нововведенням є розділення нормативів для

гарячих цехів та неопалюваних будівель. Адже зміни температури конструкцій неопалюваних будівель повинні бути близькими до змін температури атмосферного повітря (40 – 60°C), а технологічні температури несучих конструкцій гарячих цехів за даними [1] можуть сягати 200 °C.

З іншого боку, досить значне збільшення розмірів температурних блоків може викликати істотне зростання переміщень та напружень в елементах сталевих каркасів будівель від дії температурних впливів і тим самим знизити надійність основних несучих конструкцій. Тому нововведені нормативи ДБН [20] щодо допустимих відстаней між температурними швами спонукають до проведення додаткового аналізу напружено-деформованого стану несучих конструкцій сталевих каркасів.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 1

Виконаний огляд літературних джерел з питань дослідження та нормування температурних впливів, а також їх урахування при проєктуванні сталевих каркасів промислових будівель дозволяє зробити такі **висновки**:

1. Гідрометеорологічною службою накопичені значні обсяги інформації про температуру атмосферного повітря на території України, які можуть бути використані для статистичного дослідження й нормування температурних впливів на будівлі, несучі та огорожувальні конструкції.
2. Сучасна методологія нормування навантажень містить класифікацію навантажень, загальні принципи, ймовірнісні моделі та методи визначення розрахункових значень, які забезпечують можливість статистичного дослідження та нормування атмосферних навантажень і впливів на будівельні конструкції.
3. Дослідження температури атмосферного повітря, проведені з метою встановлення розрахункових значень температури для проєктування огорожувальних конструкцій показали, що зміни середньодобової температури атмосферного повітря можуть бути представлені у вигляді

					<i>KMP 1727428 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24

квазістаціонарного диференційованого випадкового процесу з річним періодом нестационарності.

4. Розрахункові значення температурних впливів на несучі конструкції, встановлені в ДБН В.1.2-2:2006 потребують уточнення, зокрема детального територіального районування значень зимової температури повітря. Європейські норми проектування мають більш чітку структуру та простішу схему визначення розрахункових значень перепадів температури.
5. Дослідження роботи сталевих каркасів при дії змін температури в основному проводилися для цехів металургійної промисловості з надлишковими виділеннями тепла, що викликають значні технологічні температури. Вплив змін температури атмосферного повітря на просторові системи сталевих каркасів досліджений не повною мірою.
6. Реалізоване в ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції" збільшення гранично допустимих відстаней між температурними швами в одноповерхових виробничих будівлях порівняно з вимогами попередніх норм СНиП II-23-81* "Стальные конструкции", спонукає до більш детального аналізу впливу змін температури атмосферного повітря на напружено-деформований стан сталевих каркасів, як просторових систем.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

РОЗРАХУНКОВІ ЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ КОНСТРУКЦІЙ

2.1. Принципи встановлення розрахункових значень

Розрахункові значення температури встановлюються для їх урахування при розрахунках несучих металевих конструкцій відомими методами будівельної механіки [73] з використанням нами програмного комплексу Autodesk Robot Structural Analysis. У випадку статично визначеної (незамкнутої) конструкції розраховуються переміщення характерних точок конструкції, а для замкнутої статично невизначеної конструкції – переміщення, зусилля й напруження в елементах від змін температури.

Для виконання розрахунків потрібно встановити розрахункові значення перепадів температури конструкцій, що є основним завданням даного розділу. Державні будівельні норми [19] передбачають виконання розрахунків на два значення температурного перепаду залежно від часу замикання конструкції, тобто завершення її монтажу й перетворення в статично невизначену систему:

- у випадку замикання конструкції взимку плюсовий температурний перепад визначається як різниця найвищої можливої літньої температури та зимової температури замикання;
- у випадку замикання конструкції влітку мінусовий температурний перепад (зменшення температури) визначається як різниця найнижчої можливої зимової температури та літньої температури замикання.

В обох випадках ДБН [19] враховують зміни середньомісячної та середньодобової температури повітря, добові коливання температури, а також додаткове нагрівання відкритих конструкцій за рахунок дії сонячної радіації. Два згадані температурні перепади будуть викликати протилежні знаки зусиль в конструктивних елементах від дії температури. Зміна знаку зусилля може привести до втрати стійкості окремих елементів при зусиллях стиску, менших ніж

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

зусилля розтягу. Тому при невизначеності періоду замикання конструкції слід вести розрахунок на дію обох перепадів температури.

З метою дослідження впливу температури повітря на напружено-деформований стан несучих металевих конструкцій у даному розділі необхідно:

- встановити розрахункові значення температурних перепадів за ДБН [19] для конструкцій, розміщених всередині неопалюваного приміщення;
- встановити розрахункові значення температурних перепадів для тих же конструкцій за реальними метеорологічними даними;
- проаналізувати отримані температурні перепади в різних географічних і кліматичних зонах України;
- виконати порівняльний аналіз розрахункових значень температурних перепадів, визначених за ДБН та за метеорологічними даними у різних районах України.

Для аналізу мінливості температурних перепадів по території України обрані метеостанції, розміщені в різних географічних зонах та кліматичних умовах, що відображають спектр можливих змін метеорологічних параметрів у межах території України. Перелік метеостанцій та наявних результатів метеорологічних спостережень, необхідних для встановлення розрахункових значень температури повітря, наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Метеостанції, дані яких використані для встановлення розрахункових значень температури повітря

Метеостанції	Наявність даних у довіднику по клімату [72]		
	Табл. 6 Повторюваність середньодобової температури повітря	Табл. 3а Добові амплітуди температури повітря	Табл. 2 Добовий хід температури повітря
Луганськ	+	+	Синельниково
Львів	+	+	Долина
Одеса, обсерваторія	+	+	+
Кропивницький	+	+	+
Ялта, порт	+	+	+
Чернігів	+	+	Глухів

Інформація про повторюваність середньодобової температури повітря та добові амплітуди температури наведена в довіднику по клімату [72] для усіх обраних метеостанцій. Найближчі метеостанції, для яких наявні дані про добовий хід температури повітря, вказані в останній колонці таблиці 2.1.

2.2. Розрахункові значення перепадів температури за ДБН

При розрахунках несучих конструкцій на дію температури враховуються температурні перепади двох видів. Конструкції, захищені від дії сонячної радіації, нагріваються рівномірно. Їх температура вважається постійною по перерізу елемента, а температурний перепад виникає внаслідок різниці між екстремальною температурою експлуатації конструкції та початковою температурою її замикання. Для конструкцій, не захищених від впливу сонячної радіації, додатково враховуються добові коливання температури повітря, а також перепад температури по перерізу елемента. Далі розглядаються сталеві несучі конструкції каркасу неопалюваної будівлі, які є захищеними від впливу сонячної радіації.

Згідно з ДБН [19], розрахункові значення перепадів температури повітря встановлюються однаковими для усієї території України. При цьому добова мінливість температури та вплив сонячної радіації на конструкції, що експлуатуються всередині неопалюваної будівлі, не враховуються.

Граничне розрахункове значення температурного перепаду в теплу пору року (при замиканні конструкції взимку) на підставі формули (11.1) і пункту 11.8 ДБН В.1.2-2:2006 дорівнює

$$\Delta_w = \gamma_{fm}(t_w - t_{0c}). \quad (2.1)$$

Граничне розрахункове значення температурного перепаду в холодну пору року (при замиканні конструкції влітку) на підставі формули (11.2) і пункту 11.8 ДБН В.1.2-2:2006 дорівнює

$$\Delta_c = \gamma_{fm}(t_c - t_{0w}). \quad (2.2)$$

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28

Визначення розрахункових значень температурних перепадів оформлене в таблиці 2.2, де наведені назви й позначення усіх величин, посилання на пункти ДБН[19], за якими вони визначаються, а також отримані значення цих величин. Усі величини, що входять до формул (2.1) і (2.2), позначені та обчислені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Розрахунок температурних перепадів за ДБН

Розрахункові параметри		Джерело чи спосіб визначення	Для теплої пори року (замикання конструкції взимку)	Для холодної пори року (замикання конструкції влітку)
t_{ew}	середня добова температура зовнішнього повітря в теплу пору року	пункт 11.5	+28°C	
t_{ec}	середня добова температура зовнішнього повітря в холодну пору року	пункт 11.5		-20°C
t_{0w}	початкова температура замикання конструкції в теплу пору року	пункт 11.7		+15°C
t_{0c}	початкова температура замикання конструкції в холодну пору року	пункт 11.7	0°C	
t_w	характеристичне значення температури елемента в теплу пору року	$t_w = t_{ew}$ за табл. 11.1	+28°C	
t_c	характеристичне значення температури елемента в холодну пору року	$t_c = t_{ec}$ за табл. 11.1		-20°C
γ_{fm}	коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням температурного кліматичного впливу	пункт 11.8	1,1	1,1
Δ_w	граничне розрахункове значення зміни температури повітря в теплу пору року	(4.1) на підставі (11.1) ДБН	+31°C	
Δ_c	граничне розрахункове значення зміни температури повітря в холодну пору року	(4.2) на підставі (11.2) ДБН		-39°C

Таким чином, при розрахунку сталевих несучих конструкцій каркасів неопалюваних будівель на усій території України слід враховувати такі температурні перепади:

$\Delta_c = -39^\circ\text{C}$ – при замиканні конструкцій влітку;

$\Delta_w = +31^\circ\text{C}$ – при замиканні конструкцій взимку.

Для виявлення можливих змін знаку зусиль в різних елементах каркаса розрахунок необхідно проводити на обидва перепади температур. Якщо вирішальними є деформації стиску в елементах каркаса, можна обмежитися розрахунком на температурний перепад $\Delta_w = +31^\circ\text{C}$.

2.3. Розрахункові параметри температури за метеорологічними даними

Розрахункові значення параметрів температури повітря визначаються за даними шести метеостанцій України, перелічених в таблиці 2.1, з використанням імовірнісних моделей середньодобової температури повітря, розроблених у [29, 47, 48]. В роботах [29, 49] показано, що для цього необхідно знати річні функції математичного сподівання й стандарту, які можуть бути задані послідовностями з 12-ти місячних значень. Закон розподілу ординати з досить великою точністю можна вважати нормальним, а значення ефективної частоти прийняти рівним $\Omega = 0,6$ 1/добу для усієї території України.

Необхідні статистичні характеристики визначені за результатами строкових спостережень за температурою повітря на обраних метеостанціях. В довіднику [72] для кожного місяця року наведені повторюваності (середньомісячні кількості днів перебування) середньодобової температури повітря в різних межах, які по суті є гістограмами розподілу температури. Виходячи з відомих [12] формул статистичної обробки гістограм, запишемо вирази для обчислення оцінок математичного сподівання M й стандарту S за заданими повторюваностями:

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L n_i \frac{X_i + X_{i-1}}{2}; \quad S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^L n_i \left(\frac{X_i + X_{i-1}}{2} - M \right)^2}; \quad (2.3)$$

де L - кількість інтервалів у гістограмі повторюваностей;

X_i - кінець i -того інтервалу температури;

N - кількість днів у даному місяці;

n_i - повторюваність i -того інтервалу температури у днях.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

Приклад статистичної обробки даних довідника [72] за формулами (2.3) наведений в таблиці 2.3, де наведені повторюваності температури (в днях) для усіх місяців року, а в двох останніх строчках – функції математичного сподівання й стандарту за (2.3). Ці функції зображені також на рисунку 2.1, а гістограми розподілу температури для найхолоднішого та найтеплішого місяців року – січня та липня – наведені на рисунку 2.2.

Таблиця 2.3

Статистична обробка даних середньодобової температури в м. Кропивницький

X_i °C	Місяці року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-30	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	0,2	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
-20	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,3
-15	2,9	2	0,2	0	0	0	0	0	0	0,01	0,1	1,4
-10	5	5,2	1,5	0	0	0	0	0	0	0,01	0,8	3,3
-5	6,9	7,1	4,7	0,1	0	0	0	0	0	0,1	2,8	7,6
0	10,7	8,6	11	1,2	0	0	0	0	0	1,4	8,9	11,1
5	4,2	4,6	10,9	8,5	0,4	0,01	0	0	0,3	8	11,3	6,4
10	0,05	0,06	2,4	10,5	3,4	0,4	0	0,03	4,5	12,3	5,3	0,8
15	0	0	0,3	7,8	10,4	4,6	1,1	2,7	12,3	7,4	0,8	0,01
20	0	0	0	1,8	12,3	13,4	11,5	14	9,7	1,7	0,03	0
25	0	0	0	0,08	4,4	10,2	14,8	11,7	3	0,06	0	0
30	0	0	0	0	0,05	1,4	3,6	2,6	0,2	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0,01	0,04	0,01	0	0	0	0
M=	-6,8	-6,3	-1,2	7,6	15,3	18,8	20,9	19,8	14,4	7,5	0,8	-4,4
S=	6,79	6,30	5,20	4,99	4,58	4,11	3,64	3,86	4,57	4,89	5,35	5,95

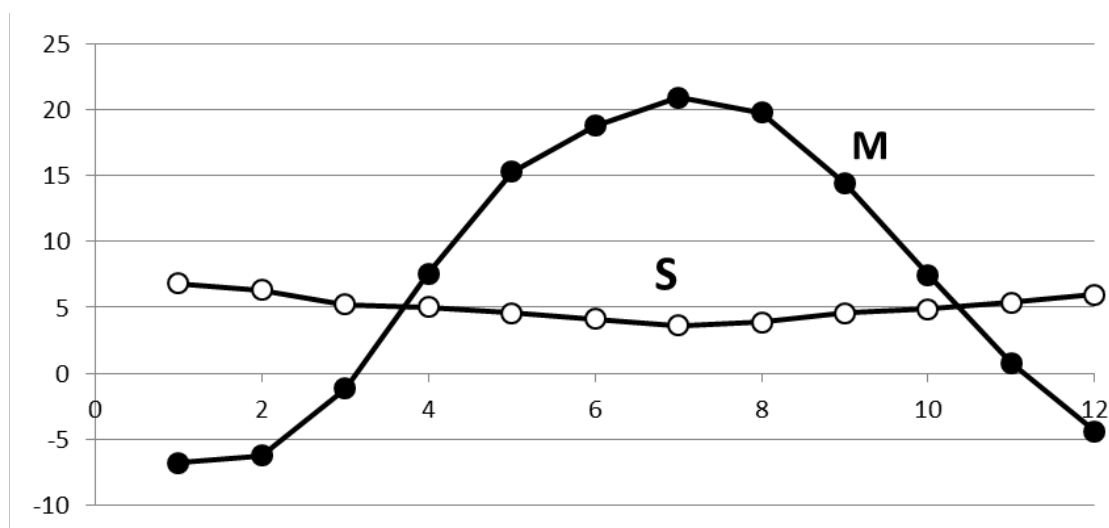


Рис. 2.1. Функції математичного сподівання й стандарту середньодобової температури повітря в м. Кропивницький

З рисунка 2.1 видно, що функції математичного сподівання й стандарту відображають відомі [27, 29, 54] закономірності річного ходу температури повітря: температура повітря взимку є нижчою і має більший розкид відносно середнього значення, тобто більші стандарти. Найхолоднішим місяцем року є січень, а найтеплішим – липень.

Зображена на рисунку 2.2 гістограма розподілу середньодобової температури повітря у липні відповідає нормальному закону розподілу. Гістограма розподілу січневих температур має помітну лівосторонню асиметрію, але також цілком задовільно може описуватися нормальним розподілом (особливо її ліва частина, необхідна для визначення найнижчої температури), густина якого також зображена на рисунку 2.2.

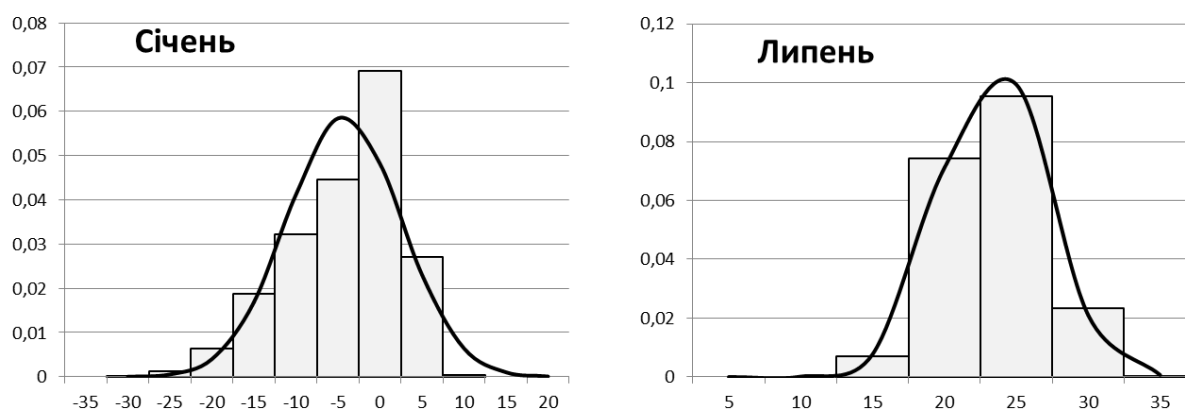


Рис. 2.2. Гістограми розподілу середньодобової температури повітря в м. Кропивницький

Статистична обробка даних інших п'яти метеостанцій з таблиці 2.1 виконана за такою ж методикою, а її результати за характером близькі до даних метеостанції Кропивницького. Необхідні для подальших обчислень значення математичного сподівання й стандарту середньодобової температури повітря в січні та липні для цих метеостанцій наведені в таблиці 2.4.

В ДБН [19] вказано, що значення t_{ew} дорівнює середній добовій температурі зовнішнього повітря в теплу пору року, t_{ec} - середній добовій температурі зовнішнього повітря в холодну пору року. Очевидно, що тут маються на увазі температури найхолоднішої та найтеплішої доби, але ні в ДБН [19], ні в СНиП [70], який був попередником [19], не вказаний період повторюваності цих

значень. Тому визначимо найнижчу та найвищу середньодобову температуру повітря для різних періодів повторюваності в межах від 5 до 200 років. Для цього можна скористатися наближеною методикою [29, 49], яка базується на використанні нормального закону розподілу ординати випадкового процесу температури повітря та даних найхолоднішого (січня) і найтеплішого (липня) місяців року. Наближеність такого підходу полягає в допущенні, що мінімум і максимум температури повітря завжди реалізуються саме в ці місяці.

В роботах [29, 49] наведене рівняння, яке можна отримати на основі відомої формули Райса [8, 65, 77]:

$$\frac{1}{T} = 4,9 \omega \sum_{j=1}^{12} \exp \left[-\frac{(X - M_j)^2}{2 S_j^2} \right], \quad (2.4)$$

де M_j і S_j – значення функцій математичного сподівання та стандарту процесу температури повітря для j того місяця року;

ω – ефективна частота процесу температури повітря, виражена в 1/добу;

T – середній період повторюваності розрахункового значення;

4,9 – коефіцієнт, що враховує 31 день у місяці та числові параметри (2.4).

Як і формула Райса, рівняння (2.4) має аналітичне рішення. За аналогією до рішення для формули Райса [8, 65, 77] запишемо вирази для розрахункового значення мінімальної зимової температури

$$t_{ec}(T) = M_1 - S_1 \sqrt{2 \ln(4,9 \omega T)}, \quad (2.5)$$

та максимальної літньої температури

$$t_{ew}(T) = M_7 + S_7 \sqrt{2 \ln(4,9 \omega T)}, \quad (2.6)$$

де M_1 , S_1 , M_7 , S_7 – математичні сподівання і стандарти випадкового процесу температури повітря у січні та липні.

Розрахункові значення середньодобової температури повітря

Метеостанції	M	S	$t_e(5)$	$t_e(10)$	$t_e(20)$	$t_e(50)$	$t_e(100)$	$t_e(200)$
Мінімальні температури для зимового періоду								
Кропивницький	-6,78	6,79	-22,5	-24,4	-26,1	-28,2	-29,6	-31,0
Чернігів	-6,75	6,71	-22,3	-24,2	-25,9	-27,9	-29,3	-30,7
Львів	-3,63	5,56	-16,5	-18,0	-19,5	-21,2	-22,3	-23,5
Луганськ	-6,41	7,29	-23,2	-25,3	-27,2	-29,4	-30,9	-32,4
Одеса	-2,06	5,63	-15,1	-16,7	-18,1	-19,8	-21,0	-22,1
Ялта	3,97	3,88	-5,0	-6,1	-7,1	-8,3	-9,1	-9,9
Максимальні температури для літнього періоду								
Кропивницький	20,89	3,64	29,3	30,3	31,2	32,4	33,1	33,9
Чернігів	19,95	3,43	27,9	28,8	29,7	30,8	31,5	32,2
Львів	18,87	3,52	27,0	28,0	28,9	30,0	30,7	31,4
Луганськ	22,63	3,59	30,9	31,9	32,9	33,9	34,7	35,4
Одеса	22,50	2,85	29,1	29,9	30,6	31,5	32,1	32,6
Ялта	24,06	2,91	30,8	31,6	32,4	33,2	33,9	34,4

Результати обчислень за формулами (2.5) і (2.6) для шести обраних метеостанцій наведені в таблиці 2.4, яка містить:

- оцінки математичного сподівання M і стандарту S для січня (верхня половина таблиці) та липня (нижня половина таблиці);
- температури найхолоднішої $t_{ec}(T)$ (верхня половина таблиці) і найтеплішої $t_{ew}(T)$ (нижня половина таблиці) доби для різних періодів повторюваності T .

За даними таблиці 2.4 збудовані графіки на рисунку 2.3, які відображають зміни температур найхолоднішої та найтеплішої доби залежно від середнього періоду їх повторюваності.

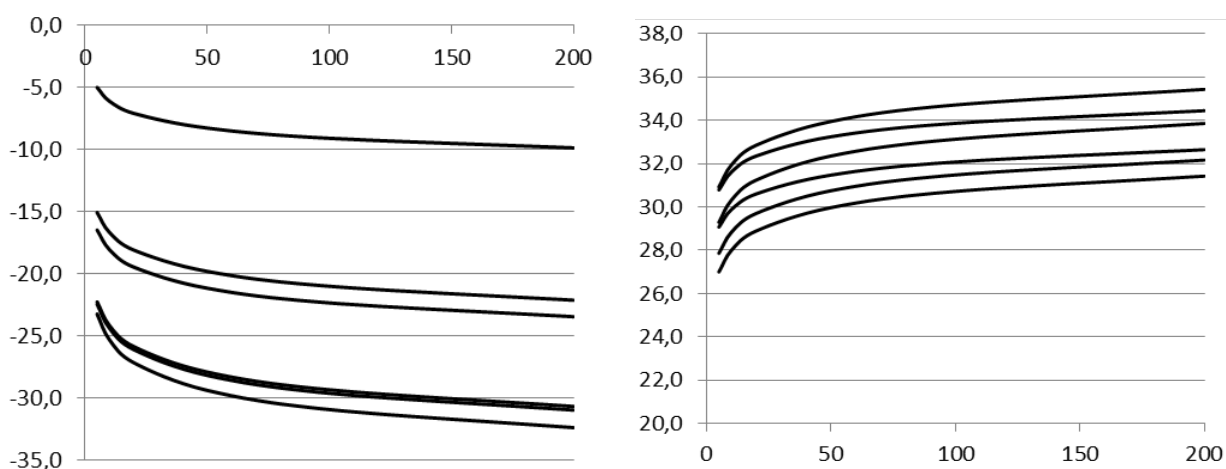


Рис. 2.3. Залежності температур найхолоднішої та найтеплішої доби від їх середнього періоду повторюваності

Залежності на рисунку 2.3 мають логарифмічний характер зростання при збільшенні періоду повторюваності (у випадку мінімальних температур мається на увазі зростання від'ємних значень). Температури найтеплішої доби $t_{ew}(T)$ досить близькі для усіх метеостанцій України. Встановлене в ДБН [19] розрахункове значення температури повітря в теплий період року $t_{ew}=+28^{\circ}\text{C}$ відповідає періоду повторюваності близько до 5 років, а значення $t_{ec}=-20^{\circ}\text{C}$ для холодного періоду року мають ще менший період повторюваності. Окрім того, температури найхолоднішої доби $t_{ec}(T)$ мають значний територіальний розкид. Вони досить близькі для метеостанцій Кропивницький, Чернігів і Луганськ, але значно вищі для метеостанцій Одеса та Львів. Особливо вирізняється в "теплий" бік Ялта, розміщена в субтропічному кліматі Південного берега Криму.

Початкові температури замикання конструкцій в ДБН [19] встановлені однаковими для усієї території України: $t_{oc}=0^{\circ}\text{C}$ - в холодну пору року і $t_{ow}=+15^{\circ}\text{C}$ в теплу пору року. Ніяких вказівок щодо порядку їх визначення не дається, але СНиП [70], які були попередником ДБН [19], містить формули, які в прийнятих нами позначеннях можна записати у вигляді:

$$t_{oc} = 0,8 M_1 + 0,2 M_7 ; \quad t_{ow} = 0,8 M_7 + 0,2 M_1 , \quad (2.7)$$

де M_1 і M_7 – середні температури повітря в січні та в липні.

Початкові температури замикання, обчислені за формулами (2.7) та наведеними в таблиці 2.4 середньомісячними температурами повітря в січні й липні, для усіх шести метеостанцій наведені в таблиці 2.4.

Фізичний зміст формул (2.7) виясимо на простому модельному прикладі. З рисунка 2.1 видно, що річну функцію математичного сподівання можна описати синусоїдою, що також підтверджується роботами [29, 54]. Запишемо рівняння синусоїди у вигляді

$$y = \sin(x) . \quad .8)$$

Період цієї синусоїди дорівнює 2π , а розмах дорівнює ± 1 . У випадку квазістаціонарного процесу температури повітря період синусоїди дорівнює одному рокові, а розмах відносно середньорічної температури задається

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

температурами січня та липня. Визначимо середнє значення синусоїди (2.8) на відрізьку, рівному половині періоду, через інтеграл

$$M_+ = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin(x) dx = -\frac{1}{\pi} \cos(x) \Big|_0^{\pi} = \frac{1}{\pi} [\cos(0) - \cos(\pi)] = \frac{2}{\pi} = 0,637. \quad (2.9)$$

З іншого боку, згідно з формулою (2.7) у відносних одиницях отримуємо $t_{ow} = 0,8 \times 1 + 0,2 \times (-1) = 0,6$, тобто значення, близьке до (2.9).

Таким чином, в якості початкової температури замикаання в СНиП [70] прийнята середня температура протягом половини року, визначена протягом усього теплого чи усього холодного періоду року.

Початкові температури конструкцій визначені за описаним принципом осереднення, що базується на формулі (2.9), та наведені в таблиці 2.5. Значення t_{oc} обчислене як середня температура шести холодних місяців (з жовтня по березень), а значення t_{ow} – як середня температура шести теплих місяців (з квітня по вересень). При цьому використані середньомісячні значення температури повітря, які для метеостанції Кропивницького наведені в таблиці 2.2, а для інших метеостанцій також отримані в результаті статистичної обробки даних, аналогічних таблиці 2.2. У тій же таблиці наведені початкові температури замикаання, обчислені за формулами (2.7).

Таблиця 2.5

Початкові температури замикаання конструкцій

Метеостанції	Початкова температура при замикаанні в холодний період року t_{oc}		Початкова температура при замикаанні в теплий період року t_{ow}	
	за (2.7)	за (2.9)	за (2.7)	за (2.9)
Кропивницький	-1,2	-1,7	15,4	16,1
Чернігів	-1,4	-1,9	14,6	15,2
Львів	0,9	0,9	14,4	14,9
Луганськ	-0,6	-1,1	16,8	17,3
Одеса	2,8	2,5	17,6	17,4
Ялта	8,0	7,2	20,0	19,0

З таблиці 2.5 видно, що початкові температури конструкцій при замикаанні в літній період t_{ow} близькі для усієї території України, але початкові температури

конструкцій при замиканні в зимовий період t_{0c} для південних метеостанцій Одеси та особливо, Ялти, істотно відрізняються від інших метеостанцій України у бік вищих температур. При цьому значення, обчислені за формулами (2.7) та шляхом осереднення на основі формули (2.9), є досить близькими між собою. Це додатково підтверджує смисл формул (2.7), запозичених із СНиП [70], і вказує на обґрунтованість обох проаналізованих вище підходів до встановлення початкових температур замикання конструкцій.

2.4. Порівняльний аналіз розрахункових значень перепадів температури

Граничні розрахункові значення перепадів температури металевих конструкцій, що експлуатуються в неопалюваній будівлі, встановлені в підрозділі 2.2 згідно з ДБН В.1.2-2:2006 [19]. Для порівняння з реальними метеорологічними даними в таблиці 2.6 за тими ж формулами (2.1) і (2.2) для обраних метеостанцій обчислені граничні розрахункові значення перепадів температури в теплу пору року (при замиканні конструкції взимку) та граничні розрахункові значення перепадів температури в холодну пору року (при замиканні конструкції влітку). При цьому враховані такі величини:

- початкові температури замикання конструкцій t_{0c} і t_{0w} , як середні значення протягом холодного та теплого періодів року за таблицею 2.5;
- характеристичні значення середніх по перерізу елемента температур в теплу та в холодну пору року t_w і t_c , як середні температури найтеплішої та найхолоднішої доби з періодом повторюваності $T=5$ років;
- коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням температурного впливу згідно з ДБН [19] $\gamma_{fm}=1,1$.

Вплив добових коливань температури повітря на температури конструкцій, що експлуатуються в неопалюваних приміщеннях, згідно з ДБН [19] не враховується. Прийняте в ДБН [19] спрощення, що температура металевої конструкції всередині будівлі дорівнює середньодобовій температурі атмосферного повітря, забезпечує деякий запас надійності і тому є прийнятним.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		37

Граничні розрахункові значення перепадів температури конструкцій

Метеостанції	В теплу пору року				В холодну пору року			
	t_{oc}	t_w	Δt_w	Δ_w	t_{ow}	t_c	Δt_c	Δ_c
Кропивницький	-1,2	29,3	30,5	33,6	15,4	-22,5	-37,8	-41,6
Чернігів	-1,4	27,9	29,3	32,2	14,6	-22,3	-36,9	-40,6
Львів	0,9	27,0	26,1	28,7	14,4	-16,5	-30,8	-33,9
Луганськ	-0,6	30,9	31,5	34,7	16,8	-23,2	-40,1	-44,1
Одеса	2,8	29,1	26,2	28,8	17,6	-15,1	-32,7	-35,9
Ялта	8,0	30,8	22,8	25,1	20,0	-5,0	-25,0	-27,5
Середні	0,1	28,8	28,7	31,6	15,7	-19,9	-35,6	-39,2
За ДБН	0,0	28,0	28,0	30,8	15,0	-20,0	-35,0	-38,5

З таблиці видно, що граничні розрахункові значення перепадів температури конструкцій в теплу пору року майже однакові для усіх метеостанцій України, за винятком метеостанції Ялти, для якої величина температури замикавання в холодний період року t_{oc} істотно відрізняється від інших. Наведені в передостанній строчці таблиці середні значення (без метеостанції Ялта) досить близькі до відповідних даних ДБН [19]. Те ж саме можна сказати про граничні розрахункові значення перепадів температури конструкцій в холодну пору року, але для метеостанції Ялти, а також меншою мірою Одеси та Львова ці значення істотно відрізняються від даних для континентальної території України.

Проведений аналіз свідчить про правомірність узагальнення літніх характеристик температури повітря (початкової температури літнього замикавання конструкцій та температури найтеплішої доби) для усієї території України за винятком субтропічної зони Криму. Характеристики температури повітря в зимовий період (початкову температуру зимового замикавання конструкцій та температуру найхолоднішої доби) узагальнювати не можна. Ці характеристики необхідно визначити за даними українських метеостанцій і детально районувати по території України, звернувши особливу увагу на субтропічну зону Південного берега Криму.

Металеві конструкції, що експлуатуються на відкритому повітрі, безпосередньо контактують з атмосферним повітрям і не захищені від впливу сонячної радіації. Тому при визначенні перепадів температури в цих конструкціях враховуються додаткові фактори: добові коливання температури та нагрівання від дії прямих сонячних променів.

Згідно з ДБН В.1.2-2:2006 [19], добові коливання температури повітря та вплив сонячної радіації враховуються шляхом введення додаткових складових у формули для обчислення характеристичних значень середніх по перерізу елементів температур в теплу і холодну пору року:

$$t_w = t_{ew} + \theta_1 + \theta_4 ; \quad t_c = t_{ec} - 0,5 \theta_1 , \quad (2.10)$$

де $t_{ew}=+28^{\circ}\text{C}$ і $t_{ec}=-20^{\circ}\text{C}$ – середні добові температури повітря в теплу

та холодну пору року (температури найтеплішої та найхолоднішої доби);

$\theta_1=8^{\circ}\text{C}$ – приріст температури конструкції від добових коливань

температури повітря.

Приріст температури від дії сонячної радіації визначається за формулою

$$\theta_4 = 0,05 \rho S_{max} k k_1 , \quad (2.11)$$

де $\rho=0,6$ – коефіцієнт поглинання сонячної радіації металевою конструкцією,

пофарбованою зеленою фарбою;

$S_{max}=780 \text{ Вт/м}^2$ – максимальне значення сумарної сонячної радіації

на вертикальну поверхню, орієнтовану на схід;

$k=0,7$ – для вертикальної поверхні, орієнтованої на схід;

$k_1=0,7$ – для металевих конструкцій.

Підставивши вказані значення до формули (2.11), отримуємо приріст температури від дії сонячної радіації у вертикально розміщеній металевій конструкції, зорієнтованій на схід: $\theta_4=12^{\circ}\text{C}$. Тоді за формулами (2.10) характеристичні значення температури відкритих металевих конструкцій в теплу й холодну пору року дорівнюють $t_w=48^{\circ}\text{C}$, $t_c=-24^{\circ}\text{C}$.

Згідно з формулами (2.1) і (2.2), граничні розрахункові значення перепадів температури в теплу пору року (при замиканні конструкції взимку) для усіх

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

метеостанцій зростають на 22°C , а граничні розрахункові значення перепадів температури в холодну пору року (при замиканні конструкції влітку) за абсолютною величиною зростають на 4°C . Розрахункове значення перепаду температури в холодну пору року порівняно із значенням $t_c=39^{\circ}\text{C}$ для конструкції, що експлуатується в неопалюваному приміщенні, зростає на 13%. Розрахункове значення перепаду температури в теплу пору року змінюється набагато більше. Порівняно із значенням $t_w=31^{\circ}\text{C}$ для конструкції, що експлуатується в неопалюваному приміщенні, воно зростає на 71%. Отже, добові коливання температури повітря та дія сонячної радіації виявляють вирішальний вплив на зміни температури відкритих металевих конструкцій, які змонтовані в зимовий період.

Порівняння приростів температури відкритих металевих конструкцій, визначених за ДБН В.1.2-2:2006, з результатами дослідження добових коливань температури повітря, виконаного в розділі 2, а також з результатами власного натурного експерименту по дослідженню змін температури металевих конструкцій виконане в таблиці 2.7.

Прирости температури відкритих металевих конструкцій, на основі досліджень [Вітіна дисертація] враховують наступні параметри:

- добові відхилення температури повітря в січні при інтервалі осереднення 1 година, рівні 0,381 амплітуди;
- добові відхилення температури повітря в липні при інтервалі осереднення 1 година, рівні 0,469 амплітуди;
- середнє для континентальної території України значення добової амплітуди температури повітря в січні рівне $6,1^{\circ}\text{C}$;
- середнє для континентальної території України значення добової амплітуди температури повітря в липні рівне $11,9^{\circ}\text{C}$;
- розрахункове значення добової амплітуди температури повітря в січні для континентальної території України при періоді повторюваності $T=50$ років дорівнює $14,4^{\circ}\text{C}$;

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- розрахункове значення добової амплітуди температури повітря в липні для континентальної території України при періоді повторюваності $T=50$ років дорівнює $18,1^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 2.7

Прирости температури відкритих металевих конструкцій

Види приростів температури	Розрахункові за ДБН, $^{\circ}\text{C}$	За результатами власних досліджень	
		середні	максимальні
Приріст від добових коливань температури повітря влітку	+8,8	5,6	+8,5
Приріст від добових коливань температури повітря взимку	-4,4	-2,3	-5,5
Приріст від дії сонячної радіації влітку	+13,2	2,6	10 - 16

З таблиці 2.7 видно, що розрахункові (максимальні) значення приростів температури конструкцій, отримані в результаті власних досліджень, досить близькі до розрахункових значень, встановлених в ДБН В.1.2-2:2006 для усієї території України. Таким чином, результати дослідження добових коливань температури повітря, виконані в [Вітіна дисертація] узгоджуються з відповідними нормативними даними.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 2

Результати визначення й аналізу розрахункових значень температури металевих конструкцій дозволяють зробити такі висновки:

1. Розрахункові значення перепадів температури металевих конструкцій встановлені в ДБН В.1.2-2:2006 є однаковими для усієї території України.
2. Початкові температури конструкцій при їх замиканні в теплу чи холодну пору року ДБН В.1.2-2:2006 встановлюють близькими до середніх значень температури повітря протягом теплого чи холодного півріччя.
3. Шляхом статистичного аналізу результатів вимірювань температури повітря на шести метеостанціях, розміщених у різних регіонах України встановлено, що значення характеристик температури повітря в літній період

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

(температура літнього замикання конструкцій та температура найтеплішої доби) мало змінюються по території України і можуть бути осереднені. Характеристики температури повітря в зимовий період (температура зимового замикання конструкцій та температура найхолоднішої доби) необхідно детально районувати по території України, звернувши особливу увагу на субтропічну зону Південного берега Криму.

4. Встановлені ДБН В.1.2-2:2006 прирости температури відкритих металевих конструкцій, спричинені добовими коливаннями температури повітря, узгоджуються з розрахунковими значеннями, визначеними в [Вітіна дисертація] за результатами дослідження добових амплітуд температури повітря.

5. Встановлені ДБН В.1.2-2:2006 прирости температури відкритих металевих конструкцій, спричинені дією сонячної радіації, узгоджуються з максимальними значеннями, отриманими в [Вітіна дисертація].

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 3

ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА СТАЛЕВІ КАРКАСИ ОДНОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ

3.1. Об'єкти, завдання й методика досліджень

Зміни температури приводять до виникнення додаткових переміщень у статично визначених (незамкннутих) конструкціях, а також переміщень, внутрішніх зусиль та напружень в елементах замкнутих статично невизначених конструкцій, які не мають повної свободи переміщень. У найпростіших випадках повної можливості або повної відсутності свободи переміщень, зображених на схемах рисунка 3.1, температурні переміщення й напруження легко визначити з урахуванням коефіцієнта лінійного розширення та модуля пружності матеріалу.

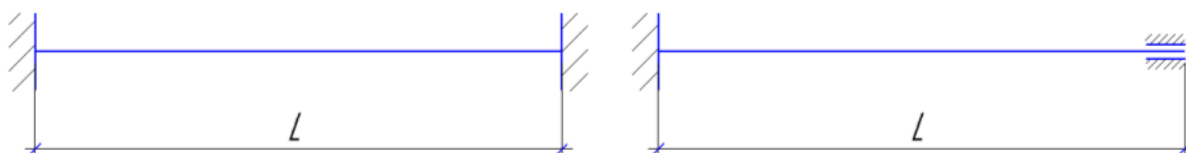


Рис. 3.1. Розрахункові схеми для визначення температурних переміщень і напружень

Розглянемо сталевий стежень, схема якого зображена на рисунку 3.1. Згідно з ДБН [20], модуль пружності сталі дорівнює $E=2,06 \times 10^5$ МПа, а коефіцієнт лінійного розширення $\alpha=1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Переміщення вільного кінця стержня від дії температурного перепаду Δ_T можна визначити за формулою

$$\Delta_L = \alpha L \Delta_T, \quad (3.1)$$

а напруження в повністю затисненому стержні від дії того ж температурного перепаду дорівнюють

$$\sigma = \alpha E \Delta_T. \quad (3.2)$$

При дії встановленого в підрозділі 2.1 розрахункового перепаду температури $+31^\circ\text{C}$ для стержня довжиною 12 м (наприклад, підкранова балка чи розпірка в'язей уздовж цеху) отримуємо $\Delta_L = 2$ мм, $\sigma = 77$ МПа. Таким чином,

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

температурні переміщення є достатніми для помітних змін геометричної схеми конструкції, а напруження можуть сягати третини розрахункового опору сталі й обов'язково повинні враховуватися при розрахунках.

Реальні статично невизначені конструкції мають деяку свободу переміщень, яка зменшує температурні напруження, але робить їх розрахунок на вплив перепадів температури досить складною задачею.

Норми проєктування сталевих конструкцій [20] дозволяють не враховувати температурні впливи на несучі конструкції каркасів будівель, якщо їх розміри в плані не перевищують гранично допустимої довжини й ширини температурного блоку, встановлених у розділі 1.13.2 [20]. Слід відмітити, що ці розміри істотно збільшені порівняно з попередніми СНиП [71]. Очевидно, таке рішення обумовлене більш м'яким кліматом території України, але результати його упровадження потребують додаткового аналізу.

Метою даного розділу є аналіз впливу змін температури на напружено-деформований стан сталевих конструкцій. В якості об'єкта дослідження обрані сталеві каркаси одноповерхових будівель, які можна вважати характерними об'єктами масового будівництва. Усі проаналізовані каркаси є безкрановими й складаються з колон та ригелів, виконаних із прокатних двотаврів. Для організації водовідводу з покрівлі, виконаної зі сталевого профільованого настилу, ригелі підняті в коньковому вузлі з ухилом 1:4 (14°). В карнизних вузлах колони жорстко з'єднуються з ригелями, а до фундаментів можуть прикріплюватися жорстко або шарнірно. Поперечні рами об'єднані в незмінну просторову систему каркасу прогонами і сталевим профільованим настилом покрівлі, а також системою в'язей по колонах і покрівлі. В'язі встановлені згідно з вимогами а їх поперечні перерізи підібрані за граничними гнучкостями. Обрана конструктивна схема близька до системи "Astron", яка досить широко застосовується при спорудженні виробничих будівель. Перелік та конкретні схеми проаналізованих каркасів наведені в наступних підрозділах.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

З метою всебічного аналізу впливу температури повітря на напружено-деформований стан несучих металевих конструкцій описаних каркасів одноповерхових будівель поставлені й вирішені такі завдання:

- дослідження залежності від розмірів будівлі в плані та співставлення отриманих результатів з допустимими відстанями між температурними швами, встановленими в ДБН [20];
- дослідження впливу висоти будівлі на величини температурних переміщень і напружень в несучих конструкціях каркасу та перевірка реальної можливості дозволеного ДБН [20] збільшення розмірів температурного блока при великих висотах будівель;
- дослідження впливу на величини температурних переміщень і напружень початкової температури замикання конструкцій каркасу в статично невизначену систему, яка залежить від періоду замикання (літо чи зима).

Усі перелічені дослідження виконані шляхом проведення чисельних експериментів, які полягають у моделюванні каркасів будівель, як просторових систем, та їх розрахунку на дію ваги конструкцій, снігового та вітрового навантажень, а також температурних впливів. В усіх розглянутих випадках снігове та вітрове навантаження прийняті за ДБН [19] для умов м. Кропивницький, які є близькими до середніх по території України. Значення температурних впливів визначені за ДБН [19] як для конструкцій неопалюваної будівлі. Граничне значення перепаду температури дорівнює $+31^{\circ}\text{C}$ при замиканні взимку, та -39°C при замиканні влітку.

Аналіз отриманих значень контрольних параметрів дозволяє зробити висновки про вплив тих чи інших факторів на напружено-деформований стан несучих конструкцій, встановити необхідність їх урахування при проектуванні та визначити гранично допустимі значення, при яких зміни температурні не виявляють істотного впливу на напружено-деформований стан конструкцій.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Методи розрахунку просторових конструкцій в середовищі програмного комплексу Autodesk Robot Structural Analysis

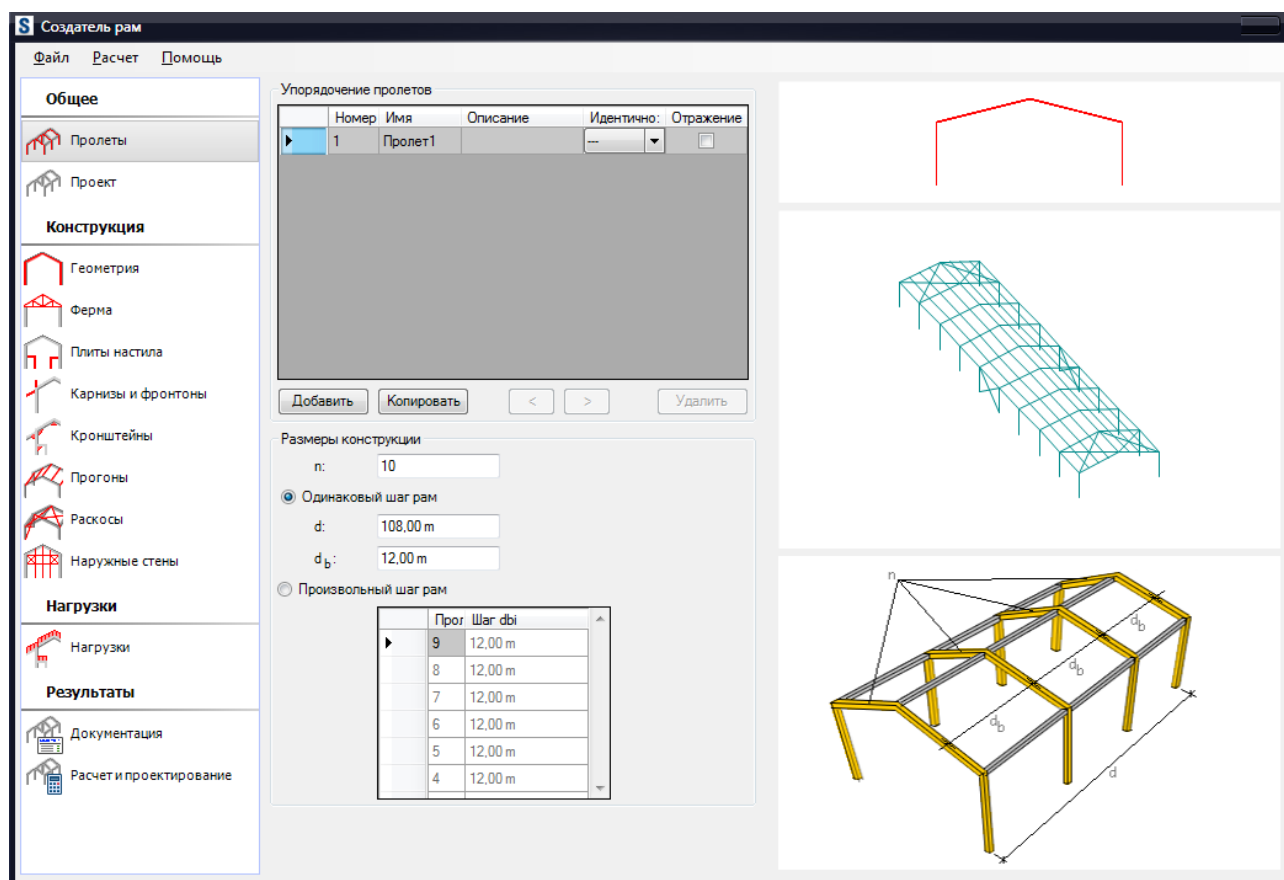
Дослідження просторової роботи каркасів при дії температурних впливів будуть проводитися з використанням сучасних комп'ютерних технологій. На даний момент існує значна кількість потужних програмних комплексів, що дозволяють виконувати просторове моделювання конструкції та її подальший розрахунок на різноманітні навантаження, серед яких є і температурні впливи. Всі такі комплекси працюють на основі методу скінченних елементів, який добре адаптується різними мовами програмування та дозволяє досить швидко провести розрахунок. Метод скінченних елементів є наближеним, що є його основним недоліком. У той же час неточність такого розрахунку вимірюється тисячними долями відсотка і очевидно не є суттєвою. Найрозповсюдженішими серед програмних комплексів для розрахунків несучих будівельних конструкцій методом скінчених елементів є Лира, Scad, ANSYS, Robot, Nastran. Провівши поверховий аналіз цих програмних комплексів, обрано Autodesk Robot Structural Analysis Professional. Його основними перевагами є:

- відносна простота та швидкість моделювання просторових каркасів;
- широкий спектр можливостей для моделювання одночасно із простотою використання, забезпечений зручним інтерфейсом;
- зручність у представленні, аналізі та відображенні вихідних даних;
- інтеграція з іншими продуктами компанії Autodesk;
- наявність загальнодоступної довідкової інформації [91] та вбудованих сортamentів прокатних профілів;
- сертифікація на території України;
- безкоштовний доступ здобувачам освіти до навчальної версії програми.

Каркаси одноповерхових будівель моделювалися як просторові рами різної ширини та довжини. Моделювання здійснювалося з використанням вбудованого генератора рам, що дозволяє у діалоговому режимі параметрично задати основні розміри та характеристики каркасу, а на виході отримати його готову просторову модель, яка після визначення діючих навантажень є повністю придатною до

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

розрахунку. На рисунку 3.2 відображені основні етапи роботи генератора рам: вибір загальної схеми та габаритів каркаса, вибір розмірів рами та перерізів елементів, конструювання системи в'язей каркасу.



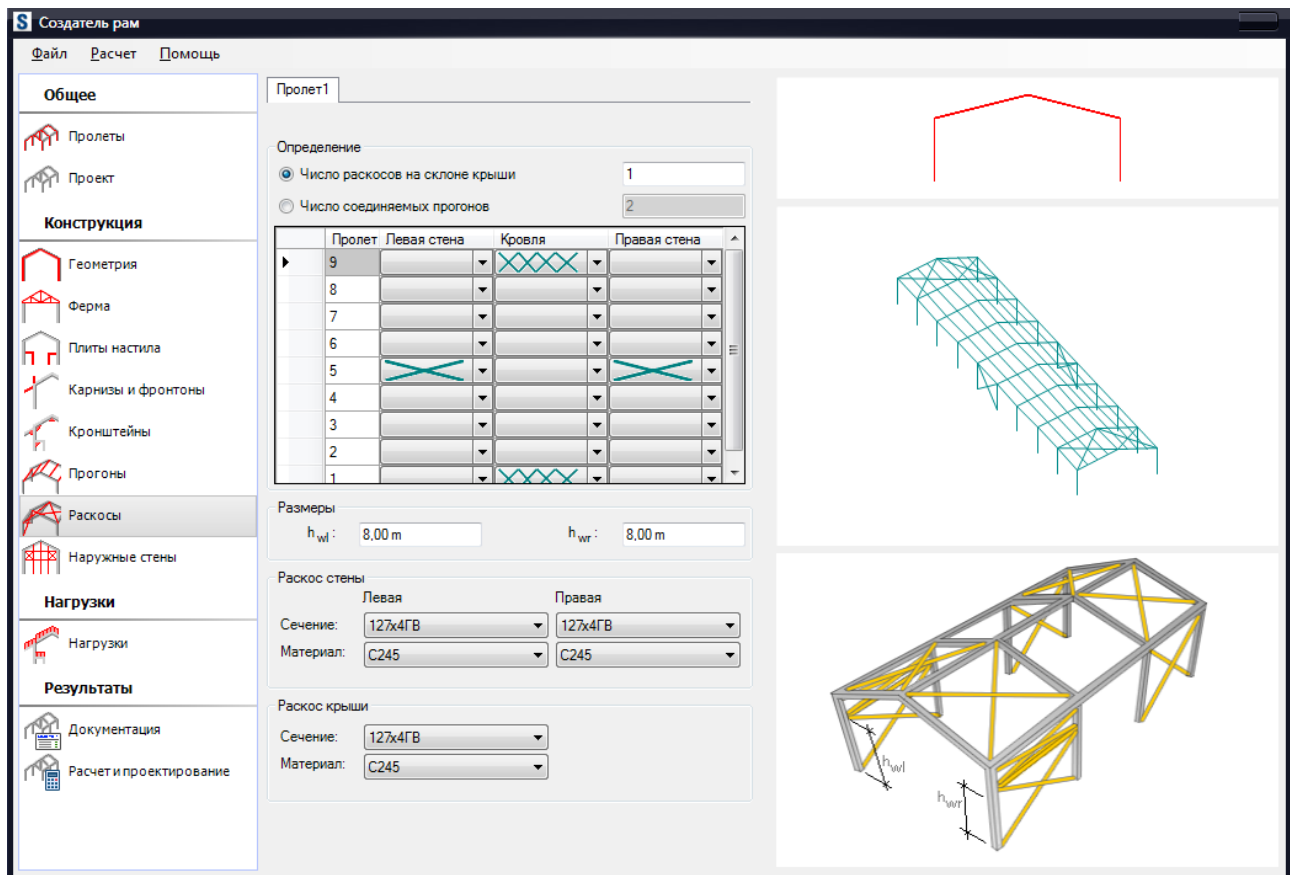
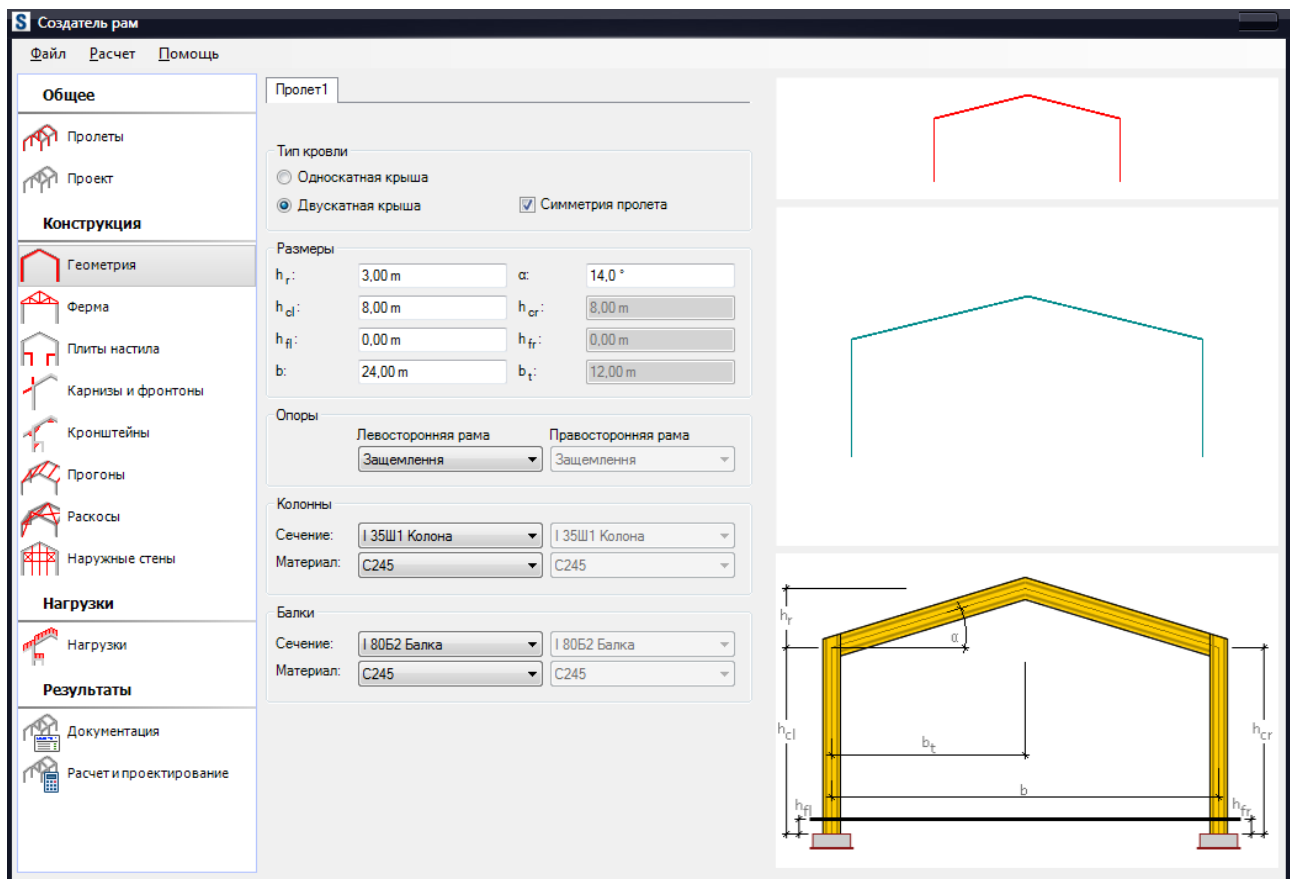
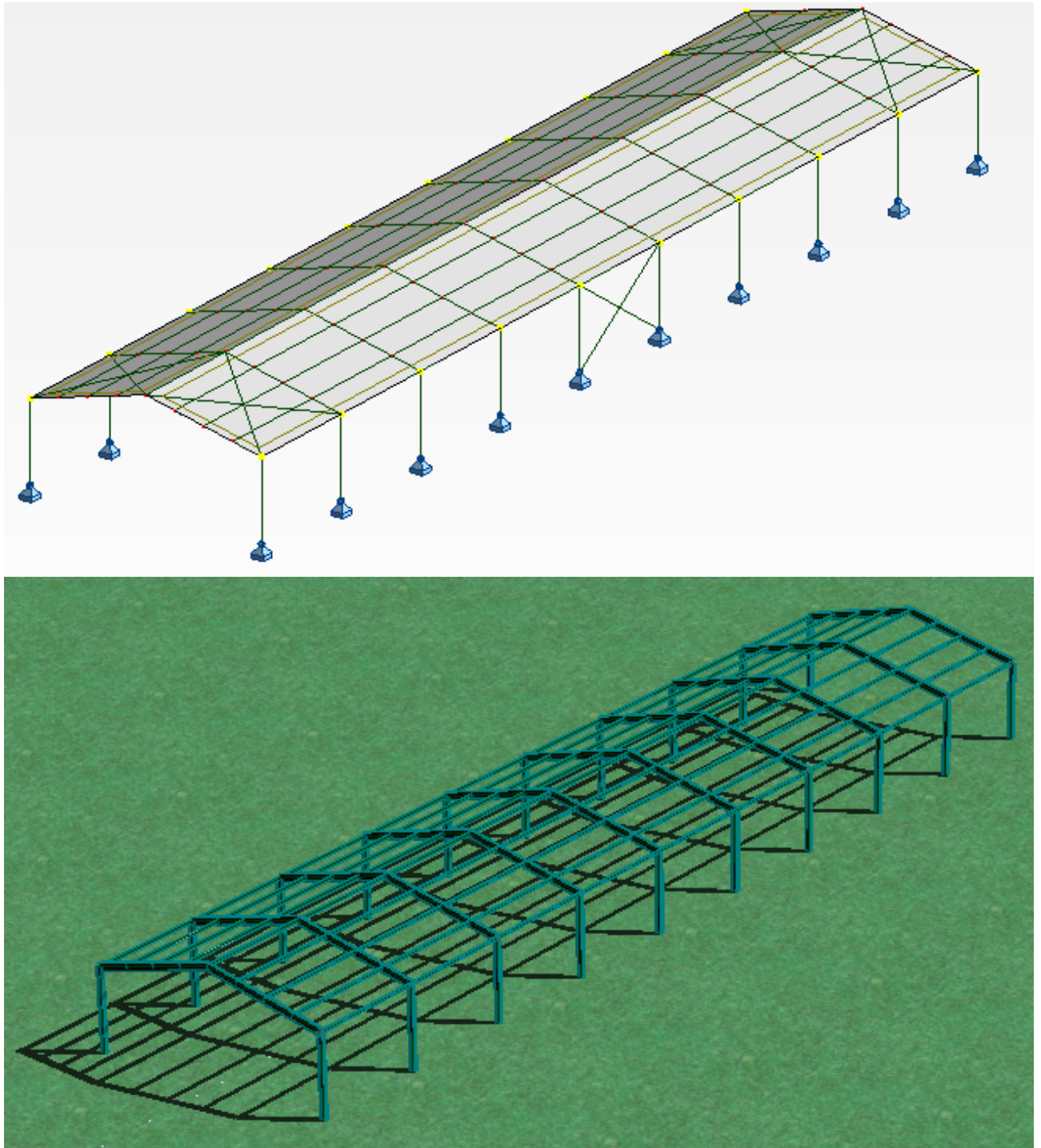


Рис. 3.2. Порядок работы генератора рам

Після генерації отримуємо просторовий каркас, зображений у тривимірному просторі 3D. Перевагою моделювання та розрахунку у тривимірному просторі є не тільки можливість врахувати просторову роботу конструкції, а й зручне представлення вхідних та вихідних параметрів, таких як навантаження, перерізи, розміри, зусилля, напруження та деформації. Приклад конкретного каркаса з розмірами в плані 24×108 м наведений на рисунку 3.3.



					<i>KMP 1727428 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		49

Рис. 3.3. Геометрична схема просторового каркаса та режим
«реалістичного представлення» конструкції
Змодельовані каркаси розраховувалися на дію таких навантажень:

- власна вага несучих конструкцій;
- вага огорожувальних конструкцій покриття;
- снігове навантаження за ДБН [19] для району м. Кропивницький;
- вітрове навантаження за ДБН [19] для району м. Кропивницький;
- температурний вплив за ДБН [19] при замиканні каркасу влітку;
- температурний вплив за ДБН [19] при замиканні каркасу взимку.

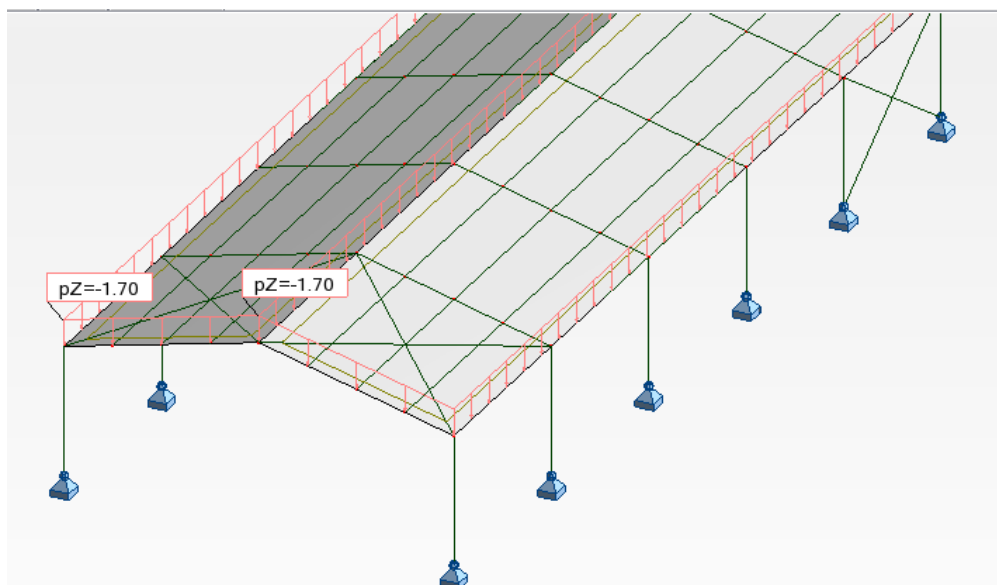
Діючі навантаження задаються в процесі роботи генератора рам і за необхідності можуть бути змінені при подальших розрахунках. Приклад наочного подання схем прикладення навантажень наведений на рисунку 3.4, де вони наведені в формі тривимірного зображення.

Програмний комплекс дозволяє також визначити сполучення зусиль в елементах конструкцій з урахуванням можливості спільної дії навантажень та коефіцієнтів сполучення згідно з ДБН [19]. В розрахунках усіх каркасів розглядалися такі комбінації зусиль:

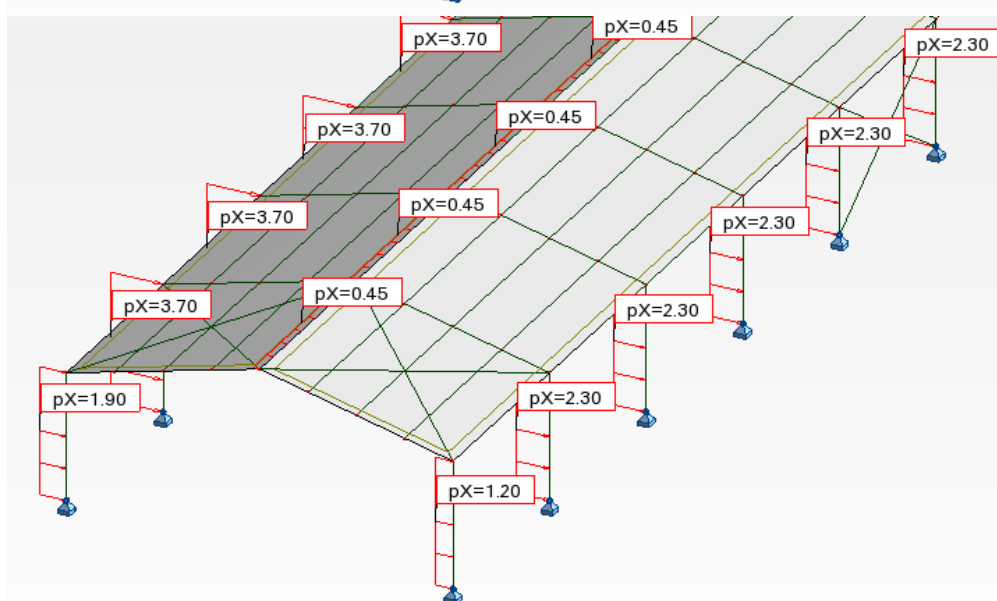
- дія постійного, снігового та вітрового навантажень без урахування температурного впливу;
- дія постійного, снігового та вітрового навантажень разом із впливом температури при зимовому замиканні каркасу;
- дія постійного, снігового та вітрового навантажень разом із впливом температури при літньому замиканні каркасу.

Конкретні значення врахованих навантажень і впливів, які враховувалися при моделюванні каркасів, вказані в наступних підрозділах.

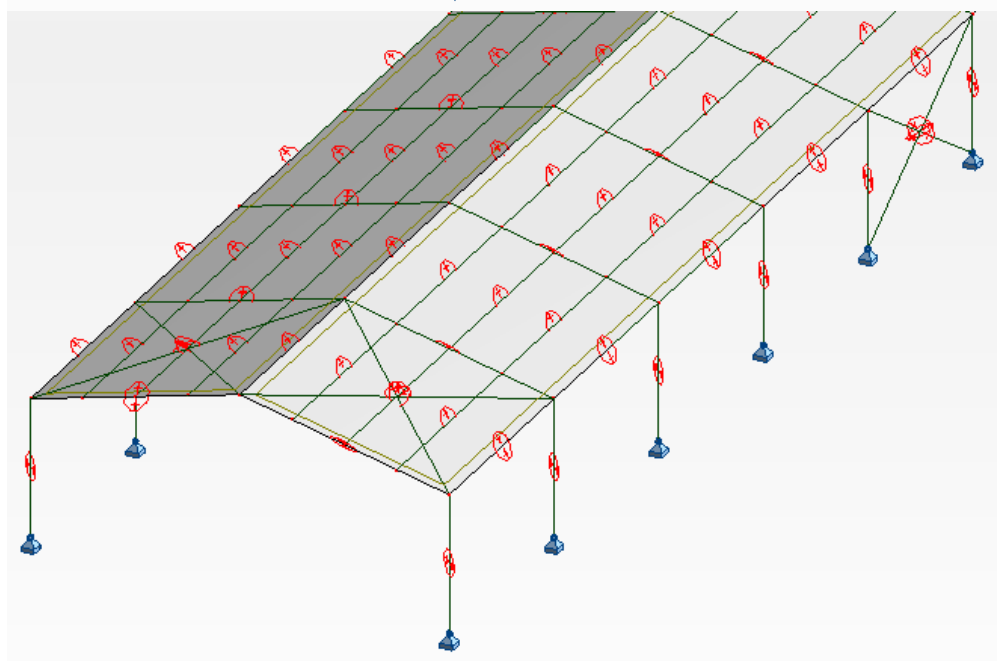
					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		50



а) снігове навантаження



б) вітрове навантаження



в) вплив температури

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

KMP 1727428 ПЗ

Арк.

51

Рис. 3.4. Схеми навантажень на каркас

Результати розрахунку можна отримати у формі таблиць зусиль або у вигляді епюр внутрішніх зусиль різного виду, зображених на схемі каркаса в тривимірному просторі. При необхідності на епюрах можна відобразити числові позначки. Таблиці та епюри внутрішніх зусиль можна отримати як від дії окремих навантажень, так і від дії заданих комбінацій цих навантажень. Робота з таблицями поступається епюрам у наочності відображення інформації, але має істотні переваги завдяки зручній системі фільтрування результатів та їх елементарної обробки. Наприклад, засобами програмного комплексу можна вибрати найбільші значення згинальних моментів у площині рами для усіх ригелів, найбільші напруження в колонах одного типу, а також сформувати інші узагальнюючі вибірки різноманітного типу. Окрім того, в якості результуючих даних можна отримати деформовану схему каркаса та динаміку перебігу деформації у часі.

Приклади представлення результатів розрахунку у формі тривимірних епюр наведені на рисунках 3.5 – 3.7.

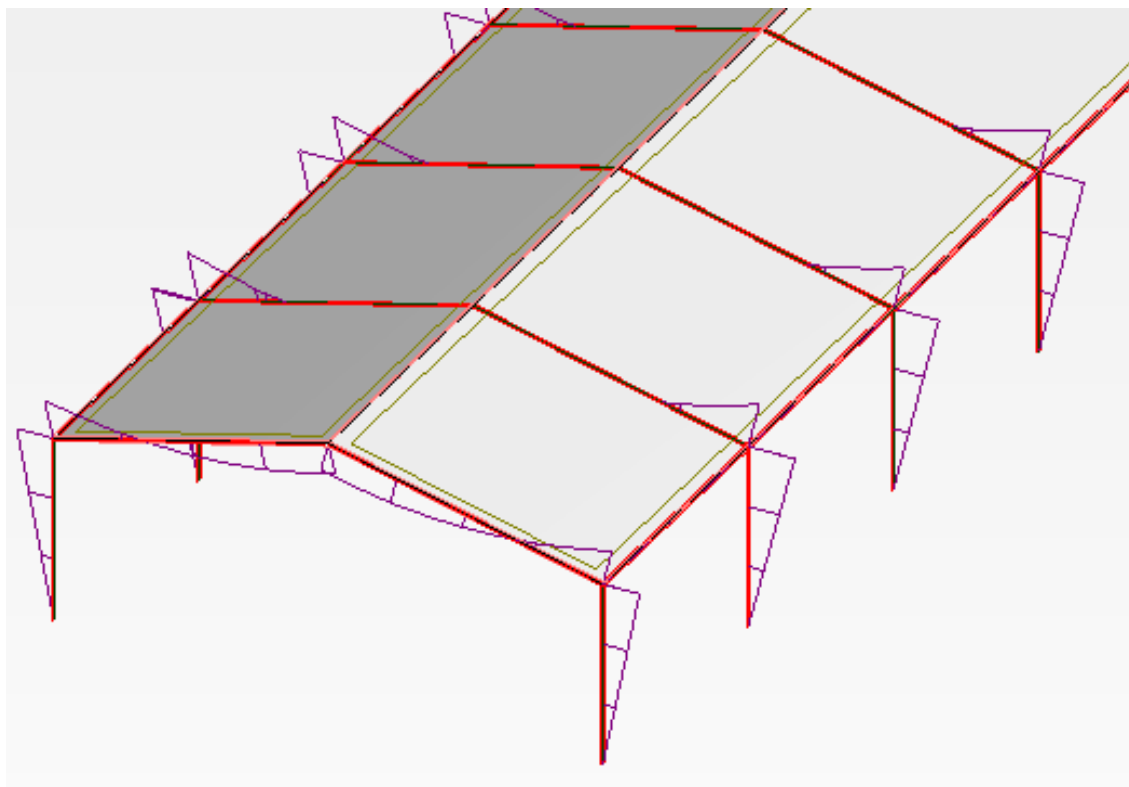


Рис. 3.5. Епюри згинальних моментів

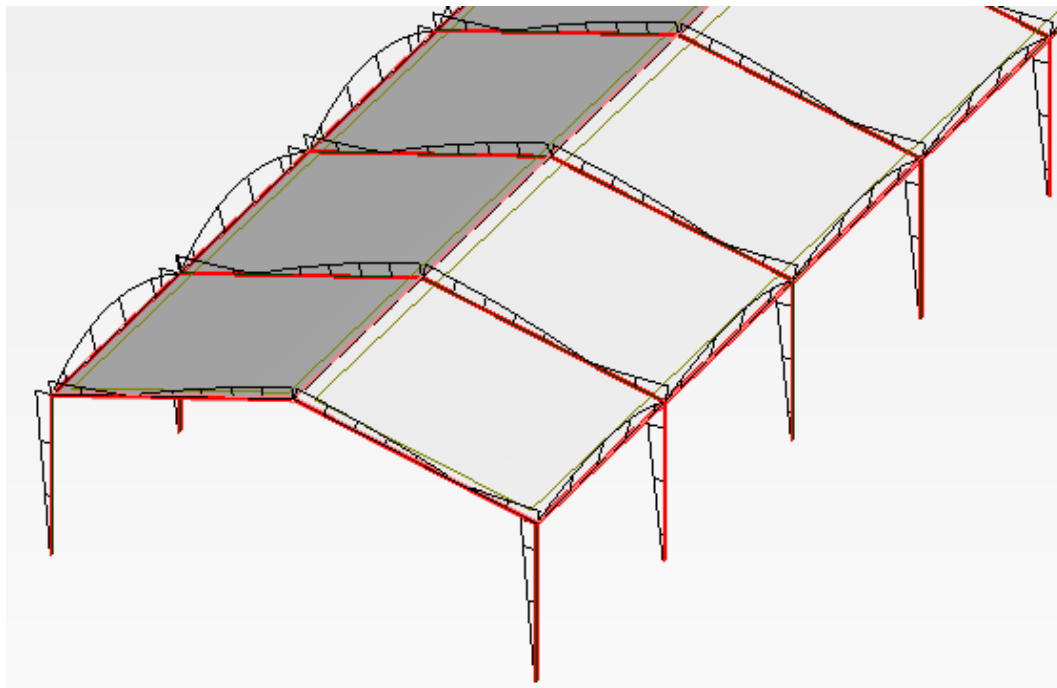


Рис. 3.6. Епюри напружень

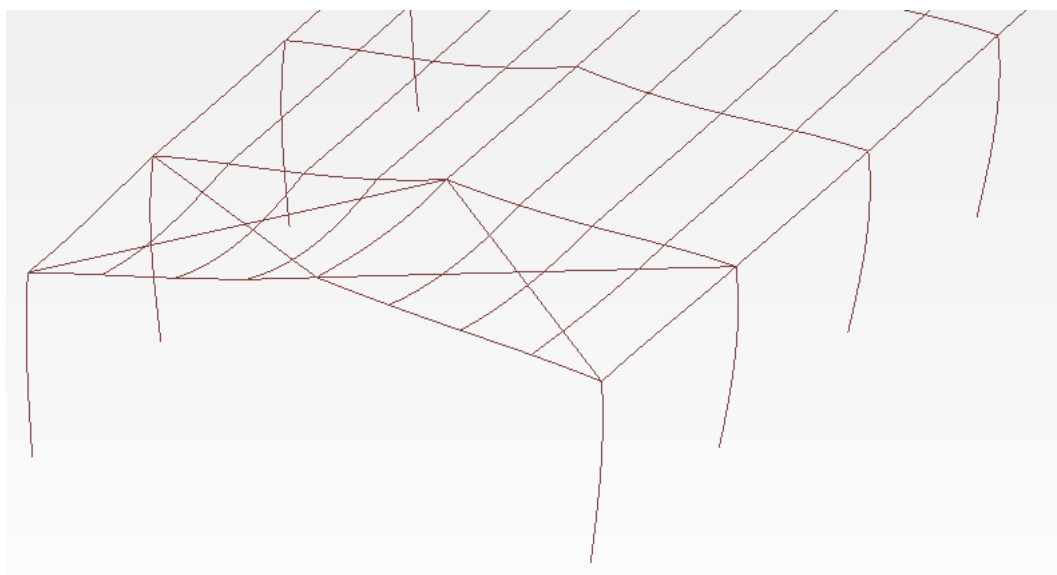


Рис. 3.7. Деформована схема каркаса

Для подальшого аналізу вибиралися і вводилися до табличного процесора MS Excel такі результуючі дані:

- максимальний згинальний момент в колонах та в ригелях у площині рами в зоні карнизного вузла;
- максимальні нормальні напруження в колонах і ригелях;
- максимальні переміщення карнизного вузла каркасу по уздовж та впоперек прольоту
- деформована схема каркасу (для наочності відображення результатів).

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 3

1. Розроблена методика та реалізований на базі програмного комплексу Autodesk Robot Structural Analysis чисельний експеримент з моделювання роботи сталевих каркасів одноповерхових будівель дозволить проаналізувати вплив змін температури на напружено-деформований стан несучих конструкцій каркасів та отримати аналітичні залежності основних параметрів напружено-деформованого стану несучих конструкцій від розмірів температурного блоку в плані та висоти будівлі.

2. Вплив температури на величини переміщень, внутрішніх зусиль і напружень в елементах істотно зростає при збільшенні розмірів температурного блоку та дещо зменшується при зростанні висоти будівлі. Гранично допустимі розміри температурного блоку в плані, визначені ДБН В.2.6-163:2010, загалом відповідають критерію гранично допустимих переміщень верхівок колон за ДСТУ Б В.1.2-3:2006, але навіть при невеликих розмірах у плані напруження від дії температури перевищують 5% загальних напружень від дії інших навантажень. Для будівель з висотою до 6 – 10 м відстані між температурними швами повинні бути меншими, ніж регламентовані ДБН В.2.6-163:2010.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		54

Розділ 4

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

4.1. Вплив довжини й ширини будівлі

Вплив розмірів будівлі в плані на переміщення, внутрішні зусилля та напруження в елементах досліджено на просторових моделях каркасів одноповерхових будівель. В якості базового модуля прийнята однопролітна рама, схема якої зображена на рисунку 5.8. Ригелі з колонами з'єднані жорстко, а колона до фундаменту прикріплена шарнірно. Проліт рами дорівнює 24 м, висота до карнизного вузла – 8 м, а висота конькового вузла – 11 м. Каркаси створювалися шляхом нарощування кількості прольотів та установки необхідного числа поперечних рам з кроком 12 м. Рами об'єднані прогонами покрівлі та системою в'язей по колонах і ригелях згідно з вимогами ДБН [20].

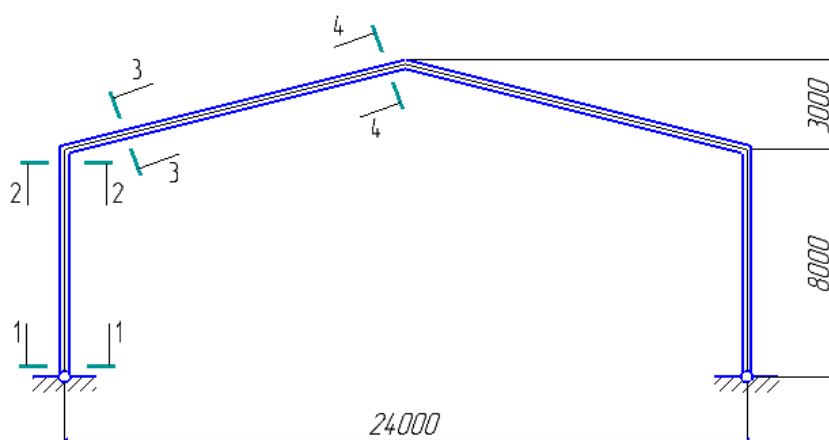


Рис. 4.1. Конструктивна схема однопролітної поперечної рами

Ригелі рам виконувалися з прокатних двотаврів балочного профілю, а колони – з прокатних двотаврів з широкими полицками. Матеріал усіх елементів – сталь С245. Поперечні перерізи ригелів та колон підбиралися в процесі розрахунку за критерієм міцності, що оправдано великими значеннями згинальних моментів. Обрана конструктивна схема близька до системи "Astron", яка широко застосовується при спорудженні виробничих будівель.

Дослідження залежності внутрішніх зусиль, напружень і переміщень характерних точок змодельованих каркасів від розмірів будівлі в плані виконане шляхом проведення чисельного експерименту з використанням методу математичного планування експерименту [22]. Суть цього методу полягає в отриманні аналітичних залежності досліджуваної функції відгуку від її аргументів (факторів). Оптимальний вибір (згідно з певним планом) значень факторів, при яких реалізуються експерименти, дозволяє отримати достовірні залежності за порівняно невеликою кількістю експериментальних точок, значно меншою, ніж при переборі усіх можливих комбінацій значень факторів.

Для дослідження залежностей контрольованих параметрів напружено-деформованого стану від довжини й ширини будівлі обрано двохфакторний план Хартлі [22], який дозволяє збудувати квадратичну модель залежності функції відгуку від двох факторів за результатами дев'яти експериментів. Згідно з планом Хартлі, обидва фактори враховуються на трьох рівнях:

- 1 (мінімальний),
- 0 (середній),
- +1 (максимальний).

У нашому випадку змінними факторами експерименту вважаються довжина L та ширина B будівлі. Їх значення узгоджені з гранично допустимими розмірами температурного блоку для неопалюваної будівлі, які згідно з ДБН [20] не можуть перевищувати 300 м уздовж будівлі та 180 м поперек будівлі. Прийнятий план експерименту з характеристиками каркасів, що моделюються, наведено в таблиці 4.1, а його геометрична інтерпретація зображена на рисунку 4.2.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		56

Характеристики каркасів будівель, що підлягають моделюванню
згідно з планом Хартлі

Номер каркаса	Фактор 1 – довжина будівлі		Фактор 2 – ширина будівлі		Кількість кроків	Кількість прольотів
	рівень фактора	значення в метрах	рівень фактора	значення в метрах		
1	1	300	1	216	25	9
2	1	300	-1	24	25	1
3	-1	108	1	216	9	9
4	-1	108	-1	24	9	1
5	1	300	0	120	25	5
6	-1	108	0	120	9	5
7	0	204	1	216	17	9
8	0	204	-1	24	17	1
9	0	204	0	120	17	5

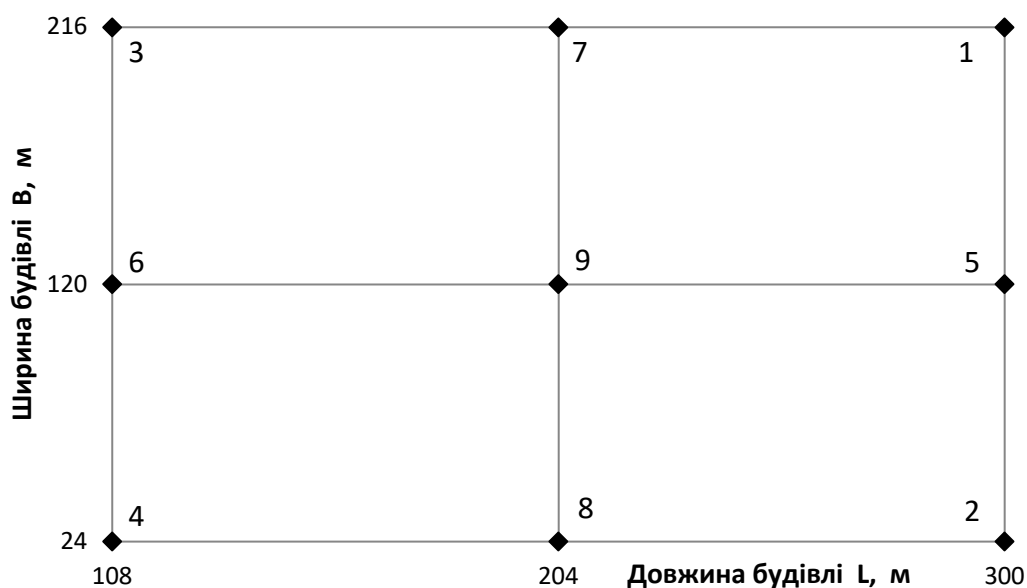


Рис. 4.2. План Хартлі для проведення чисельного експерименту

Усі каркаси, перелічені в таблиці 4.1, змодельовані й розраховані в середовищі програмного комплексу Autodesk Robot Structural Analysis на навантаження від власної ваги несучих та огорожувальних конструкцій, а також снігове та вітрове навантаження за ДБН [19] для району м. Кропивницького. Згідно з ДБН [19], граничні розрахункові значення перепадів температури несучих конструкцій

неопалюваної будівлі дорівнюють $+31^{\circ}\text{C}$ при замиканні конструкції взимку, та -39°C при замиканні влітку. За результатами розрахунків складені три розрахункові комбінації зусиль:

- 1) постійне та змінні навантаження без урахування впливу температури;
- 2) постійне та змінні навантаження з урахуванням температурного впливу при зимовому замиканні каркаса;
- 3) постійне та змінні навантаження з урахуванням температурного впливу при літньому замиканні каркаса.

Перерізи колон та ригелів підбиралися по першій комбінації зусиль (без урахування температурних впливів) за критерієм міцності таким чином, щоб вони були мінімально можливими в межах сортаменту прокатних двотаврів.

Результати роботи програми моделювання для найменшого із змодельованих каркасів (№ 4 за таблицею 4.1) були частково відображені в попередньому розділі на рисунках 3.3 – 3.7. З рисунків видно, що найбільші значення згинальних моментів та напружень у колоні реалізуються в карнизному вузлі. Розрахунковим перерізом ригеля є карнизний вузол. Температурний вплив при зимовому замиканні каркаса збільшує величину прольоту, вигинаючи колони назовні. При цьому знаки згинальних моментів у карнизному вузлі від впливу температури співпадають зі знаками моментів від інших навантажень, що повинно призвести до зростання напружень в колоні й ригелі. При літньому замиканні каркаса температурний вплив вигинає колони всередину прольоту, що дає згинаючі моменти в карнизному вузлі, протилежні за знаком до моментів від інших навантажень і тим самим зменшує напруження в розрахункових перерізах.

На рисунках 4.3 – 4.11 наведені результати моделювання найбільшого каркасу (№ 1 за таблицею 4.1). З рисунка 4.3 видно, що змодельована розрахункова схема відповідає прийнятій конструктивній схемі.

Схеми навантажень зображені на рисунку 4.8. Снігове навантаження, як і постійне від маси покрівлі, рівномірно розподілене по усій поверхні покрівлі. Вітрове навантаження від активного тиску та відсмоктування прикладене на

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

колони, а зусилля тертя – уздовж конькового вузла. Температурні впливи рівномірно діють на усі конструкції каркасу.

Зображені на рисунках 4.5 і 4.6 епюри згинальних моментів і напружень в колонах та ригелях мають характер, подібний до попереднього каркасу. З величини згинальних моментів і напружень в елементах видно, що розрахунковий переріз колон розміщений у карнизному вузлі, як і розрахунковий переріз ригелів. Згинальні моменти в ригелях крайнього та середніх прольотів є досить близькими, що дозволило встановити усі ригелі однакового перерізу. Згинальні моменти в колонах середніх рядів також близькі між собою, але є набагато меншими, ніж у колонах крайніх рядів. Тому для колон усіх каркасів вибрано два типи перерізів: колони крайніх рядів та колони середніх рядів, які практично в усіх випадках виконані з двотавра 40Ш1. Менший переріз прийняти неможливо з умов жорсткості колони, оскільки в [5] та інших посібниках з проєктування сталевих каркасів вказано, що габарит перерізу колони має бути не меншим за $1/20$ її висоти.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		59

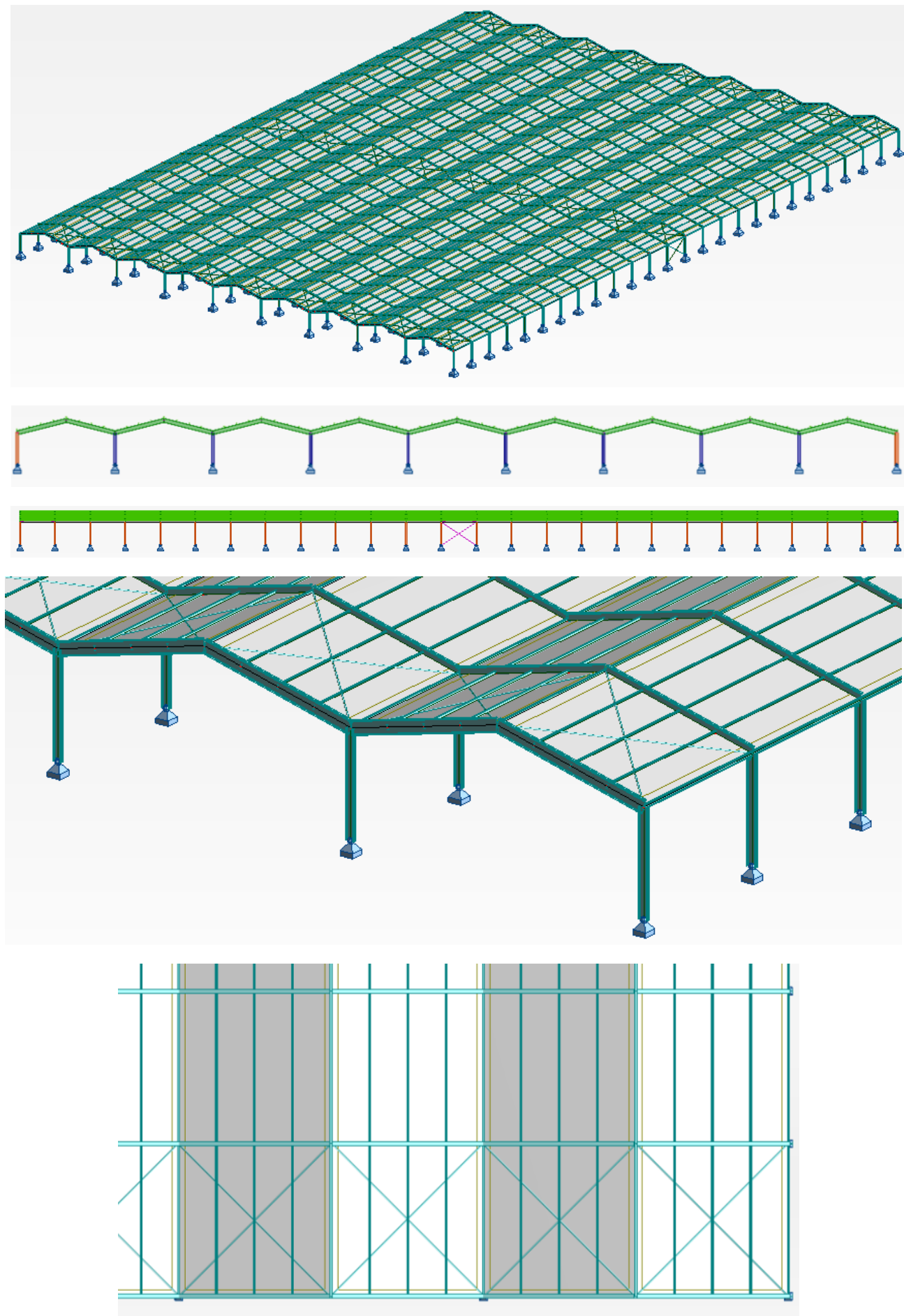
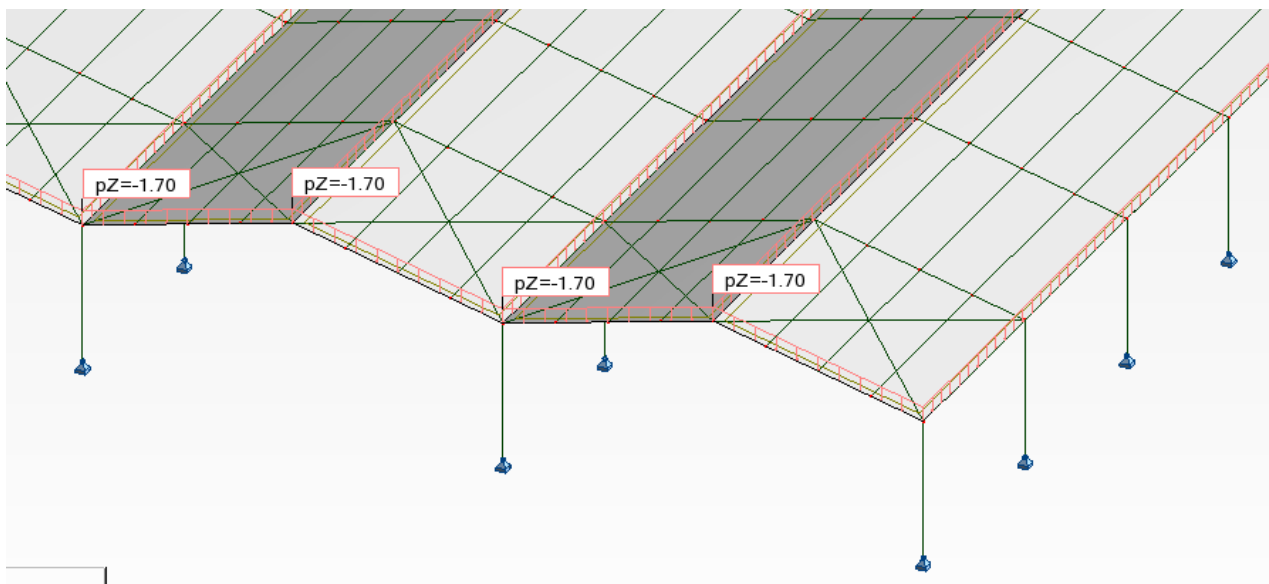
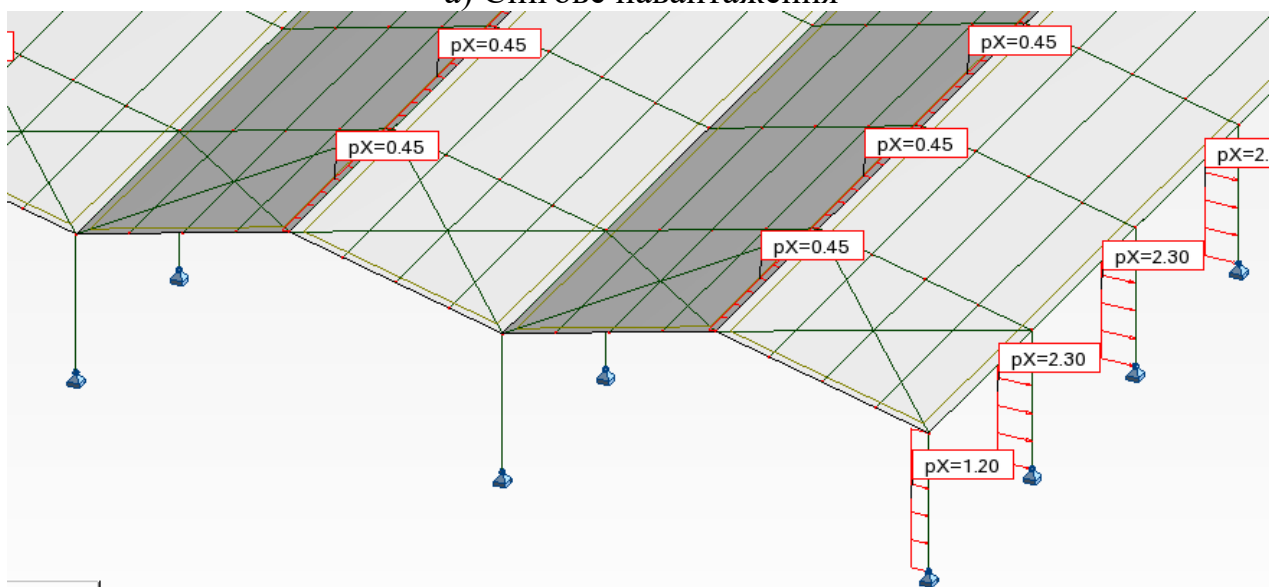


Рис. 4.3. Схема просторового каркаса

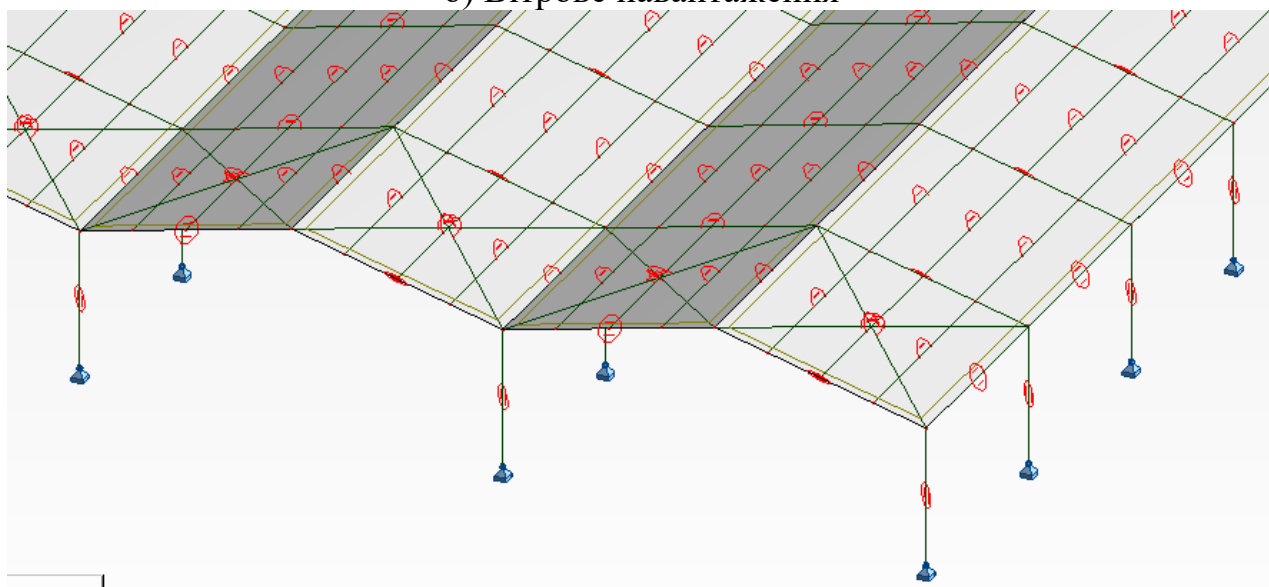
					<i>KMP 1727428 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60



а) Снігове навантаження



б) Вітрове навантаження



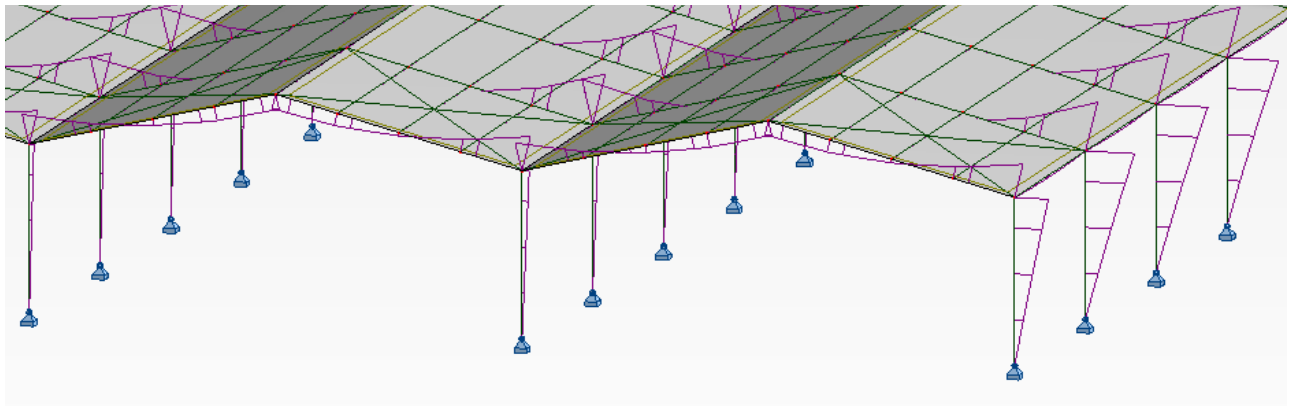
в) Навантаження від температури
Рис. 4.4. Навантаження на каркас

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

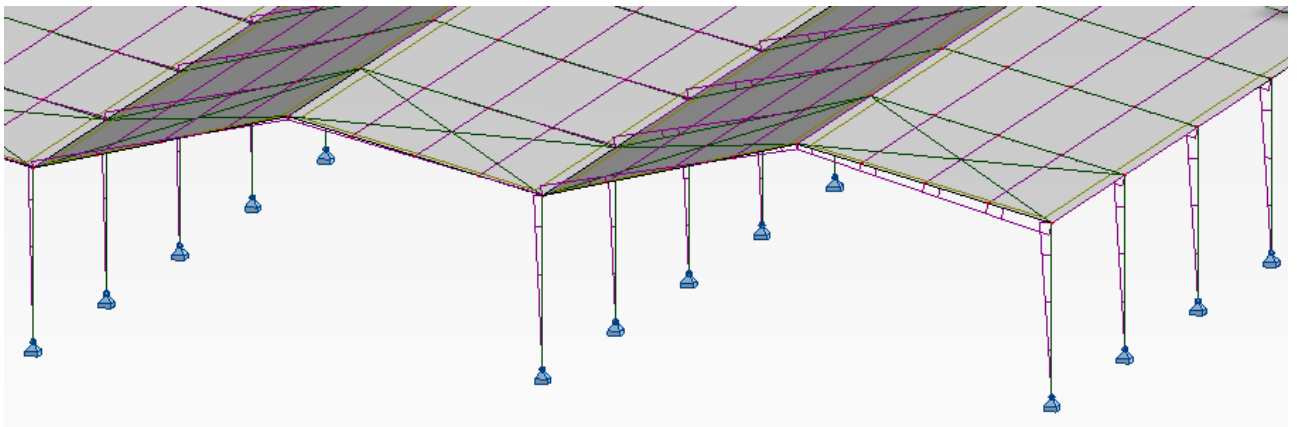
KMP 1727428 ПЗ

Арк.

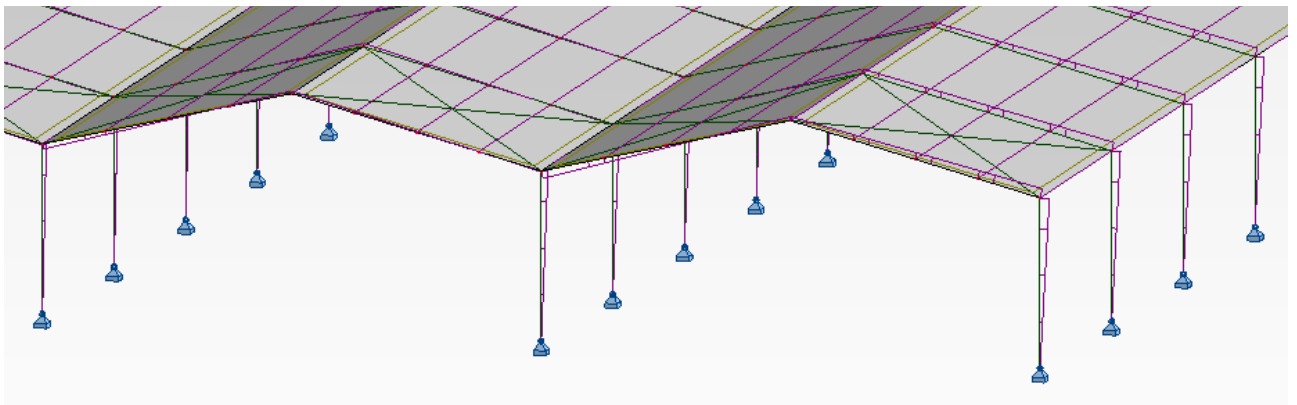
61



а) без врахування температури

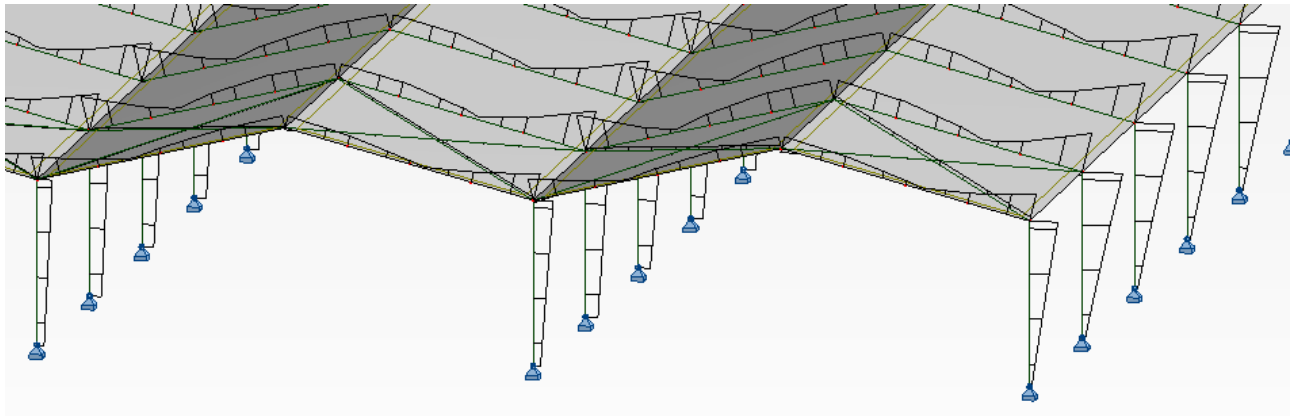


б) від температури при замиканні влітку

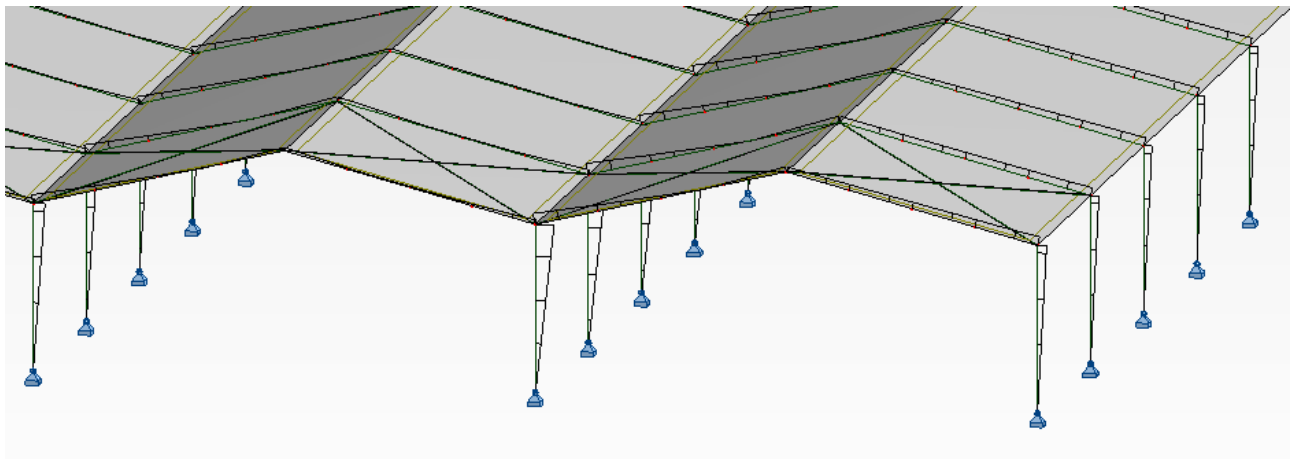


в) від температури при замиканні взимку

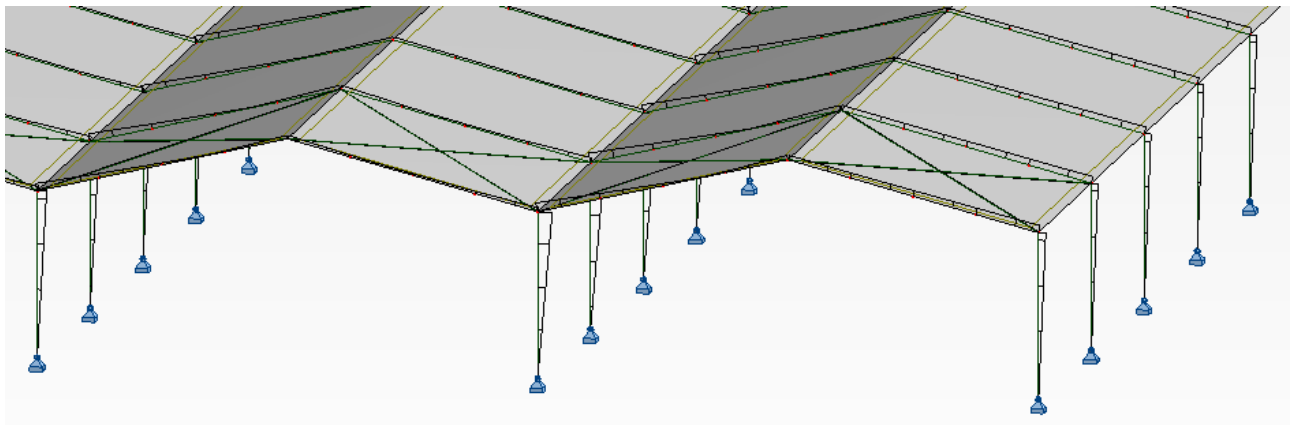
Рис. 4.5. Епюри згинальних моментів



а) без врахування температури



б) від температури при замиканні влітку

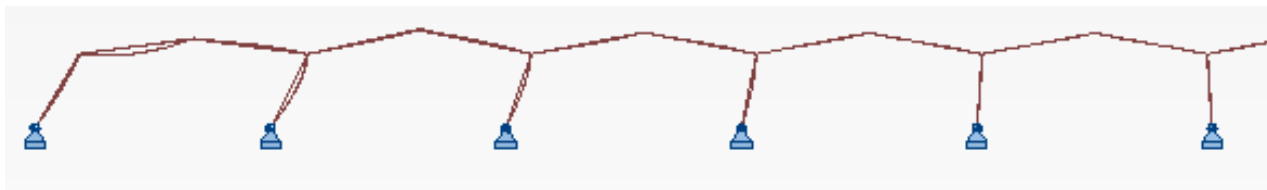


в) від температури при замиканні взимку

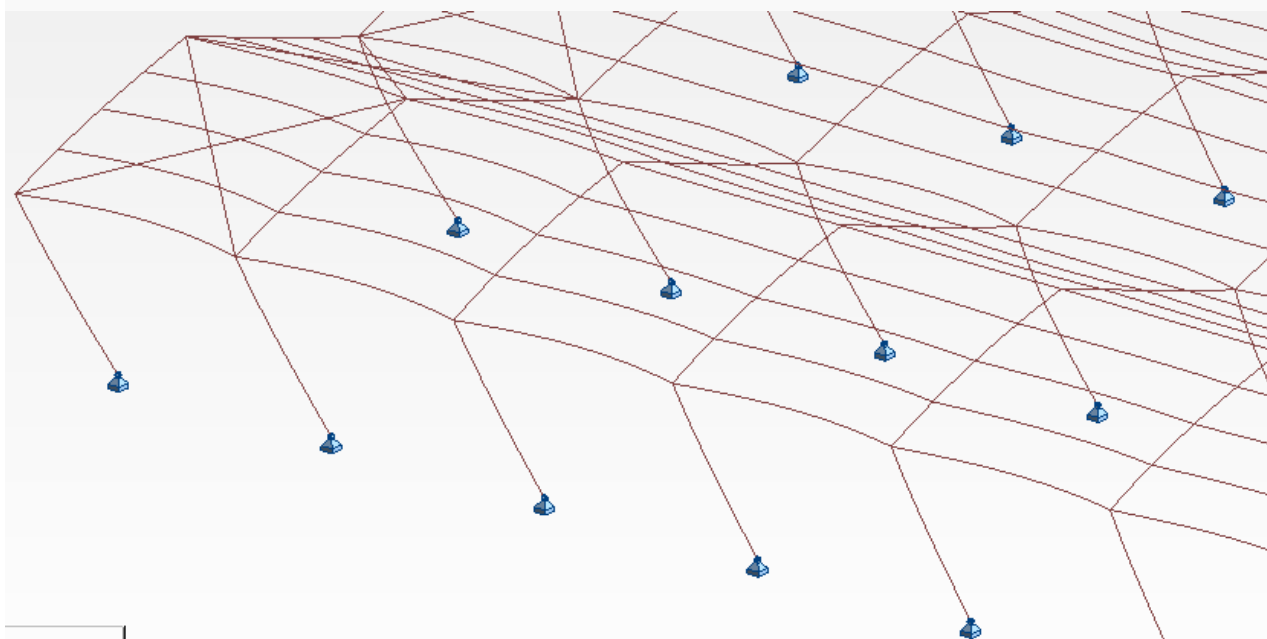
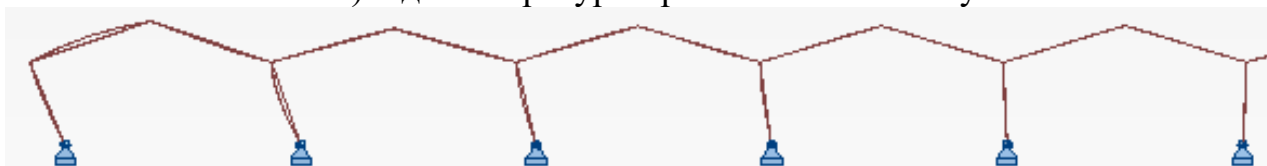
Рис. 4.6. Епюри напружень



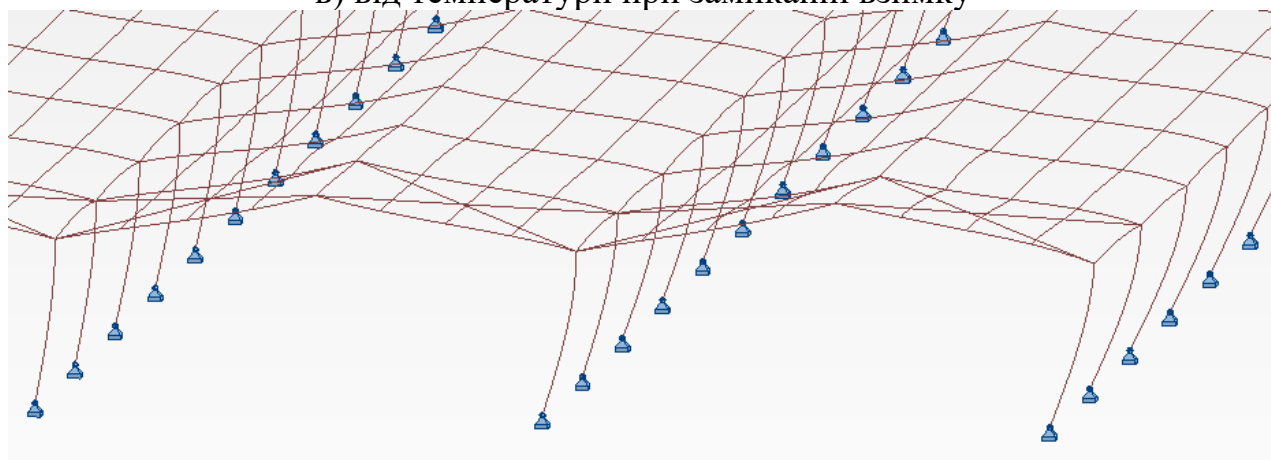
а) без врахування температури



б) від температури при замиканні влітку



в) від температури при замиканні взимку



г) сумарна при замиканні взимку

Рис. 4.7. Деформована схема каркаса

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		64

Деформована схема каркаса, зображена на рисунку 4.7, показує, що температурні переміщення в площині рами при зимовому замиканні каркасу подібні до переміщень від дії інших навантажень, а при літньому замиканні мають протилежний характер. Найбільшими у площині рами є переміщення карнизних вузлів вільних рам, до яких не примикають ніякі в'язі; переміщення рам з в'язями є не набагато меншими. Переміщення уздовж будівлі, викликані деформаціями прогонів покрівлі та розпірок в'язей по ригелях, відповідають звичним уявленням. Найбільшими є переміщення карнизних вузлів крайніх рам, що пояснюється найбільшими для цих точок сумарними лінійними деформаціями поздовжніх елементів.

Виходячи з викладеного аналізу результатів моделювання, прийнято рішення у подальшому аналізувати згинальні моменти й напруження в ригелях та колонах крайніх рядів, а також найбільші переміщення карнизних вузлів.

Для подальшого аналізу з результатів розрахунку на кожну з трьох вказаних вище комбінацій зусиль вибрані найбільші в межах каркасу значення таких параметрів напружено-деформованого стану несучих конструкцій:

M_K – згинальні моменти в колоні (у площині рами);

M_R – згинальні моменти в ригелі (у площині рами);

σ_K – напруження в колоні;

σ_R – напруження в ригелі;

Δ_B – переміщення карнизного вузла поперек будівлі (в площині рами);

Δ_L – переміщення карнизного вузла уздовж будівлі (з площини рами).

Вибірка контрольованих параметрів для усіх проаналізованих каркасів та комбінацій зусиль наведена в таблиці 4.2. Для зручності наступного аналізу в таблиці наведені абсолютні значення усіх параметрів. Комбінації зусиль позначені вказаними вище номерами:

- 1 – без урахування температури,
- 2 – при замиканні каркаса зимою,
- 3 – при замиканні каркаса літом.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65

Таблиця 4.2

Параметри напружено-деформованого стану несучих конструкцій

Номер каркаса	Довжина і ширина в метрах	Перерізи колонн та ригеля	Варіант сполучення зусиль	Згинальні моменти, кН×м		Напруження, МПа		Переміщення, мм	
				М _к	М _р	σ _к	σ _р	Δ _в	Δ _л
1	300 216	70Ш5 100Б1	1	1944	1954	226	226	70,8	5,5
			2	2244	2254	270	261	99,5	57,9
			3	1566	1935	197	183	34,8	73,2
2	300 24	70Ш3 90Б1	1	1367	1375	210	213	21,7	1,7
			2	1384	1391	226	221	25,6	54,0
			3	1347	1355	221	215	16,8	64,0
3	108 216	70Ш4 90Б2	1	1694	1702	225	230	60,0	2,9
			2	1935	1943	267	267	90,3	21,9
			3	1391	1515	202	209	22,0	20,9
4	108 24	60Ш2 80Б1	1	990	995	237	207	41,9	12,7
			2	1000	1006	255	215	45,8	19,6
			3	977	982	251	211	37,1	35,3
5	300 120	70Ш3 90Б1	1	1492	1500	227	231	17,3	5,6
			2	1619	1627	257	256	35,9	58,2
			3	1333	1547	219	250	6,2	60,6
6	108 120	70Ш3 90Б1	1	1479	1487	225	229	47,6	3,2
			2	1605	1612	256	254	66,0	22,1
			3	1321	1547	219	241	24,4	20,6
7	204 216	70Ш4 90Б2	1	1692	1700	224	230	60,3	4,5
			2	1931	1939	266	267	90,7	40,2
			3	1391	1524	201	214	21,9	40,5
8	204 24	70Ш3 90Б1	1	1373	1381	211	213	21,5	1,3
			2	1389	1397	226	221	25,4	36,8
			3	1352	1360	222	216	16,6	43,4
9	204 120	70Ш3 90Б1	1	1488	1488	225	229	47,0	4,8
			2	1613	1613	243	248	65,2	42,8
			3	1330	1551	203	246	24,1	43,0

З метою аналізу впливу змін температури на параметри напружено-деформованого стану у випадках зимового та літнього замикання каркасів в таблицях 4.3 і 4.4 наведені відхилення (у відсотках) зусиль і напружень від максимально можливих значень у тих же елементах, отриманих без урахування температури. Ці дані дають уявлення про відносний вклад температурних впливів у величини напружень. Оскільки для стану будівлі важливими є найбільші

значення переміщень характерних точок каркасу, які можуть спричинити порушення в роботі огорожувальних конструкцій, в таблицях наведені абсолютні значення приросту переміщень характерних точок каркасів, викликаних впливом температури. Окрім того, при відсутності температурного впливу переміщення уздовж будівлі наближаються до нуля, а тому визначати відхилення від них у відсотках не має сенсу. З точки зору математичного планування експерименту [22] дані таблиць 4.3 і 4.4 є функціями відгуку, з метою аналізу яких і виконується чисельний експеримент.

Таблиця 4.3

Зміни параметрів напружено-деформованого стану несучих конструкцій при зимовому замиканні каркасів

Номер каркаса	Ширина В, м	Довжина L, м	Зміни згинальних моментів, %		Зміни напружень, %		Прирости переміщень, мм	
			в колоні	в ригелі	в колоні	в ригелі	Δ_B	Δ_L
1	216	300	15,4	15,4	19,5	15,5	28,7	52,4
2	24	300	1,2	1,2	7,6	3,8	3,8	52,3
3	216	108	14,2	14,1	18,7	16,1	30,0	19,0
4	24	108	1,0	1,0	7,6	3,9	3,9	18,8
5	120	300	8,5	8,4	13,2	10,8	18,2	52,6
6	120	108	8,5	8,5	13,8	10,9	18,9	0,0
7	216	204	14,1	14,1	18,8	16,1	35,7	0,0
8	24	204	1,2	1,2	7,1	3,8	35,5	0,0
9	120	204	8,4	8,4	8,0	8,3	18,2	38,0

Таблиця 4.4

Зміни параметрів напружено-деформованого стану несучих конструкцій при літньому замиканні каркасів

Номер каркаса	Ширина В, м	Довжина L, м	Зміни згинальних моментів, %		Зміни напружень, %		Прирости переміщень, мм	
			в колоні	в ригелі	в колоні	в ригелі	Δ_B	Δ_L
1	216	300	-19,4	-1,0	-12,8	-19,0	-36,0	55,4
2	24	300	-1,5	-1,5	5,2	0,9	-4,8	63,5
3	216	108	-17,9	-11,0	-10,2	-9,1	-37,8	18,2
4	24	108	-1,3	-1,3	5,9	1,9	-4,8	22,6
5	120	300	-10,7	3,1	-3,5	8,2	-22,9	54,5
6	120	108	-10,7	4,0	-2,7	5,2	-23,0	17,7
7	216	204	-17,8	-10,3	-10,3	-7,0	-37,9	36,4
8	24	204	-1,5	-1,5	5,2	1,4	-4,8	43,0
9	120	204	-10,6	4,2	-9,8	7,4	-23,0	38,2

Згідно з положеннями методу математичного планування експерименту [22] та обраним планом Хартлі, який забезпечує параболічну апроксимацію результатів експерименту, дані таблиць 4.3 і 4.4 описані квадратичними залежностями виду

$$Y = A_0 + A_{B1}B + A_{B2}B^2 + A_{L1}L + A_{L2}L^2 + A_{BL}BL, \quad (4.1)$$

параметри яких вказані в таблицях 4.5 і 4.6. Там же наведені теоретичні значення відхилень згинальних моментів у площині рами та максимальних напружень в ригелях і колонах крайніх рядів, а також величини переміщень, обчислені за формулою (4.1) з наведеними параметрами.

Таблиця 4.5

Квадратична апроксимація змін параметрів напружено-деформованого стану несучих конструкцій при зимовому замиканні каркасів формулою (4.1)

Номер каркаса	Ширина В, м	Довжина L, м	Зміни згинальних моментів, %		Зміни напружень, %		Прирости переміщень, мм	
			в колоні	в ригелі	в колоні	в ригелі	Δ_B	Δ_L
1	216	300	15,1	15,1	19,5	15,4	28,5	51,9
2	24	300	1,1	1,1	7,9	3,8	3,6	52,1
3	216	108	14,1	14,1	19,3	16,2	29,9	18,6
4	24	108	1,4	1,4	7,6	3,5	3,3	17,9
5	120	300	8,7	8,7	12,3	10,0	17,7	53,0
6	120	108	8,4	8,4	12,1	10,2	18,2	19,3
7	216	204	14,4	14,4	18,0	15,9	30,3	36,6
8	24	204	1,0	1,1	6,4	3,7	4,5	36,3
9	120	204	8,4	8,3	10,8	10,2	19,1	37,4
Параметри формули (5.3)								
A_0			4,23E-01	3,58E-01	1,16E+01	1,28E+00	5,21E+00	6,65E+00
A_{B1}			7,86E-02	7,85E-02	2,49E-02	7,87E-02	1,86E-01	3,28E-02
A_{B2}			-6,66E-05	-6,77E-05	1,48E-04	-4,03E-05	-1,78E-04	-1,10E-04
A_{L1}			-1,13E-02	-1,05E-02	-5,94E-02	4,96E-03	5,20E-02	2,36E-01
A_{L2}			2,20E-05	1,97E-05	1,49E-04	-6,45E-06	-1,20E-04	-1,41E-04
A_{BL}			3,49E-05	3,50E-05	2,18E-07	-2,92E-05	-4,53E-05	-2,39E-05
$\Delta_{0,9}$			0,36	0,37	1,98	1,20	0,75	0,99

Таблиця 4.6

Квадратична апроксимація змін параметрів напружено-деформованого стану несучих конструкцій при літньому замиканні каркасів формулою (4.1)

Номер каркаса	Ширина В, м	Довжина L, м	Зміни згинальних моментів, %		Зміни напружень, %		Прирости переміщень, мм	
			в колоні	в ригелі	в колоні	в ригелі	Δ_B	Δ_L
1	216	300	-19,1	-3,2	-12,0	-16,4	-36,3	54,3
2	24	300	-1,5	-2,1	5,6	1,4	-4,8	62,8
3	216	108	-17,8	-11,1	-9,5	-9,1	-37,9	18,1
4	24	108	-1,5	-0,5	6,5	-0,9	-4,7	22,2
5	120	300	-11,1	5,7	-5,6	4,8	-22,5	55,7
6	120	108	-10,4	2,5	-3,9	7,2	-23,2	17,3
7	216	204	-18,2	-7,9	-12,1	-9,7	-37,5	37,5
8	24	204	-1,2	-2,1	4,6	3,4	-5,1	43,8
9	120	204	-10,4	3,3	-6,1	9,0	-23,2	37,8
Параметри формули (5.3)								
A_0			-9,64E-02	3,58E-01	1,51E+01	1,94E+01	1,95E+00	3,44E+00
A_{B1}			-1,02E-01	1,34E-01	-1,40E-01	3,03E-01	-2,28E-01	-8,36E-02
A_{B2}			8,20E-05	-9,05E-04	2,56E-04	-1,32E-03	2,11E-04	3,11E-04
A_{L1}			1,39E-02	-4,80E-02	-6,53E-02	1,53E-01	-1,69E-02	2,73E-01
A_{L2}			-3,33E-05	8,22E-05	1,51E-04	-3,31E-04	3,74E-05	-1,45E-04
A_{BL}			-3,18E-05	2,57E-04	-4,26E-05	-2,59E-04	4,46E-05	-1,17E-04
$\Delta_{0,9}$			0,45	2,56	2,71	3,67	0,44	1,29

В останніх строчках таблиць 4.5 і 4.6 наведені ймовірні відхилення теоретичних значень від експериментальних, визначені із забезпеченістю 0,9 за відомою формулою [12]

$$\Delta_{0,9} = 1,64 S, \quad (4.2)$$

де S – стандарти відхилень теоретичних значень від експериментальних, обчислені за даними таблиць 4.3 – 4.6 (математичне сподівання відхилень апроксимуючої поверхні, підібраної за методом найменших квадратів, від експериментальних точок завжди дорівнює нулю).

Аналіз імовірних відхилень (4.2) даних показує, що похибки апроксимації змін усіх досліджених параметрів практично не перевищують 3%. Оскільки такі відхилення знаходяться в межах загальноприйнятих вимог до точності інженерних розрахунків, апроксимації усіх параметрів формулою (4.1) можна використовувати для подальшого аналізу.

Формула (4.1) і дані таблиць 4.3 – 4.6 встановлюють залежності контрольованих параметрів напружено-деформованого стану від двох аргументів (ширини B і довжини L температурного блоку) і можуть бути зображені у вигляді поверхонь у тривимірному просторі. Наявність квадратичних членів у формулі (4.1) дозволяє відобразити кривизну цих поверхонь, тобто нелінійність проаналізованих залежностей.

Аналіз таблиць 4.5 і 4.6 показує, що у переважній більшості випадків коефіцієнти A_{B2} , A_{L2} , A_{BL} при квадратичних членах залежності (4.1) є набагато меншими порівняно з іншими коефіцієнтами. Це наводить на думку про незначимість цих коефіцієнтів і можливість використання більш простої лінійної апроксимації даних таблиць 4.3 і 4.4. Цю гіпотезу підтверджують збудовані на рисунку 4.8 за даними таблиці 4.3 графіки, для яких у таблиці 4.5 отримані найбільші похибки апроксимації.

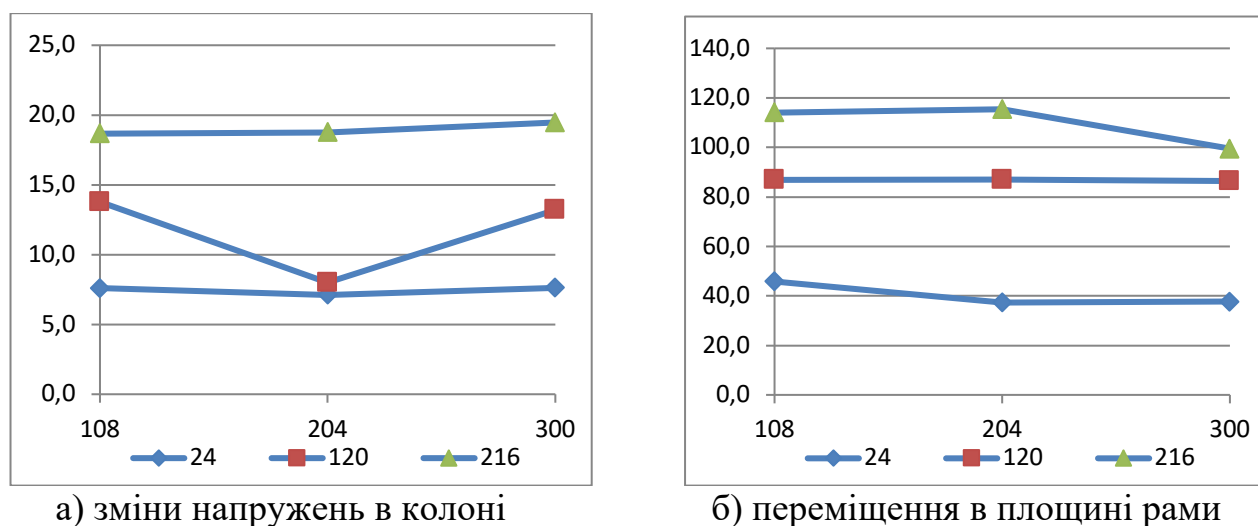


Рис. 4.8. Залежності параметрів напружено-деформованого стану конструкцій від довжини L та ширини B температурного блоку при зимовому замиканні

Рисунки відображають лінійний характер частини експериментальних залежностей, хоча у трьох випадках (зміни напружень в колоні при $B=120$ м, переміщення при $B=24$ м і $B=216$ м) отримані залежності є нелінійними. Для перевірки можливості спрощення аналітичного подання результатів досліджень зроблена спроба лінійної апроксимації даних таблиць 4.3 і 4.4 формулою

$$Y = A_0 + A_{B1}B + A_{L1}L, \quad (4.3)$$

результати якої наведені в таблицях 4.7 і 4.8.

Таблиця 4.7

Лінійна апроксимація змін параметрів напружено-деформованого стану несучих конструкцій при зимовому замиканні каркасів формулою (4.3)

Номер каркаса	Ширина В, м	Довжина L, м	Зміни згинальних моментів, %		Зміни напружень, %		Прирости переміщень, мм	
			в колоні	в ригелі	в колоні	в ригелі	Δ_B	Δ_L
1	216	300	15,0	14,9	18,5	15,8	29,9	52,8
2	24	300	1,6	1,6	7,0	3,7	4,1	52,6
3	216	108	14,6	14,5	18,4	16,1	30,3	19,2
4	24	108	1,1	1,1	6,9	4,0	4,6	19,1
5	120	300	8,3	8,3	12,7	9,8	17,0	52,7
6	120	108	7,8	7,8	12,6	10,0	17,5	19,1
7	216	204	14,8	14,7	18,4	15,9	30,1	36,0
8	24	204	1,3	1,3	6,9	3,8	4,3	35,8
9	120	204	8,1	8,0	12,7	9,9	17,2	35,9
Параметри формули (5.5)								
A_0			-8,22E-01	-8,13E-01	5,39E+00	2,62E+00	1,62E+00	1,78E-01
A_{B1}			7,00E-02	6,97E-02	6,00E-02	6,30E-02	1,34E-01	8,68E-04
A_{L1}			2,36E-03	2,34E-03	4,59E-04	-1,40E-03	-2,43E-03	1,75E-01
$\Delta_{0,9}$			0,68	0,68	2,76	1,17	1,25	1,22

Таблиця 4.8

Лінійна апроксимація змін параметрів напружено-деформованого стану несучих конструкцій при літньому замиканні каркасів формулою (4.3)

Номер каркаса	Ширина В, м	Довжина L, м	Зміни згинальних моментів, %		Зміни напружень, %		Прирости переміщень, мм	
			в колоні	в ригелі	в колоні	в ригелі	Δ_B	Δ_L
1	216	300	-18,9	-3,2	-12,6	-9,0	-37,6	54,8
2	24	300	-2,0	2,8	3,9	4,1	-5,1	61,2
3	216	108	-18,3	-6,2	-11,2	-6,4	-38,2	16,5
4	24	108	-1,4	-0,2	5,3	6,8	-5,8	22,9
5	120	300	-10,4	-0,2	-4,3	-2,4	-21,4	58,0
6	120	108	-9,9	-3,2	-3,0	0,2	-22,0	19,7
7	216	204	-18,6	-4,7	-11,9	-7,7	-37,9	35,6
8	24	204	-1,7	1,3	4,6	5,5	-5,5	42,0
9	120	204	-10,1	-1,7	-3,7	-1,1	-21,7	38,8
Параметри формули (5.5)								
A_0			1,04E+00	-1,08E+00	8,16E+00	9,90E+00	2,07E+00	2,12E+00
A_{B1}			-8,81E-02	-3,12E-02	-8,63E-02	-6,84E-02	-1,69E-01	-3,32E-02
A_{L1}			-2,97E-03	1,54E-02	-7,18E-03	-1,37E-02	3,30E-03	1,99E-01
$\Delta_{0,9}$			0,85	7,45	3,65	10,52	1,67	2,83

Порівнюючи ймовірні відхилення $\Delta_{0,9}$ (похибки апроксимації) з таблиць 4.5 – 4.8, можна зробити висновок, що лінійна функція (4.3) описує експериментальні дані гірше квадратичної функції (4.1). Для двох залежностей з 12 розглянутих (значення $\Delta_{0,9}$ виділені жирним шрифтом в таблицях 4.7 і 4.8) похибки апроксимації взагалі не відповідають необхідній точності інженерних розрахунків та наукових досліджень.

На підставі викладеного, для подальшого аналізу вирішено користуватися квадратичною функцією (4.1), яка дає змогу досліджувати залежності досліджених параметрів напружено-деформованого стану каркасів від їх розмірів у плані, а також вирішувати обернену задачу: знаходити розміри, що відповідають певним значенням згинальних моментів, напружень та переміщень елементів каркасів.

Вище досліджено й описано залежністю (4.1) по 6 параметрів напружено-деформованого стану конструкцій каркасів (згинальні моменти й напруження в колонах і ригелях, переміщення в площині рами й уздовж будівлі) для випадків зимового та літнього замикання конструкцій. Для подальшого аналізу необхідно вибрати мінімальну кількість вирішальних параметрів. Якісний аналіз таблиць 4.3 – 4.6 дозволяє зробити такі висновки:

1. При зимовому замиканні каркасів зміни згинальних моментів та напружень в колонах і ригелях є досить близькими. Це дозволяє надалі аналізувати лише один параметр з чотирьох: зміни напружень в колонах, які в основному є дещо вищими від інших параметрів.
2. При літньому замиканні каркасів згинальні моменти й напруження в колонах в основному змінюються у бік зменшення, тобто температурний вплив розвантажує конструкцій каркасу. Це дозволяє не брати їх до уваги у процесі подальшого аналізу.
3. Прирости переміщень у площині рам від дії температури при зимовому та літньому замиканні каркасів мають протилежні знаки. Хоча при зимовому замиканні прирости переміщень є дещо меншими, ніж при літньому, але вони мають той же напрямок, що й переміщення від дії інших навантажень. Тому

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		72

надалі доцільно аналізувати прирости переміщень карнизних вузлів у площині рами від дії температури при зимовому замиканні каркаса.

4. Прирости переміщень вздовж будівлі від дії температури при літньому та замиканні каркасів за абсолютними значеннями є більшими, ніж при зимовими. Переміщення уздовж будівлі від дії постійних та змінних навантажень близькі до нуля і практично не складаються з переміщеннями від дії температури. Тому надалі доцільно аналізувати більші за абсолютним значенням прирости переміщень карнизних вузлів уздовж будівлі, які викликані дією температури при літньому замиканні каркаса.

Значення обраних параметрів, обчислені за формулою (4.1) при гранично допустимих за ДБН [20] значеннях ширини $B=150$ м і довжини $L=240$ м температурного блоку неопалюваної будівлі наведені в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9

Параметри напружено-деформованого стану несучих конструкцій при гранично допустимих розмірах температурного блоку

<i>Параметри напружено-деформованого стану</i>	<i>Значення за (4.1) при $B=150$ м, $L=240$ м</i>
<i>Зміни напружень в колонах крайніх рядів, %</i>	<i>13,0</i>
<i>Прирости переміщень карнизних вузлів у площині рами від дії температури при зимовому замиканні каркаса, мм</i>	<i>22,6</i>
<i>Прирости переміщень карнизних вузлів уздовж будівлі від дії температури при літньому замиканні каркаса, мм</i>	<i>44,0</i>

Пунктом 7.6 ДСТУ [23] встановлене гранично допустиме значення прогинів колон каркасних будівель від температурних кліматичних впливів у площині стін з навісних панелей, рівне $1/150$ висоти поверху. У нашому випадку це складає $8000/150=53$ мм, як у площині рами (в площині торцевої стіни), так і вздовж будівлі (в площині поздовжньої стіни). З таблиці 4.9 видно, що фактичні переміщення від змін температури є меншими за нормативні, що свідчить про можливість збільшення розмірів температурного блоку. Разом з тим, зміни температури можуть викликати збільшення напружень в колонах на 13%, що може стати небезпечним з точки зору надійності несучих конструкцій.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		73

Залежності досліджених параметрів від розмірів температурного блоку в плані наведені на рисунках 4.9 – 4.11. Об'ємні зображення дають загальне уявлення про вигляд цих залежностей, а зображення лініями рівня дозволяють детальніше відслідкувати їх характер і встановити допустимі розміри температурного блоку за заданими граничними значеннями параметрів.

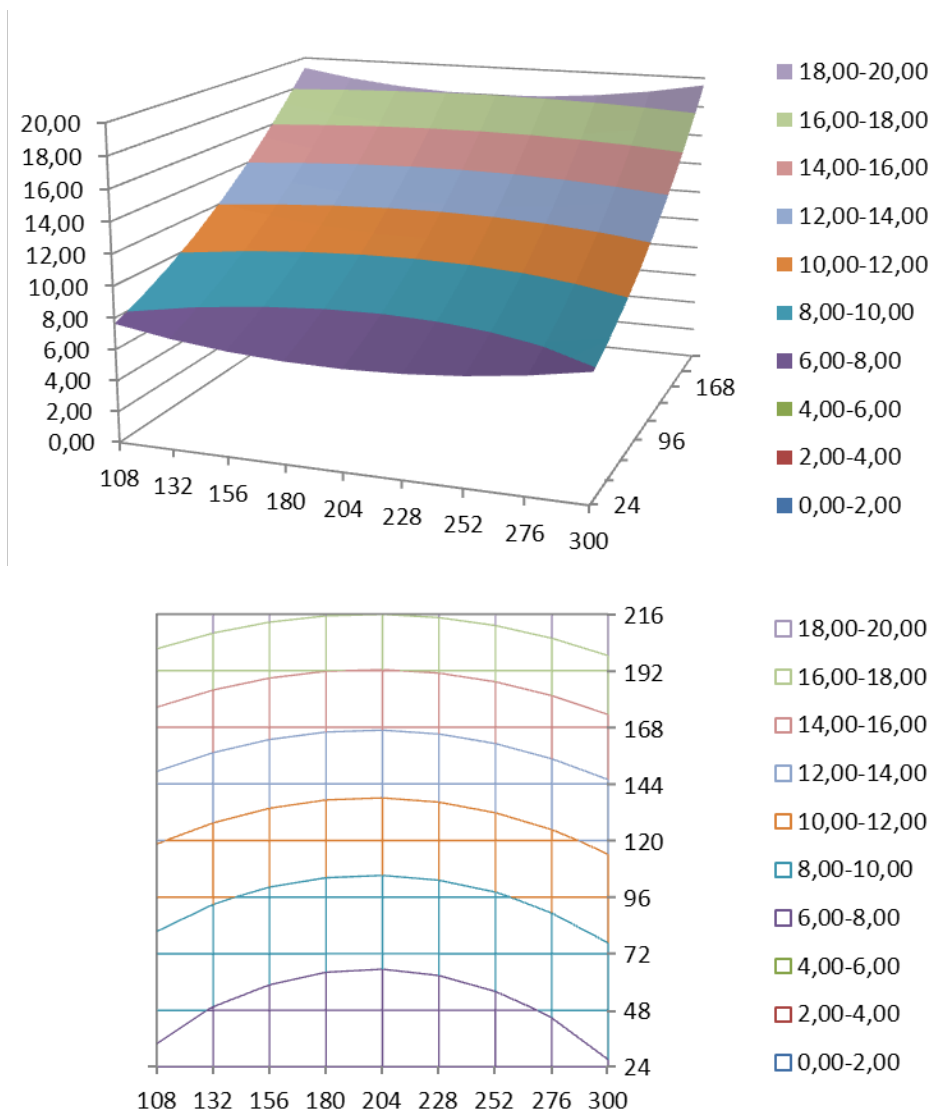


Рис. 4.9. Прирости напружень у колонах крайніх рядів за (4.1)

З рисунка 4.9 видно, що температурні напруження в колонах загалом зростають при збільшенні ширини каркаса і дещо змінюються залежно від його довжини. Вже в однопролітних каркасах шириною 24 м приріст напружень внаслідок дії температури перевищує 5%. Збільшення напружень від температурного впливу порівняно з сумарними напруженнями від інших навантажень на 10% реалізується при ширині каркасів 80–110 м, а на 15% – при ширині, рівній 160 – 180 м.

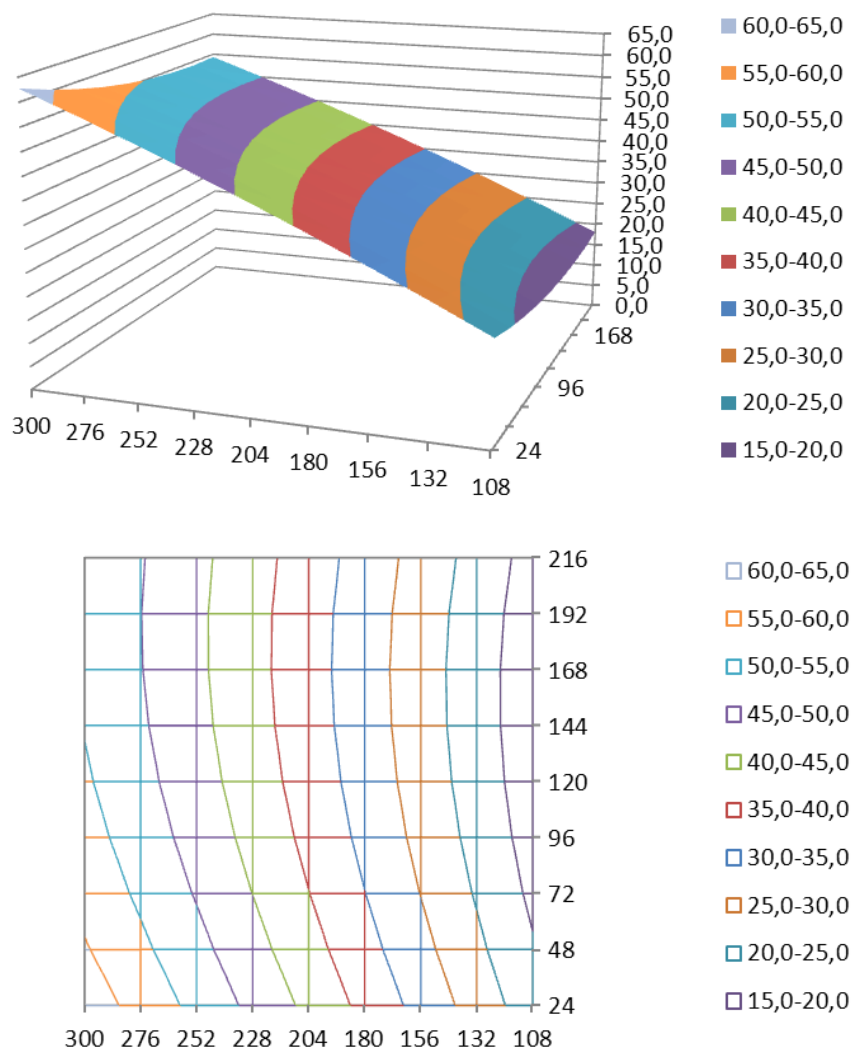


Рис. 4.10. Прирости переміщень уздовж будівлі за (4.1)

Найбільші переміщення карнизного вузла уздовж будівлі в основному залежать від довжини температурного блока, і значно меншою мірою від його ширини. З рисунка 4.10 видно, що гранично допустиме згідно з [23] значення $\Delta_L=53$ мм, досягається при довжині температурного блока $L=250$ м у випадку його ширини $B=24$ м та при довжині $L=290$ м у випадку $B=216$ м. Загалом це з певним запасом відповідає вимогам норм [20] щодо максимально допустимої відстані між поперечними температурними швами неопалюваної будівлі, рівної 240 м. Виявлена на рисунку 4.10 можливість збільшення цієї відстані при великій ширині температурного блоку відповідає зменшенню температурних деформацій у широких багатопролітних каркасах. Аналізуючи таблицю 4.2, це явище можна пояснити більшими перерізами крайніх колон у багатопролітних широких каркасах, які стримують температурні деформації.

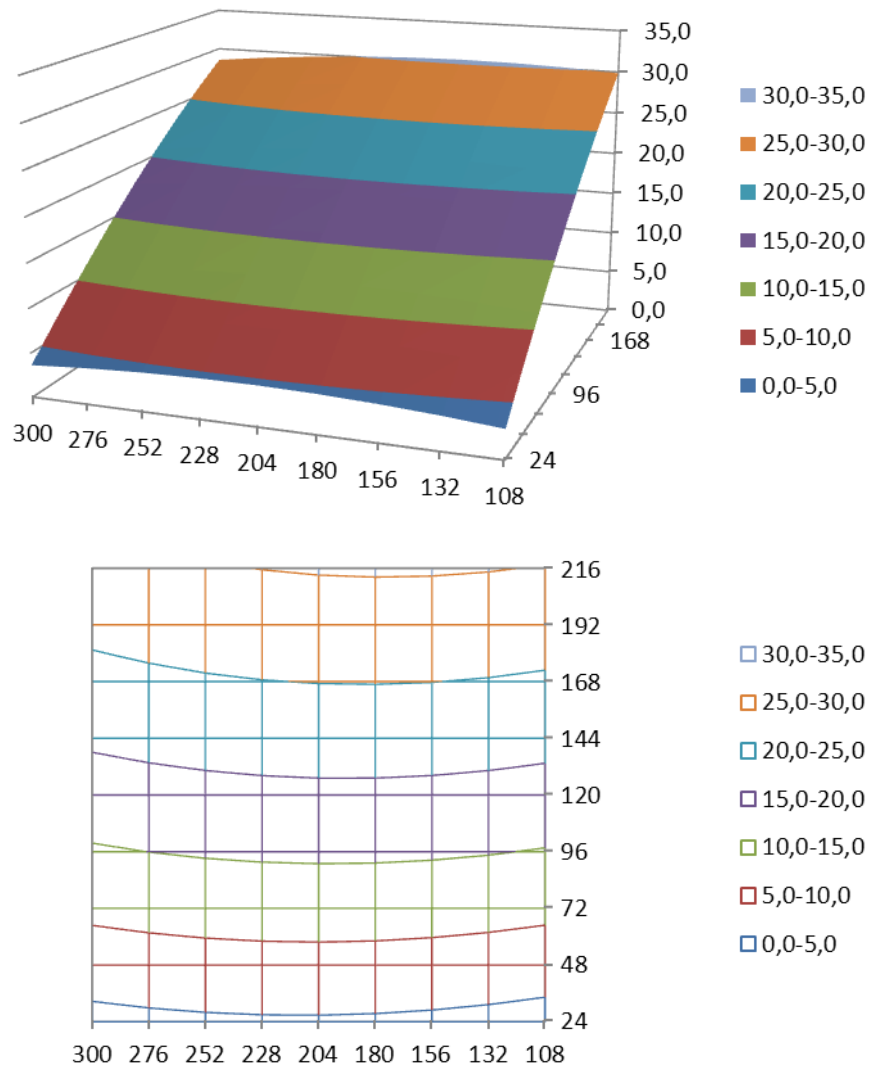


Рис. 4.11. Прирости переміщень у площині рами за (4.1)

Температурні переміщення в площині рами, як показано на рисунку 4.11, майже не залежать від довжини температурного блоку і не перевищують 30 мм навіть при найбільшій ширині $B=216$ м. Це значно менше за встановлене в [23] гранично допустиме значення переміщення $\Delta_B=53$ мм при висоті будівлі 8 м, а тому на перший погляд здається, що ширину температурного блоку можна збільшувати. Але при розгляді цього питання слід урахувати, що гранично допустиме переміщення верха колон, рівне $1/150$ висоти будівлі, встановлене стандартом [23] з метою забезпечення цілісності навісних стін, кріплення яких до колон може зруйнуватися при надто великих переміщеннях. Тому з гранично допустимим значенням $\Delta_B=53$ мм слід порівнювати не переміщення від впливу температури, а сумарні переміщення з урахуванням дії інших навантажень і впливів.

На рисунку 4.12 зображена залежність переміщень карнизного вузла у площині рами від сумарної дії ваги несучих та огорожувальних конструкцій, вітру й температурного впливу при зимовому замиканні каркасу, отримана за формулою (4.1) при відповідних значеннях її параметрів, наведених у таблиці 4.10. Таке сполучення навантажень обране з урахуванням того, що при зимовому замиканні каркасу максимальний температурний вплив реалізується влітку, коли снігове навантаження відсутнє. У випадку літнього замикання температурні впливи викликають переміщення в площині рами, протилежні за знаком до переміщень від дії постійного та снігового навантаження.

Таблиця 4.10

Переміщення карнизного вузла у площині рами від сумарного впливу постійного та вітрового навантажень і температури при зимовому замиканні

Номер каркаса	Ширина В, м	Довжина L, м	Переміщення, мм		Параметри формули (5.3)	
			дослідні	за (5.3)		
1	216	300	69,8	70,9	A_0	1,43E+01
2	24	300	27,9	27,5	A_{B1}	4,34E-01
3	216	108	74,9	75,1	A_{B2}	-7,55E-04
4	24	108	29,3	28,4	A_{L1}	5,56E-02
5	120	300	57,5	56,1	A_{L2}	-1,44E-04
6	120	108	57,8	58,7	A_{BL}	-8,75E-05
7	216	204	75,9	74,3	$\Delta_{0,9}$	1,79
8	24	204	27,6	29,3		
9	120	204	58,0	58,8		

З рисунка 4.12 видно, що сумарні переміщення також мало залежать від довжини температурного блоку, але є набагато більшими від переміщень, відображених рисунком 4.11. Гранично допустиме стандартом [23] переміщення $\Delta_B=53$ мм досягається при ширині температурного блоку близько 100 м, яка є значно меншою за гранично допустиме згідно з нормами [20] значення $B=150$ м. Отже, на величини переміщень карнизних вузлів у площині рам істотно впливають звичайні навантаження на каркас, вплив яких при зимовому замиканні каркаса складається з впливом змін температури.

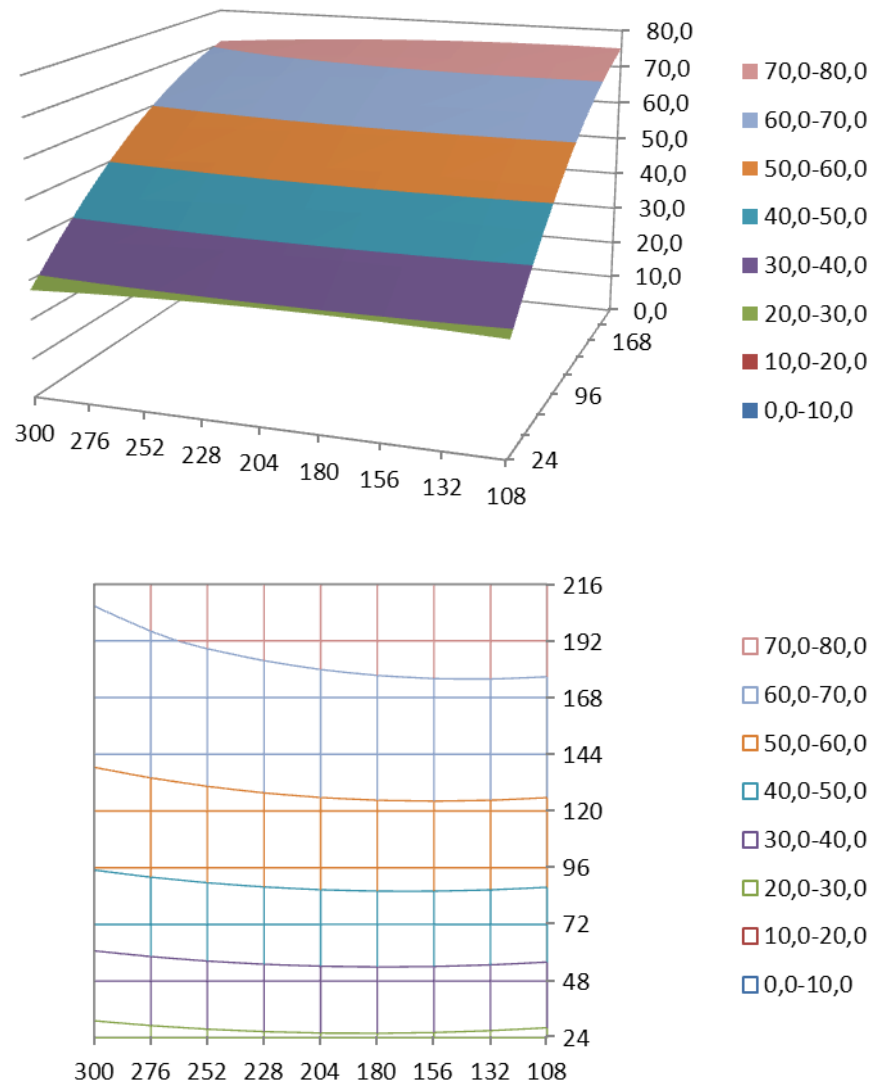


Рис. 4.12. Сумарні переміщення у площині рами від дії постійного та вітрового навантажень і температурного впливу при зимовому замиканні каркаса

Виявлений вплив силових навантажень на переміщення верхівок колон у площині рами значною мірою обумовлений обраною схемою поперечної рами, ригель якої дає горизонтальні розпирні реакції на колони від дії вертикально прикладених навантажень від снігу та ваги конструкцій покрівлі. У випадку використання звичайної балкової схеми ригелів, яка не створює розпирних зусиль, горизонтальні переміщення верхівок колон виникали б тільки від дії вітрового навантаження і були б значно меншими. Цілком можливо, що в такому випадку при встановленій [20] гранично допустимій ширині температурного блоку $B=150$ м горизонтальні переміщення верхівок колон не вийшли б за межі норм [23].

4.2. Вплив висоти будівлі

Державні будівельні норми [20] для будівель, висота яких до рівня карнизного вузла H перевищує 12 м, дозволяють збільшувати відстані між температурними швами на коефіцієнт

$$k = H/12 \leq 1,5, \quad (4.4)$$

що може істотно вплинути на величини напружень і переміщень від змін температури. З метою аналізу цього впливу виконане моделювання каркасів з однаковими розмірами в плані, але з різною висотою карнизного вузла. Як і в попередньому підрозділі, рами виконані з жорстким карнизним вузлом та з шарнірним обпиранням на фундаменти. Ригелі та колони виконані з прокатних двотаврів з паралельними гранями полиць, а їх перерізи підібрані на дію всіх навантажень без урахування температурних впливів. Усі змодельовані каркаси мають розміри в плані 24×108 м (10 однопролітних рам) та різні висоти карнизного вузла, вказані в таблиці 4.11.

Для подальшого аналізу з результатів розрахунків вибрані й наведені в таблиці 4.11 ті ж самі параметри напружено-деформованого стану несучих конструкцій, що й у попередньому підрозділі, а також зміни найбільших величин згинальних моментів у колонах в площині рами. Прирости моментів і напружень у колонах від дії температури, виражені у відсотках, характеризують вклад температурного впливу в напружений стан колон. Переміщення в площині рами від дії температурних впливів, вказані в міліметрах, характеризують вклад температурного впливу на деформований стан каркаса. Ці значення можна порівнювати з гранично допустимими переміщеннями, встановленими стандартом [23] для колон будівель з навісними панельними стінами.

Попередній аналіз таблиці показує, що температурні впливи викликають зовсім незначне збільшення згинальних моментів порівняно з моментами від дії інших навантажень. Дещо більші прирости напружень викликані згином колон з площини рами за рахунок температурних деформацій поздовжніх в'язей. Від дії температури виникають зовсім невеликі переміщення в площині рами та помітно

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		79

більші – уздовж будівлі. Незначні прирости згинальних моментів і переміщень у площині поперечних рам обумовлені невеликою шириною однопролітних каркасів, які були змодельовані.

Таблиця 4.11

Параметри напружено-деформованого стану каркасів різної висоти

Н, м	Перерізи колон	Прирости моментів у колоні, %		Прирости напружень в колоні, %		Переміщення в площині рами, мм		Переміщення вздовж будівлі, мм	
		обчисл	за (5.7)	обчисл	за (5.7)	обчисл	за (5.7)	обчисл	за (5.7)
6	60Ш2	1,37	1,37	10,00	10,17	3,6	3,6	18,5	18,5
8	60Ш2	1,04	1,03	7,59	7,35	3,9	3,8	18,8	18,9
12	60Ш3	0,65	0,68	4,46	4,53	4,0	4,1	19,3	19,3
16	70Ш2	0,49	0,51	3,06	3,13	4,2	4,2	19,5	19,5
20	70Ш3	0,43	0,41	2,31	2,28	4,3	4,3	19,6	19,6
А=			-0,01		-1,1		4,54		20,1
В=			8,3		67,6		-5,6		-9,8

Не дивлячись на невеликі значення більшості контрольованих параметрів, їх зміни досить систематично залежать від висоти до карнизного вузла **Н**, що відображено на рисунку 4.13.

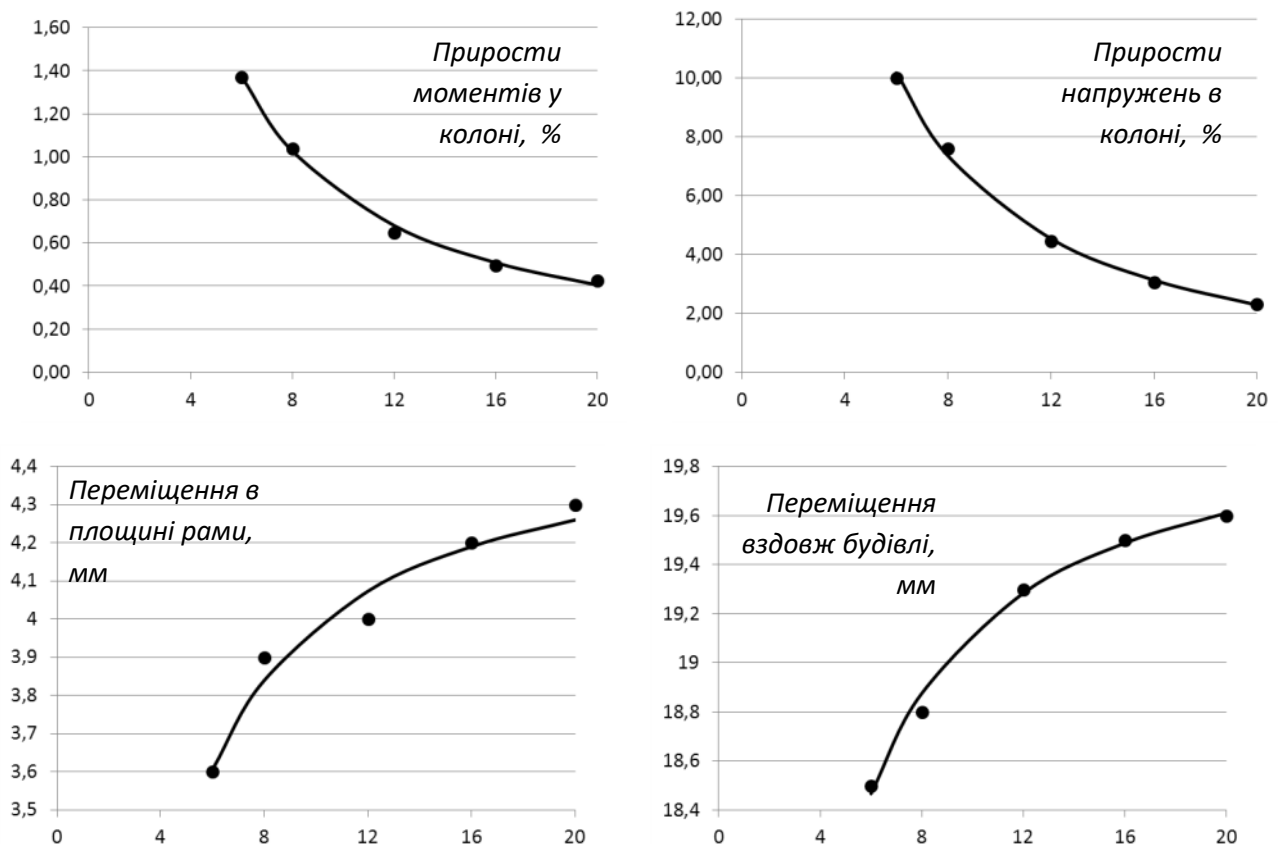


Рис. 4.13. Зміни контрольованих параметрів залежно від висоти будівлі

В усіх випадках залежності контрольованих параметрів від висоти будівлі задовільно описуються гіперболічними функціями виду

$$Y = A + B/H, \quad (4.5)$$

параметри яких, визначені методом найменших квадратів, наведені в останніх строчках таблиці 4.11. Цілком задовільна збіжність отриманих апроксимацій з результатами моделювання й розрахунку рам підтверджується як даними таблиці 4.11, так і рисунком 4.13, на якому апроксимуючі криві (4.5) проходять дуже близько до експериментальних точок.

У попередньому підрозділі досліджені залежності параметрів напружено-деформованого стану каркасу від довжини й ширини температурного блоку при висоті карнизного вузла $H=8$ м. Для подальшого аналізу впливу висоти будівлі на допустимі розміри температурного блоку залежності (4.5) виражені, як відношення до значень тих же параметрів при висоті карнизного вузла $H=8$ м. Формули, отримані в результаті цього перетворення, можна вважати своєрідними поправками на висоту будівлі до таких параметрів:

$$\text{приріст напружень в колоні} \quad \Delta_{\sigma H} = -0,149 + 9,19/H; \quad (4.6)$$

$$\text{переміщення в площині рами} \quad \Delta_{BH} = 1,18 - 1,46/H; \quad (4.7)$$

$$\text{переміщення уздовж будівлі} \quad \Delta_{LH} = 1,06 - 0,518/H. \quad (4.8)$$

Залежності параметрів напружено-деформованого стану від довжини й ширини температурного блоку проаналізовані в попередньому підрозділі. Для можливості використання цих залежностей далеко за межами апроксимації, використаємо на квадратичні функції (4.1), а лінійні залежності (4.3), параметри яких наведені в таблицях 4.7 і 4.8. Наведені в таблицях імовірні похибки лінійних апроксимацій свідчать про їх достатню точність.

З рисунків 4.10 і 4.12 видно, що переміщення вздовж будівлі мало залежать від її ширини, а переміщення в площині рами так само мало залежать від довжини будівлі. Це дозволяє спростити формули (4.5) шляхом підстановки до них постійних значень ширини $B=170$ м або довжини $L=180$ м, при яких реалізуються найбільші переміщення. Тоді переміщення у площині рами при висоті карнизного вузла $H=8$ м будуть залежати лише від ширини будівлі

					KMP 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		81

$$\Delta_B = 26,1 + 0,236B, \quad (4.9)$$

а переміщення вздовж будівлі залежать лише від її довжини

$$\Delta_L = -3,52 + 0,199L. \quad (4.10)$$

За аналогією з таблицею 4.10, параметри формули (4.9) описують сумарні переміщення від дії постійного і вітрового навантажень та змін температури при зимовому замиканні каркаса, оскільки в площині рами виникають значні переміщення від постійного та вітрового навантаження.

Аналогічна операція з формулою (4.3) для приросту напружень в колоні при підстановці до неї довжини $L=300$ м, при якій спостерігається найбільший приріст напружень, дає вираз

$$\Delta_\sigma = 6,77 + 0,060B. \quad (4.11)$$

Перемноживши формули (4.9) – (4.11) на відповідні поправки на висоту (4.6) – (4.8) і виконавши алгебраїчні перетворення, отримуємо рівняння, що пов'язують значення параметрів напружено-деформованого стану, більш впливовий розмір у плані (ширину або довжину) та висоту будівлі:

$$\text{для переміщень у площині рами} \quad B = \frac{1000H\Delta_B}{0.278H-0.345} - 111; \quad (4.12)$$

$$\text{для переміщень вздовж будівлі} \quad L = \frac{1000H\Delta_L}{0.211H-0.103} + 17.69; \quad (4.13)$$

$$\text{для приросту напружень в колоні} \quad B = \frac{H\Delta_\sigma}{0.551-0.009H} - 113. \quad (4.14)$$

Підставивши в рівняння (4.12) – (4.14) допустимі значення переміщень та приросту напружень від дії температури та розв'язавши їх відносно L і B при різних H , можна отримати залежності гранично допустимих значень довжини й ширини температурного блоку від висоти будівлі.

До рівняння (4.12), яке описує залежність сумарних переміщень карнизного вузла у площині рами від дії навантажень і температури при зимовому замиканні каркаса, підставлене гранично допустиме значення переміщення $\Delta_B=H/150$ за ДБН [20]. До рівняння (4.13) також підставлене гранично допустиме переміщення $\Delta_L=H/150$. Рівняння (4.14) розв'язувалося двічі, при значеннях приросту напружень в колоні від дії температури $\Delta_\sigma=5\%$ і $\Delta_\sigma=10\%$. Результати визначення гранично допустимих значень довжини та ширини температурного блоку за усіма

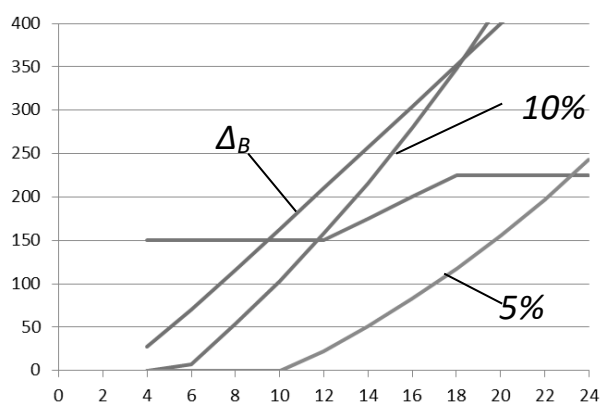
					KMP 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		82

вказаними критеріями при висотах до карнизного вузла від 4 до 24 м наведені в таблиці 4.12. Там же вказані гранично допустимі значення L і V для неопалюваних будівель при середній температурі повітря в січні, меншій за 0°C , згідно з таблицею 1.13.1 ДБН [20] з урахуванням формули (4.4).

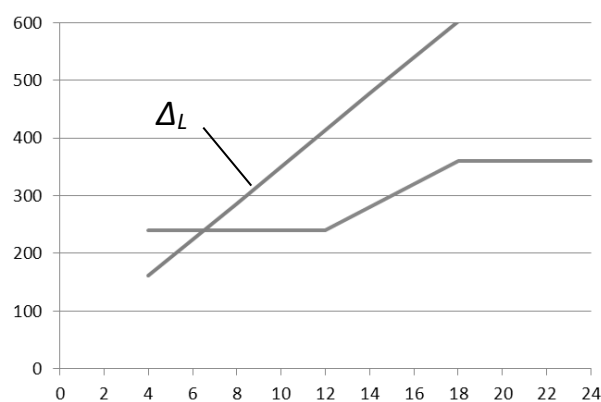
Таблиця 4.12

Граничні розміри температурного блоку залежно від висоти будівлі

Н, м	Ширина V за критеріями				Довжина L за критеріями	
	$\Delta_B = H/150$	$\Delta_{\sigma} = 5\%$	$\Delta_{\sigma} = 10\%$	ДБН	$\Delta_L = H/150$	ДБН
4	28	0	0	150	162	240
6	70	0	8	150	224	240
8	116	0	54	150	287	240
10	163	0	104	150	350	240
12	210	22	157	150	413	240
14	257	51	216	175	476	280
16	305	83	279	200	539	320
18	352	118	348	225	602	360
20	400	156	424	225	666	360
22	447	197	507	225	729	360
24	495	243	600	225	792	360



а) ширина



б) довжина

Рис. 4.14. Допустимі розміри температурного блоку залежно від висоти будівлі

Аналіз таблиці 4.12 та збудованих за її даними графіків 5.21 дозволяє зробити такі висновки:

1. Гранично допустимі розміри температурних блоків істотно зростають при зростанні висоти будівель, а тому їх збільшення при $H > 12$ м, передбачене ДБН [20], є цілком оправданим.

2. При висоті $H > 6$ м довжина температурного блоку, визначена за критерієм граничного переміщення верхівки колони $\Delta_L = H/150$, істотно перевищує значення, встановлені в ДБН [20], але при менших висотах будівель відстані між поперечними температурними швами слід робити меншими.

3. Максимально допустима ширина температурного блоку, визначена за критерієм граничного переміщення верхівки колони $\Delta_B = H/150$, при висотах будівель $H > 9$ м перевищує нормативні значення [20], а при менших висотах її слід приймати меншою.

4. Максимально допустима ширина температурного блоку, визначена за критерієм обмеження приросту напружень від дії температури, значною мірою залежить від встановленого обмеження. При $\Delta_\sigma = 10\%$ залежність ширини блоку від висоти будівлі близька до залежності, встановленої за критерієм переміщення колони $\Delta_B = H/150$, але при обмеженні $\Delta_\sigma = 5\%$ гранично допустимі розміри температурного блоку повинні бути значно меншими.

Методика і результати аналізу впливу часу замикання конструкцій каркаса наведені у додатку 1.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 4

1. Середня розбіжність між значеннями амплітуди коливань температури на внутрішній поверхні огороження, визначеними за формулами ДБН В.2.6–31:2016 "Теплова ізоляція будівель" та за запропонованою методикою складає $0,114^\circ\text{C}$ а максимальна – $0,334^\circ\text{C}$.

2. Запропонована методика розрахунку амплітуди має доволі високу точність і була прийнята для подальших досліджень.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		84

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Амплітуди добових коливань температури повітря описуються змішаним законом розподілу Гумбеля-Гаусса, мають виражені сезонні зміни (добові коливання температури повітря влітку значно більші, ніж зимою), але, за винятком Південного берега Криму, не мають виражених закономірностей змін по території України. Встановлені розрахункові значення амплітуд добових коливань та відхилень від середньодобових значень температури повітря в січні та в липні місяці, залежні від періоду їх повторюваності та інтервалу осереднення температури, що відображає теплову інерцію конструкцій. Отримані відхилення в липні близькі до даних норм, а в січні є більшими, ніж встановлено в ДБН В.1.2-2:2006.

2. Шляхом статистичного аналізу результатів вимірювань температури повітря на метеостанціях з різних географічних районів України встановлено, що характеристики температури повітря в літній період (температура літнього замикавання конструкцій та температура найтеплішої доби) мало змінюються по території України і можуть бути осереднені. Характеристики температури повітря в зимовий період (температура зимового замикавання конструкцій та температура найхолоднішої доби) необхідно районувати по території України, звернувши особливу увагу на субтропічну зону Південного берега Криму.

3. Встановлені ДБН В.1.2-2:2006 прирости температури відкритих металевих конструкцій, спричинені добовими коливаннями температури повітря, близькі до розрахункових значень, визначених за результатами дослідження добових амплітуд температури повітря. Розрахункові значення приростів температури, спричинені дією сонячної радіації, узгоджуються з максимальними значеннями, отриманими за результатами натурного експерименту з дослідження температури сталевих конструкцій.

4. Істотний вплив на напружено-деформований стан несучих конструкцій виявляє їх початкова температура, залежна від періоду замикавання каркаса. Для розглянутих каркасів замикавання в зимовий період призводить до

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		85

зростання зусиль і перерізів елементів, а замикання в літній період дозволяє за рахунок зменшення поперечних перерізів колон та ригелів знизити витрати сталі на каркас. Рациональний вибір періоду замикання у відповідності до розрахункової схеми конструкції може служити засобом управління зусиллями при проектуванні сталевих каркасів будівель.

5. Результати проведених досліджень можуть бути використані при нормуванні температурних впливів на несучі конструкції будівель та споруд, а також можуть слугувати відправними пунктами для формулювання завдань подальших досліджень впливу температури атмосферного повітря на напружено-деформований стан несучих будівельних конструкцій.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
						86
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

GENERAL CONCLUSIONS

1. The amplitudes of daily air temperature fluctuations are described by the mixed Humbell-Gaussian distribution law, have pronounced seasonal changes (daily air temperature fluctuations are much larger in summer than in winter), but, except for the southern coast of Crimea, have no pronounced patterns of change in Ukraine. The calculated values of the amplitudes of daily fluctuations and deviations from the average daily values of air temperature in January and July, depending on the period of their recurrence and the interval of temperature averaging, which reflects the thermal inertia of structures. The deviations obtained in July are close to these norms, and in January they are larger than those established in DBN B.1.2-2: 2006.

2. By statistical analysis of air temperature measurements at meteorological stations from different geographical regions of Ukraine it is established that the characteristics of air temperature in summer (summer short circuit and temperature of the warmest day) change little in Ukraine and can be averaged. Characteristics of air temperature in winter (winter temperature of structures and the temperature of the coldest day) should be zoned throughout Ukraine, paying special attention to the subtropical zone of the Southern coast of Crimea.

3. The established DBN B.1.2-2: 2006 temperature increases of open metal structures caused by daily fluctuations of air temperature are close to the calculated values determined by the results of the study of daily amplitudes of air temperature. The calculated values of temperature increments caused by the action of solar radiation are consistent with the maximum values obtained by the results of a field experiment to study the temperature of steel structures.

4. Significant influence on the stress-strain state of load-bearing structures is their initial temperature, depending on the period of closure of the frame. For the considered frameworks short circuit in the winter period leads to increase in efforts and cross sections of elements, and short circuit in the summer period allows to reduce expenses of steel on a framework due to reduction of cross sections of columns and crossbars. Rational choice of the period of short circuit in accordance with the design

					KMP 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		87

scheme of the structure can serve as a means of effort control in the design of steel frames of buildings.

5. The results of research can be used in the normalization of temperature effects on load-bearing structures of buildings and structures, and can also serve as a starting point for formulating tasks for further studies of the effect of atmospheric air temperature on the stress-strain state of load-bearing structures.

					<i>KMP 1727428 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		88

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ананьин Ю.А. К вопросу определения расчетной температуры стальных несущих конструкций цехов черной металлургии / Ю.А. Ананьин, С.Ф. Пичугин, В.А. Пашинский // Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания "Повышение эффективности эксплуатации и реконструкции промзданий металлургической, машиностроительной и горнорудной промышленности". – Макеевка: 1981. –С. 5-7.
2. Анапольская Л.Е. Метеорологические факторы теплового режима зданий /Л.Е. Анапольская, Л.С. Гандин. –Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 235 с.
3. А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека в будівництві» – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2012. – 94 с.
4. Беленя Е И. Учебное пособие для вузов. Специальный курс. Изд. 3-е перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1991г. -687 с. Е. И. Беленя, Н. Н. Стрелецкий, Г. С. Веденников и др. /Под редакцией Е. И. Беленя.
5. Беленя Е.И. Металлические конструкции. Стройиздат. 1986. 560 с.
6. Бельшев И.А. Статистический анализ данных о температуре воздуха для расчета конструкций /И.А. Бельшев, Л.В. Клепиков // Исследование нагрузок на сооружения и надежность строительных конструкций: Труды ЦНИИСК. –Вып. 42. – М.: Стройиздат. – 1976. –С. 7-23.
7. Блавацька Т.О., Сушко В.О., Шульгін В.В. Експериментальні дослідження температурного режиму тротуарного покриття. // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво.- Вип. 20.- Полтава: ПолтНТУ.- 2007.- с. 137-142.
8. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В.В.Болотин. – М.: Стройиздат, 1982. –385 с.
9. Болотин В.В. О принципах назначения расчетных нагрузок на сооружения / В.В. Болотин, В.А. Отставнов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1979.- № 5. –С. 3-5.
10. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. – М.: ВЦ АН СССР, 1968. – 476 с.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		89

11. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов: Изд. 13-е. / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
12. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Физматгиз, 1962. – 564 с.
13. Гарцман Л.Б. Вероятности гололедно-ветровых и температурных воздействий на ЛЭП / Л.Б. Гарцман. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 199 с.
14. Гончаров П.С., Ельцов М.Ю., Коршиков С.Б., Лаптев И.В., Осиюк В.А. NX для конструктора-машиностроителя.. — ИД ДМК Пресс. Москва, 2010. — 504 с. — ISBN 978-5-94074-590-7
15. Горохов Е.В. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи / Е.В. Горохов, М.И. Казакевич, С.В. Турбин // Под ред. Е.В. Горохова. – Донецк, 2005. – 348 с.
16. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений / Э. Гумбель. – М.: Мир, 1965. – 450 с.
17. ДБН 362-93. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації / Держбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 1995. – 46 с.
18. ДБН В.1.2-14:2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 30 с.
19. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. - К.: Мінбуд України, 2007.- 60 с.
20. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. К.: Мінрегіонбуд України, 2010.
21. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Пер с англ./ Н. Джонсон, Ф. Лион - М.: Мир, 1977-610 с

					KMP 1727428 ПЗ	Арк.
						90
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента. Пер с англ./ Н. Джонсон, Ф. Лион - М.: Мир, 1981-520 с
23. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування.
24. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проектування.-Введ.: 01.01.2007.-К: Держстандарт України,2006 -15 с.
25. ДСТУ Б В.2.6-101:2010. Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010
26. ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – К., 2010. – 101 с.
27. Заварина М.В. Строительная климатология / М.В. Заварина. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 312 с.
28. Карюк А.М. Розрахункові значення температури повітря на території України / А.М. Карюк // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – Вип. 15. – С. 49 – 53.
29. Карюк, А. М. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / А. М. Карюк. – О., 2011. – 21 с. : ил. – Библиогр.: с. 22.
30. Кикин А.И., Никольский А.С. Работа стального каркаса одноэтажного промышленного здания при температурных воздействиях // Промышленное строительство. 1972. - № 5. - С. 34-36.
31. Кінаш Р.І. Температурний режим повітря і ґрунту в Україні / Р.І. Кінаш, О.М. Бурнаєв. – Львів: Видавництво науково-технічної літератури, 2001р. – 800 с.
32. Клепиков Л.В. О статистическом распределении скорости ветра / Л.В. Клепиков // Металлические конструкции: Сборник трудов МИСИ. –№ 119. – М. – 1975. –С. 31-40.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		91

33. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Пер. с англ. / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1970. – 720 с.
34. Крышнякова О.С. Пространственно-временная изменчивость температуры воздуха и осадков в природных зонах Европейской территории России: автореф. дисс... к.геогр.н. спец. 25.00.23 / С.-Петерб. гос. ун-т. – Санкт-Петербург, 2010. – 16 с.
35. Кузьмичев, Г. П. Действительная работа продольных конструкций стального каркаса одноэтажного производственного здания при температурных воздействиях: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Г. П. Кузьмичев. – М., 1984. – 22 с. : ил. – Библиогр.: с. 22.
36. "ЛИРА 9.4. Руководство пользователя. ОСНОВЫ. Учебное пособие./ Стрелец-Стрелецкий Е.Б., Боговис В.Е., Гензерский Ю.В., Гераймович Ю.Д. та ін.- К.:«ФАКТ», 2008. – 164 с.
37. Маркова М.С. Биоклиматические особенности субтропической зоны Черноморского побережья / М.С. Маркова // Матер.метеорол.исслед. – 1986 . № 11. – С.88-91.
38. Метеорологический ежемесячник. Часть II, Выпуск 10. – Л.: Гидрометеиздат, 1961-1991.
39. Метеорологический ежемесячник. Часть I. Выпуск 10. – Л.: Гидрометеиздат. – 1961-1991.
40. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. Издание третье, переработанное / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лашенко, В.А. Пашинский, А.В. Перельмутер, С.Ф. Пичугин; Под общей ред. А.В. Перельмутера. – М.: издательство СКАД СОФТ, издательство Ассоциации строительных вузов, издательство ДЩМК Пресс, 2009. – 528 с.
41. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3, часть 1. Метеорологические наблюдения на станциях. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 308 с.
42. Некоторые особенности мезомасштабной атмосферной циркуляции и внутрисуточной изменчивости температуры воздуха в прибрежной зоне Черного

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		92

моря в летний период. /В.С. Архипкин, Г.В. Суркова, Е.Д. Бабина, В.М. Степаненко // Устойчивое развитие территорий юга России и Украины: эволюция, функционирование и ресурсы. Сб. науч. тр. Выпуск 1. – МГУ им.М.В.Ломоносова, Черноморский филиал. – Севастополь: НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика", 2002. – С. 35-48.

43. Никольский А.С. Работа узлов продольных конструкций стального каркаса одноэтажного производственного здания // А.С. Никольский, Г.П Кузмичев // Металлические конструкции в строительстве. Сборник трудов № 152 – 1979. – С. 96-105.

44. Никольский А.С. Влияние отпора колонн и связей на температурные деформации подкрановых балок. Сб.трудов МИСИ № 119, М. :1975.

45. Никольский А.С. Статический расчет и особенности действительной работы стального каркаса производственного здания на температурные воздействия. Реферативный сборник. Проектирование металлических конструкций. Серия УП, вып.6 (ЦНИИПСК), М.:1975.

46. Никольский А.С., Кузьмичев Г.П. Восприятие усилий от температурных воздействий стальными конструкциями производственных зданий. ЦИНИС. Реферативная информация. Серия IV, вып. 1; М., 1977. - С. 6-10.

47. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України / В.А. Пашинський. – К.: УкрНДІпроектстальконструкція, 1999. – 185 с.

48. Пашинський В.А. Імовірнісний опис процесу температури повітря / В.А. Пашинський, А.А. Кузьменко, А.М. Карюк // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. - К.: Техника, 2002. - Вып. 38. Серия: архитектура и технические науки. - С. 60 - 66.

49. Пашинський В.А. Методика обчислення розрахункових значень температури повітря за ймовірнісною моделлю випадкового процесу / В.А. Пашинський, А.М. Карюк// Зб. наук. пр. (галузеве машинобудування, будівництво). –Полтава: ПолтНТУ, 2003. – Вип. 13. – С. 24 – 27.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
						93
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

50. Пашинський В.А. Методологія нормування кліматичних навантажень і впливів на будівельні конструкції. // Надежность строительных конструкций. Работа научной школы проф. Пичугина С.Ф. : Сборник научных трудов. – Полтава: ООО "АСМИ", 2010. – с. 37 – 53.
51. Пашинський В.А. Нормування температури повітря для проектування теплозахисної оболонки будівель / В.А. Пашинський, Н.В. Пушкар, А.М. Карюк // Современные строительные конструкции из металла и древесины: сб. науч. тр. – Одесса: ООО "Внешрекламсервис", 2011. – Вып. 15. Часть 2. – С. 176 – 184.
52. Пашинський В.А. Оцінка імовірності виникнення теплових відмов конструкцій / В.А. Пашинський, Г.Г. Фаренюк // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сборник научных трудов. Выпуск 56. – Днепропетровск: ДГАСА, 2010. – с. 305 – 310.
53. Пашинський В.А. Розподіл середньодобової температури повітря на території України / В.А. Пашинський, А.М. Карюк // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2003. – Вип. 11. – С. 66 – 72.
54. Пашинський В.А. Територіальне районування України за статистичними характеристиками температури повітря / В.А. Пашинський, А.М. Карюк // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб.- К.: Техника, 2005. - Вып. 60. Серия: архитектура и технические науки. - С.123 - 129.
55. Пашинський В.А., Шульгін В.В., Сушко В.О., Карюк А.М. Оцінювання довговічності будівельних матеріалів з урахуванням кліматичних впливів // Бетон и железобетон в Украине. – 2004. – № 4. – с. 13-16.
56. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций /А.В. Перельмутер. – К.: УкрНИИпроект-стальконструкция, 1999. – 210 с.
57. Перельмутер А.В. Про класифікацію навантажень та дій на будівельні конструкції / А.В. Перельмутер, В.А. Пашинський // Технічна метеорологія Карпат: Матеріали першої Міжн. наук.-техн. конф. - ТМК-98. – Львів: Оксарт. – 1998. – с. 75-78.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		94

58. Пичугин С.Ф. Вероятностное представление нагрузок, действующих на строительные конструкции / С.Ф. Пичугин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1995.- № 4. – С. 12-18.
59. Пичугин С.Ф. К сравнению методик представления нагрузок на конструкции / С.Ф. Пичугин, В.А. Пашинский // Полтавский инженерно-строительный институт: Тезисы докладов 44 науч. конф. – Часть 1. – Полтава: 1992. – С. 158.
60. Пичугин С.Ф. Районные вероятностные характеристики атмосферных нагрузок для территории Украины / С.Ф. Пичугин, В.А. Пашинский // Полтавский инженерно-строительный институт. Тезисы докладов 45 науч.конф. – Часть 1. – Полтава: 1993. – С. 254-255.
61. Пичугин С.Ф. Расчет надежности металлических конструкций (полученные результаты и нерешенные вопросы). // Надежность строительных конструкций. Работа научной школы проф. Пичугина С.Ф. : Сб.науч. тр. – Полтава: ООО "АСМИ", 2010. – с. 16 – 35.
62. Природа Украинской ССР. Климат. / Ред. Логвинов К.Т., Щербань М.И. – К.: Наук.думка, 1984. – 232 с.
63. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании/ В.Д.Райзер. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 1998. – 302 с.
64. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.
65. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций / Свешников А.А. – М.: Наука, 1968. – 464 с.
66. Семко О.В., Пашинський В.В. Експериментальні дослідження температурного режиму металевих конструкцій.// Тези 62-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету. Том 1—Полтава 2010 ст.59-61
67. Семко О.В., Пашинський В.В. Методика досліджень температури металевих конструкцій в неопалюваних приміщеннях.// Состояние современной строительной науки-2010. Сб.науч.трудов.—Полтава 2010 ст. 213-215

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		95

68. Семко О.В., Пашинський В.В. Методика експериментальних досліджень впливу температури атмосферного повітря на елементи відкритих металевих конструкцій // Коммунальное хозяйство городов.—Київ 2009 ст. 164-168
69. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 136 с.
70. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.
71. СНиП II-23-81* Нормы проектирования. Стальные конструкции. М.: ЦИТП, 1991. – 96 с.
72. Справочник по климату СССР. Часть II. Температура воздуха и почвы. Выпуск 10. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 608 с.
73. Строительная механика. Под ред. Бутенко Ю.И.-К. - Вища школа, 1989.
74. Сухов Ю.Д. Применение теории надежности для нормирования расчетных значений нагрузок // Ю.Д. Сухов, А.П. Булычев // Строительная механика и расчет сооружений. – 1976. – № 6. – С. 15-19.
75. Сухов Ю.Д., Применение теории надежности для определения оптимальных длин температурных отсеков зданий / Ю.Д. Сухов И.А.Белышев // Строительная механика и расчет сооружений. – 1979. – № 6. – С. 4-8.
76. Сухоруков В.В. - Autodesk Robot Structural Analysis Professional / В.В. Сухоруков-М.: АСВ, 2009.-130 с.
77. Тихонов В.И. Выбросы случайных процессов / В.И. Тихонов. – М.: Наука, 1970. – 392 с.
78. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій / Г.Г. Фаренюк. – К. : Гама-Принт, 2009. – 216 с.
79. Фізико-географічне районування. Кліматичні умови. Інтернет-ресурс: www.tovtry.km.ua/ru/info/project/proj3_1.html
80. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности / Я.Б. Шор. – М.: Советское радио, 1962. – 552 с.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		96

81. Allaire, M.G. 1998. "Roof Design Considerations for Cold Climate Environments." Interface, Journal of the Roof Consultants Institute. 16(1) (January): 5-10. American Ingenuity Dome. nd. Web site. <www.aidomes.com/>.
82. Aromma, P. 1999. "Low Energy Steel Houses for Cold Climate." Proceedings of the European Conference on Steel Structures - Eurosteel '99. J. Studnicka, F. Wald and J. Machacek (eds). Prague, Czechoslovakia, May, pp. 299-302.
83. "Barabash M.S. Computer Technologies in Building/M.S. Barabash.-K.: NAU,2008.-2008. – 172 p."
84. Braun, J. and Chaturvedi, N. 2002. An Inverse Graybox Model for Transient Building Load Prediction, HVAC&R Research. 8 (1):73–99.
85. Collares-Pereira, M. and A. Rabl. 1979. "The Average Distribution of Solar Radiation-Correlation between Diffuse and Hemispherical and between Daily and Hourly Insolation Values. " Solar Energy, Vol. 22, 155-164.
86. ENV 1991-1:1994. Eurocode: Basis of structural design.- CEN, 2001.
87. ENV 1991-2-5. Eurocode 1 - Basis of design and actions on structures. Part 2.5 : Thermal actions.- CEN, 1997.
88. Hay, J.E. and D.C. McKay. 1985. "Estimating Solar Irradiance on Inclined Surfaces: A Review and Assessment of Methodologies". International Journal of Solar Energy, Vol. 3, 203-240
89. Hirst, M. J. S. 1984. "Temperature Effects." Short Course on Prestressed Slab Systems-Chapter 11, Concrete Institute of Australia and N.S.W.I.T.
90. Hirst, M. J. S. and W.H. Dilger. 1989. "The Prediction of Bridge Temperatures". IABSE Periodica, Vol. 3 (Aug), 109-120.
91. Довідник по використанню Autodesk Robot Structural Analysis Professional. Режим доступу: <http://docs.autodesk.com/RSA/2012/RUS/landing.html>
92. Louis Komzsik. What Every Engineer Should Know about Computational Techniques of Finite Element Analysis, Second Edition.. — CRS Press, 2009. — 350 с.
93. Nakasone Y., Yoshimoto S.. Engineering Analysis With ANSYS Software./ Y. Nakasone and S. Yoshimoto. - Cornwall: MPG Books Ltd., 2006.- 456 p.

					KMP 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		97

94. Orgill, J.F. and K.G.T. Hollands. 1977. "Correlation Equation for Hourly Diffuse Radiation on a Horizontal Surface." Solar Energy, Vol. 19, 357-359.
95. Sandberg, P. and J. Nieminen. 1997. "Steel Houses in a Cold Climate." Pp. 427-438 in Proceedings of the Jerkontoret-Anniversary Conference, 50th. Stockholm, Sweden, June.
96. SCAD для пользователя./ Карпиловский В. С. Криксунов Э. З. и др. -К.: Компас, 2000.-330 с.
97. U. Schneider, U. Diedrichs and C. Ehm, Effect of temperature on steel and concrete for PCRV's, Nucl. Engrg. Design 67 (1981) 245-258.
98. Wang, S. and Xu, X. 2006. Simplified Building Model for Transient Thermal Performance Estimation Using GA-based Parameter Identification. International Journal of Thermal Sciences. 45 (2006): 419–432.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		98

Додаток 1

ВПЛИВ ЧАСУ ЗАМИКАННЯ КОНСТРУКЦІЙ КАРКАСА

Розрахунок несучих металевих конструкцій на дію температури повітря виконується з урахуванням температурних перепадів, які встановлені ДБН [19]. Залежно від періоду замикання каркаса в завершену статично невизначену систему (зимою чи літом), реалізуються прирости або зменшення температури, які можуть викликати в конструкціях внутрішні зусилля протилежних знаків і різної величини. Цей ефект був виявлений у попередніх підрозділах, де досліджувалися залежності зусиль і напружень в конструкціях від розмірів температурного блоку. Тому період замикання впливає на сумарний напружено-деформований стан несучих конструкцій.

Державними будівельними нормами України [19] встановлені розрахункові значення перепадів температури несучих конструкцій з урахуванням умов їх експлуатації (в опалюваному чи неопалюваному приміщенні, на відкритому повітрі) та періоду замикання. Очевидно, що додатний температурний перепад при замиканні системи взимку та від'ємний – при замиканні влітку будуть викликати внутрішні зусилля протилежних знаків, але дослідження впливу цього явища на напружено-деформований стан несучих конструкцій каркасів реальних будівель в літературі не виявлено.

З метою більш детального дослідження впливу періоду замикання на величину внутрішніх зусиль в елементах просторових конструкцій каркасів одноповерхових будівель та можливості управління напружено-деформованим станом цих конструкцій шляхом вибору оптимального періоду замикання додатково розраховано в середовищі Autodesk Robot Structural Analysis [11, 94] найбільший та найменший каркаси з переліку, наведеного в таблиці 4.1, тобто каркаси №1 та №4. В якості базового модуля прийнята однопролітна рама, схема якої зображена на рисунку 5.1. Ригелі з колонами з'єднані жорстко, а прикріплення колони до фундаменту може бути жорстким або шарнірним. При

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		99

прольоті 24 м, висоті до карнизного вузла 8 м та ухилі покрівлі 14° висота конькового вузла дорівнює 11 м., Проаналізовані каркаси складені з однакових однопролітних рам, але відрізняються розмірами в плані:

- 1) 24×108 м (один проліт, 9 кроків);
- 2) 216×300 м (дев'ять прольотів, 25 кроків).

Перший каркас є характерним для порівняно невеликих виробничих будівель масового застосування, а розміри другого дещо перевищують гранично допустимі розміри температурного блока, встановлені ДБН [38]. При повторному розрахунку замість шарнірних опор прийнято опори з защемленням у фундаменті. В подальшому аналізі використовувалися як результати, отримані як при шарнірному обпиранні колон, так і при жорсткому. Загальна схема конструкцій що моделювалися, мало відрізняється від схеми, яку використовували в попередніх дослідженнях, однак спостерігаються й деякі відмінності. Схеми конструкції вузлів рами зображені на рисунках 5.2 і 5.3.

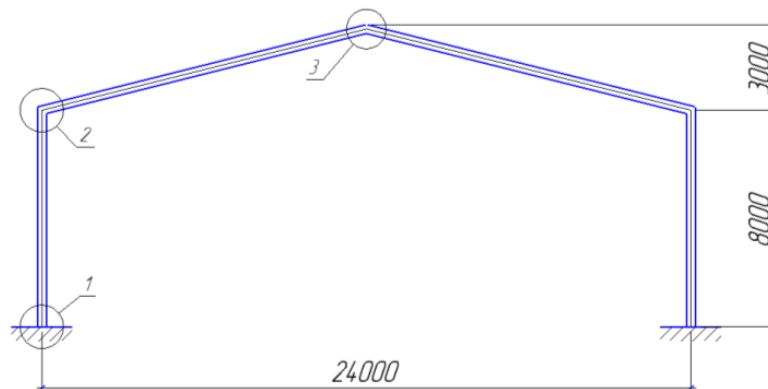
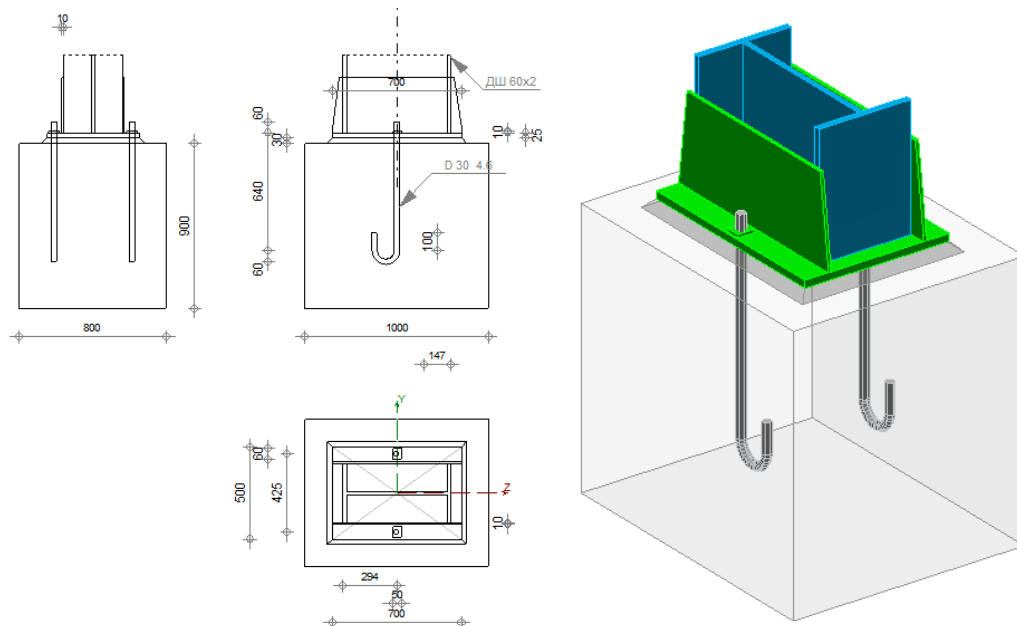
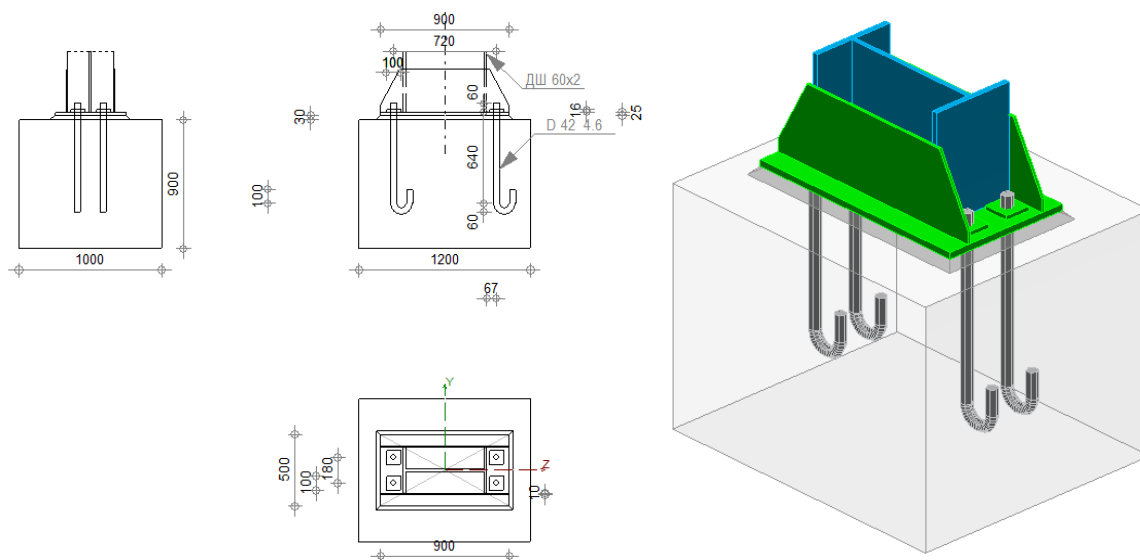


Рис. 5.1. Конструктивна схема однопролітної поперечної рами

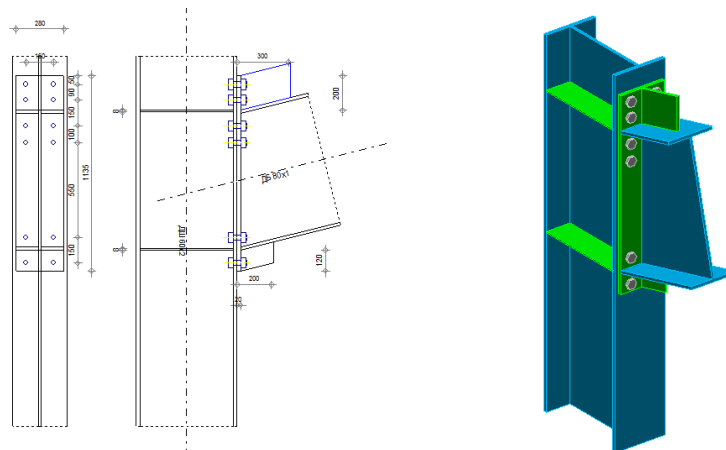


а) при шарнірному обпиранні колони (вузол 1а)

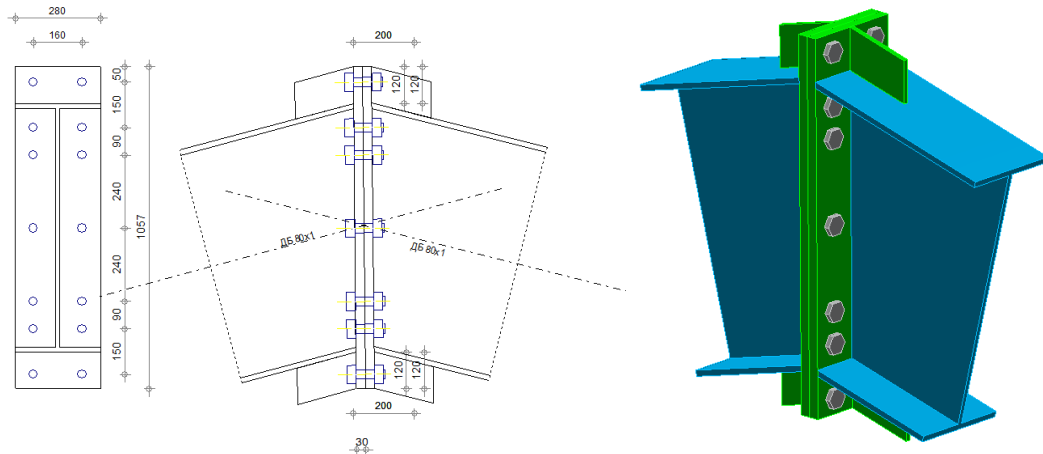


б) при жорсткому обпиранні колони (вузол 1б)

Рис. 5.2. Опорні вузли поперечних рам



а) з'єднання балки з колоною (вузол 2)



б) Коньковий вузол (вузол 3)

Рис. 5.3. Вузли поперечних рам

Сталеві каркаси моделювалися як просторові системи за допомогою вбудованих майстрів-генераторів рам шляхом нарощування кількості прольотів та установки необхідного числа поперечних рам з кроком 12 м. Рами об'єднані прогонами покрівлі та системою в'язей по колонах і ригелях згідно з вимогами ДБН [38]. Ригелі виконані з прокатних двотаврів балочного профілю, колони – з прокатних двотаврів з широкими полицками. Матеріал усіх елементів – сталь С245. Поперечні перерізи ригелів та колон підбиралися в процесі розрахунку за критерієм міцності, що оправдано великими значеннями згинальних моментів.

Як і в попередніх підрозділах, каркаси розраховані на навантаження від власної ваги несучих та огорожувальних конструкцій, снігове та вітрове навантаження за ДБН [88] для м. Кропивницького. Температурні впливи визначені як для несучих конструкцій неопалюваної будівлі. Граничне розрахункове значення перепаду температури конструкцій дорівнює $+31^{\circ}\text{C}$ при замиканні конструкції взимку, та -39°C при замиканні влітку.

За результатами розрахунків на окремі навантаження склалися три розрахункові комбінації зусиль:

- постійне та змінні навантаження без урахування впливу температури;
- постійне та змінні навантаження з урахуванням температурного впливу при літньому замиканні каркаса;

- постійне та змінні навантаження з урахуванням температурного впливу при зимовому замиканні каркаса.

Після виконання статичного розрахунку засобами програмного комплексу обчислювалися напруження в характерних перерізах колон і ригелів та вибиралися максимальні значення напружень в основних несучих елементах трьох груп: ригелі, колони крайніх рядів, колони середніх рядів. При необхідності перерізи елементів коригувалися таким чином, щоб вони були мінімально можливими в межах сортаменту прокатних двотаврів.

Для кожної з трьох груп елементів вибиралися такі контрольні параметри:

- найбільші значення внутрішніх зусиль (поздовжні сили, згинальні моменти в площині та з площини рами);
- перерізи елементів, їх площі та сумарні витрати сталі;
- найбільші напруження в елементах кожної групи.

За вибраними контрольними параметрами проаналізовані розподіли розрахункових зусиль та перерізів ригелів, колон крайніх та середніх рядів по довжині й ширині каркаса, а також їх зміни залежно від величини температурних впливів при різних періодах замикання каркаса.

Обидва каркаси моделювалися та розраховувалися в шести варіантах:

- шарнірно обперті колони, без урахування температурних впливів;
- шарнірно обперті колони, замикання відбулося влітку;
- шарнірно обперті колони, замикання відбулося взимку;
- жорстко обперті колони, без урахування температурних впливів;
- жорстко обперті колони, замикання відбулося влітку;
- жорстко обперті колони, замикання відбулося взимку.

Кожен із 12 перелічених каркасів розрахований окремо, а тому має індивідуальні перерізи основних несучих конструкцій, які можуть відрізнятися між собою (характерно для каркасу 2 з великими розмірами в плані), так і залишатися незмінними (каркас 1 з меншими розмірами в плані). Це викликано тим, що при невеликих розмірах у плані температурні впливи на елементи каркасу 1 є незначними порівняно з дією інших навантажень. Якщо перерізи залишалися

незмінними незалежно від варіанту врахування впливу температури, відмічалися істотні зміни напружень у відповідних елементах.

Результати дослідження напружено-деформованого стану обох каркасів узагальнені в таблицях 5.1 і 5.2, які містять позначення перерізів ригелів та колон, номери підібраних двотаврів, а також результуючі величини:

$\sigma_{\max}$ – найбільші напруження по групі конструкцій (МПа);

M_Y – найбільші згинальні моменти в площині рами (кН×м);

M_Z – найбільші згинальні моменти з площини рами (кН×м).

Таблиця 5.1

Результати розрахунків елементів каркаса розмірами 24×108 м

Несуча конструкція	Переріз	Жорстке закріплення: ригель 70Б2, колона 60Ш2			Шарнірне закріплення: ригель 80Б1, колона 60Ш2		
		$\sigma_{\max}$	M_Y	M_Z	$\sigma_{\max}$	M_Y	M_Z
Без урахування впливу температури							
Ригель	3	228	-885,7	0,7	200	-954,0	0,9
	4	141	417,5	-12,8	169	659,3	-14,4
Колона	1	177	-714,5	1,9	15	0	0
	2	215	880,7	-3,0	232	948,5	-4,0
При замиканні взимку							
Ригель	3	228	-888,2	0,6	202	-962,9	1,0
	4	142	391,7	-15,3	170	643,1	-16,0
Колона	1	207	-756,5	16,5	15	0	0
	2	214	883,2	-2,4	234	957,4	-4,2
При замиканні влітку							
Ригель	3	227	-882,6	0,9	198	-942,8	0,9
	4	141	449,9	-9,7	169	679,6	-12,4
Колона	1	186	-661,7	-16,3	15	0	0
	2	215	877,5	-3,7	229	937,3	-3,7

Результати розрахунку першого каркасу з розмірами в плані 24x108 м, наведені в таблиці 5.1, дозволяють зробити такі висновки:

1. Заміна шарнірного закріплення колони в фундаменті на жорстке привела до зменшення згинальних моментів у карнизному вузлі рами на 7 – 10%. При цьому поперечний переріз ригеля також зменшився 10%. Переріз колони в межах

існуючого сортаменту не змінився, але найбільші згинальні напруження в ній зменшилися на 7 – 10%.

2. В усіх випадках переріз ригеля визначається опорним згинальним моментом (в карнизному вузлі рами). Момент посередині прольоту ригеля приблизно у 1,5 рази менший від опорного моменту при шарнірному обпиранні колон і майже в 2 рази – при жорсткому.

3. Як при шарнірному, так і при жорсткому закріпленні в фундаментах переріз колони визначається згинальними моментами в карнизному вузлі рами.

4. При замиканні каркаса з шарнірним обпиранням колон в зимовий період зміни температури підвищують напруження, а при замиканні влітку дещо зменшують.

5. Максимальні напруження від перепадів температури не перевищують 1,3% напружень, викликаних сумарною дією усіх інших навантажень. Це свідчить про незначний вплив перепадів температури при невеликих розмірах каркасу в плані.

Результати розрахунку другого каркасу, який складається з дев'яти прольотів та 26 поперечних рам і має розміри в плані 216×300 м, представлені в таблиці 5.2 і на рисунках 5.4, 5.5. На рисунках відображені зміни згинальних моментів у площині рами M_y та з площини рами M_z в колонах крайніх рядів при їх жорсткому прикріпленні до фундаментів. Суцільна лінія відповідає розрахунку без урахування температурних впливів, пунктирна лінія відображає згинальні моменти в колонах, розрахованих при умові замикання каркаса в літній період, а лінія з маркерами – в зимовий.

Таблиця 5.2

Результати розрахунків елементів каркаса розмірами 216×300 м

Несуча конструкція	Жорстке опирання			Шарнірне опирання		
	M_y	M_z	Площа перерізу	M_y	M_z	Площа перерізу
Без урахування впливу температури						
Ригель	-1674,1	0,08	272,4	-1953,4	-6,1	293,82
Колона крайня	2681,0	15,0	436,0	1943,7	14,1	389,7
Колона середня	132,2	0,5	122,4	446	0,8	181,1
Замикання взимку						
Ригель	-1416,4	6,5	272,4	-2515,1	-17	364,0
Колона крайня	5118,4	562,6	783,2	2505,0	17	436,0
Колона середня	378,7	-44,0	181,1	641,4	9,5	181,1
Замикання влітку						
Ригель	-1491,0	-1,1	272,4	-1790,5	12,5	272,4
Колона крайня	1482,9	97,7	389,7	1781,2	15,3	389,7
Колона середня	8,4	45,1	122,4	148,6	7,4	122,4

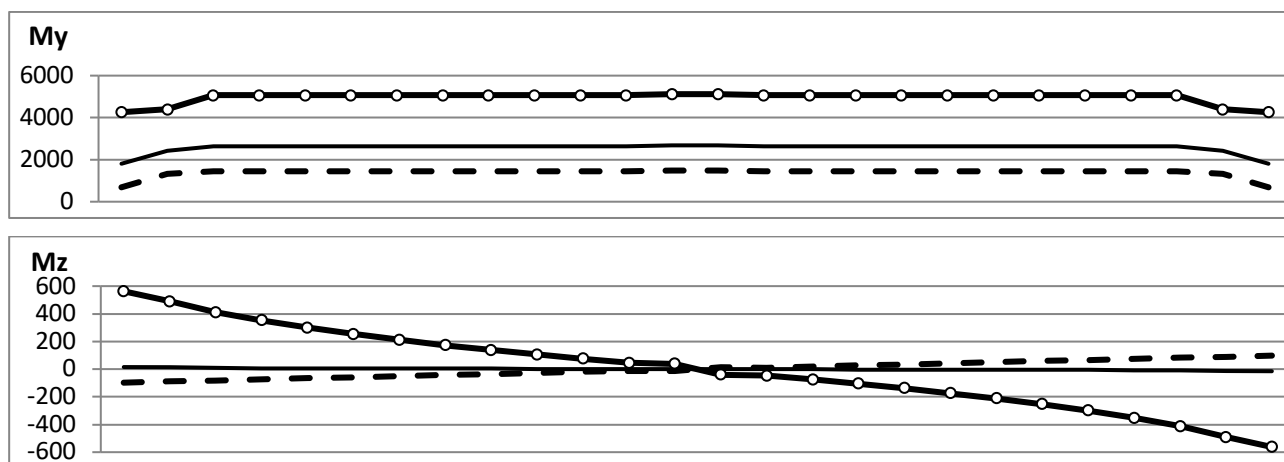


Рис. 5.4. Зміни згинальних моментів у колонках крайнього ряду
за довжиною будівлі

З рисунка 5.4 видно, що згинальні моменти в площині рами є практично незмінними за довжиною будівлі. Їх зменшення в крайніх рамах пояснюється впливом горизонтальних в'язей по ригелях. Температурні розширення при замиканні каркаса взимку призводять до збільшення моментів майже удвічі, а замикання каркаса влітку викликає зменшення згинальних моментів. Згинальні моменти з площини рами, обчислені без урахування змін температури, близькі до нуля, а при урахуванні змін температури зростають від середини до країв будівлі. Замикання каркаса взимку та в літній період призводить до виникнення температурних зусиль протилежного знаку. Менші прирости згинальних моментів, викликані у результаті замикання каркасу літом, пояснюються значно меншими перерізами колон, які відповідно сприймають менші зусилля у складі статично невизначеної просторової системи.

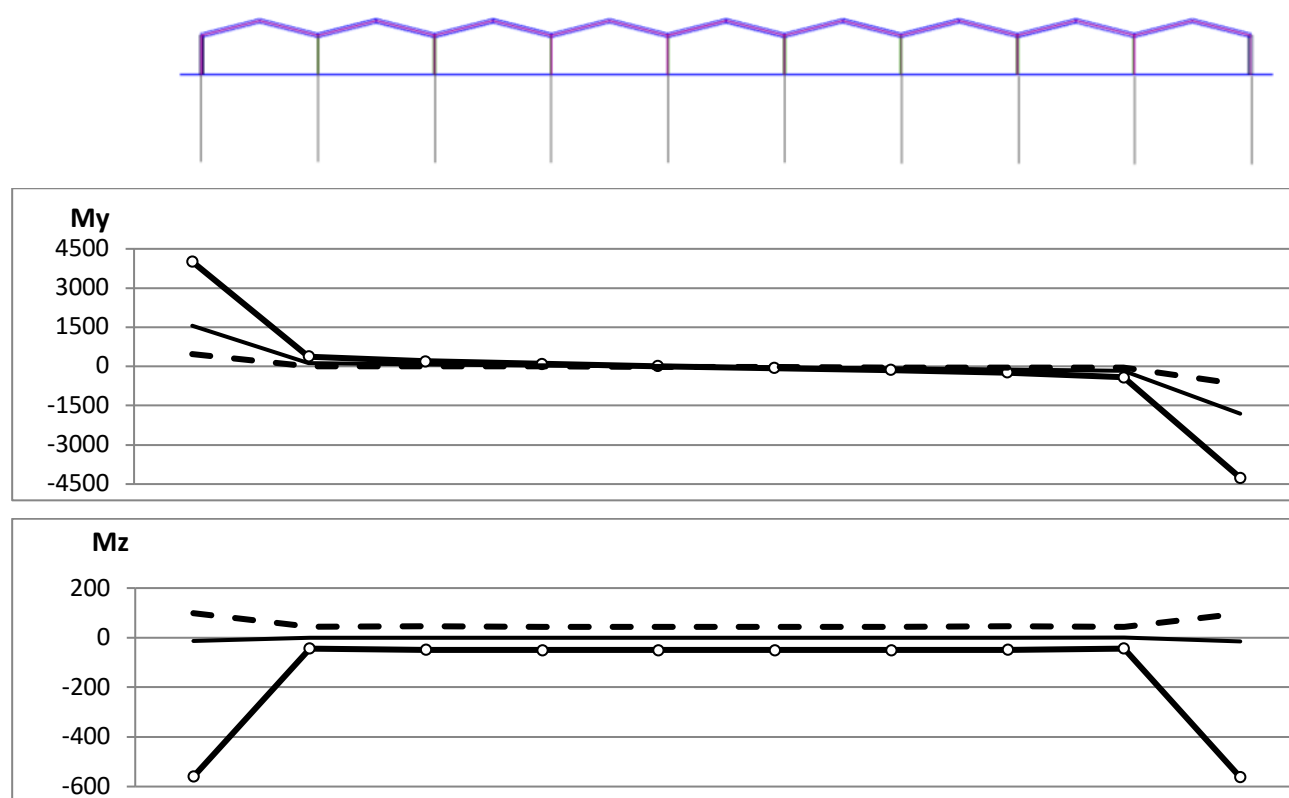


Рис. 5.5. Зміни згинальних моментів у колонах крайнього ряду
за шириною будівлі

На рисунку 5.5 показано, що згинальні моменти в площині та з площини поперечних рам для усіх колон середніх рядів є дуже близькими. В колонах крайніх рядів виникають у декілька разів більші моменти. Це пояснюється як одностороннім прикріпленням ригелів, так і значно більшою жорсткістю колон крайніх рядів порівняно з колонами середніх рядів. В усіх випадках замикання каркаса зимою призводить до зростання згинальних моментів, а при замиканні в літній період моменти помітно зменшуються.

Числові результати моделювання й розрахунків другого каркаса, наведені в таблиці 5.2, свідчать про істотний вплив змін температури на напружено-деформований стан і поперечні перерізи несучих конструкцій. Урахування перепадів температури при замиканні каркаса взимку у більшості випадків приводить до зростання згинальних моментів у площині рами M_y у 2-3 рази та збільшення поперечних перерізів ригелів і колон як при шарнірному, так і при жорсткому прикріпленні колон до фундаментів. Замикання каркаса в літній період викликає температурні зусилля, знак яких у багатьох випадках є протилежним до знаку зусиль від інших навантажень. Це призводить до зниження згинальних моментів на 8–67%.

Великі значення згинальних моментів з площини рами M_z , характер їх розподілу за довжиною будівлі, відображений на рисунку 5.5, а також істотний вплив на напружений стан колон крайніх рядів вказують на доцільність зміни перерізів колон крайнього ряду по довжині будівлі. Колони, розміщені посередині довжини будівлі, можуть мати менші перерізи, ніж колони, розміщені поблизу торців температурного блока.

Зведені дані про перерізи та витрати сталі на ригелі й колони каркаса № 1 з розмірами в плані 216×300 м наведені в таблиці 5.3. Для чотирьох варіантів моделювання каркасу (шарнірне й жорстке з'єднання колон з фундаментами, замикання каркаса зимою й літом) наведені перерізи ригелів, крайніх і середніх колон, а також витрати сталі на ці елементи й на каркас у цілому. Дані таблиці вказують на вагомий вплив періоду замикання на величини поперечних перерізів і витрати сталі на несучі конструкції каркасу. Порівняно із замиканням у зимовий

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
						108
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

період, замикання каркасу влітку приводить до зменшення витрат сталі на ригелі до 25%, на колони крайніх рядів до 50% і на колони середніх рядів до 32%. Загальна економія сталі на несучі конструкції каркаса складає 12% для каркаса з жорстким закріпленням колон у фундаментах і 25% при шарнірному закріпленні колон у фундаментах.

Таблиця 5.3

Витрати сталі на несучі конструкції каркаса розмірами 216×300 м

Тип розрахунку	Несуча конструкція	Тип обпирання	Маса 1м, кг	Маса конструкцій, тонн
Замикання взимку	Крайня колона	Жорстке	614,9	255,85
		Шарнірне	342,3	142,43
	Середня колона	Жорстке	213,9	236,65
		Шарнірне	285,8	236,65
	Балка	Жорстке	142,2	1238,30
		Шарнірне	142,2	1654,70
Всього:	Жорстке			1730,80
	Шарнірне			2033,78
Замикання влітку	Крайня колона	Жорстке	306,0	127,31
		Шарнірне	306,0	127,31
	Середня колона	Жорстке	213,9	159,94
		Шарнірне	213,9	159,94
	Балка	Жорстке	96,1	1238,30
		Шарнірне	96,1	1238,30
Всього:	Жорстке			1525,55
	Шарнірне			1525,55

Загалом отримані результати вказують на істотний вплив розмірів каркаса в плані та періоду його замикання на напружено-деформований стан несучих конструкцій. Зміни температури мало впливають на зусилля, напруження й переміщення несучих конструкцій каркасів з невеликими розмірами в плані, але їх обов'язково треба враховувати при значних розмірах будівель. Істотний вплив на напружено-деформований стан несучих конструкцій виявляє також початкова температура конструкцій, яка залежить від періоду замикання каркаса. Для розглянутих каркасів замикання в зимовий період призводить до зростання зусиль і перерізів елементів, а замикання в літній період дозволяє зменшити поперечні перерізи та витрати сталі.

Додаток 2

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ З ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ СТІН ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

6.1. Охорона праці під час проведення робіт із теплоізоляції.

Організація і технологія виконання теплоізоляційних робіт повинні забезпечувати безпеку працюючих на всіх стадіях виробничого процесу. Вимоги щодо попередження впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів у процесі підготовки та виконання теплової ізоляції при новому будівництві, при реконструкції та технічному переозброєнні підприємств, будівель і споруд визначаються за ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека у будівництві [3] з урахуванням вимог правил пожежної безпеки при виробництві будівельно - монтажних робіт, а також санітарних норм і правил. При виконанні теплоізоляційних робіт враховують можливість виникнення наступних небезпечних і шкідливих для виконавців робіт виробничих факторів:

- запиленість і загазованість повітря;
- високий рівень шуму і вібрації на робочому місці;
- недостатня освітленість;
- відхилення від оптимальних норм температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні;
- недостатня електробезпека застосовуваних машин і устаткування.

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони і параметри мікроклімату не повинні перевищувати вимоги норм, встановлених ГОСТ 12.1.005. Допустимі значення рівнів шуму і вібрації, створюваних машинами і механізмами на робочих місцях відповідно по ГОСТ 12.1.003 і ГОСТ 12.1.012. Освітленість на робочих місцях повинна бути не менше 30 лк. У технологічних процесах при виконанні теплоізоляційних робіт слід застосовувати необхідні засоби механізації. Роботи на всіх стадіях технологічного процесу повинні виконуватися із застосуванням індивідуальних і колективних засобів захисту по ГОСТ 12.4.011.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
						110
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Підвищені вимоги до безпеки виконання теплоізоляційних робіт при застосуванні теплоізоляції з пінополіуретану повинні враховувати токсичність та небезпеку пожежі. Область застосування ізоляції з пінополіуретану повинна відповідати вимогам СНиП 2.04.14-88. Основним документом для підготовки, організації та виконання теплоізоляційних робіт з урахуванням забезпечення безпеки праці є проект виконання робіт (ПВР) або технологічна карта (ТК). Склад і зміст основних рішень ПВР і ТК щодо забезпечення безпеки праці повинні відповідати вимогам, викладеним нижче. Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпеки праці повинні розроблятися в складі ПВР і ТК з урахуванням вимог ДБН А.3.2-2-2009 [3].

В ППР і ТК повинні бути передбачені вимоги щодо зниження обсягів робіт і трудомісткості їх виконання в умовах дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів за рахунок застосування:

- домонтажної ізоляції обладнання і трубопроводів;
- блочного монтажу обладнання та трубопроводів з ізоляцією блоків до їх установки в проектне положення;
- індустриальних конструкцій ізоляції (повнозбірних і комплектних);
- механізмів, інструменту, пристосувань, технологічної оснастки (засобів підмоцнування, вантажозахватних пристроїв, засобів індивідуального та колективного захисту).

Порядок розробки і випробування технологічного оснащення, засобів індивідуального захисту, ручного інструменту і механізмів визначаються відповідними нормативними документами, а вимоги до їх експлуатації – експлуатаційними документами підприємств - виробників.

6.2. Вимоги безпеки при виконанні монтажних робіт.

Монтаж будівельних конструкцій відноситься до робіт з підвищеною небезпекою. Робітники, які виконують монтажні роботи, повинні пройти медичний огляд, спеціальну підготовку, скласти іспит і отримати посвідчення на

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
						111
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

право виконання робіт. Вантажопідйомні машини і такелажні пристосування до початку роботи і в процесі експлуатації повинні проходити технічний огляд у відповідності з вимогами Держтехнагляду. Огляд вантажопідіймальних машин і механізмів проводять щомісяця. Траверси оглядають не рідше одного разу в 6 місяців, стропи - кожні 10 днів. Зовнішній огляд сталевих канатів слід проводити щоденно, керуючись нормами вибракування зношених канатів. Такелажні пристосування при огляді випробовують навантаженням, що на 25% перевищує розрахункову вантажопідйомність. Дату випробувань і вантажопідйомність вказують на бирках, які прикріплюються до захватних пристосувань. Крани слід встановлювати у відповідності з проектом виконання робіт, при цьому необхідно забезпечити безпечні відстані кранів від ліній електропередачі, укосів котлованів, габаритів будівель і споруд.

Риштування й підмостки повинні мати огороження на рівні робочого місця висотою не менше 1 м. На монтажних роботах використовують типові інвентарні риштування й підмостки. Ліси і підйомні колиски повинні мати паспорти підприємства-виробника.

Монтаж конструкцій проводять відповідно до ПВР. У ньому повинні бути передбачені основні заходи щодо виконання вимог безпеки. Стропування конструкцій здійснюють стропами або спеціальними вантажозахватними пристроями за схемами, передбачених технологічною картою, із застосуванням напіваавтоматичних пристроїв для розстропування з землі. При вільному монтажі підняті елементи необхідно утримувати від розгойдування відтяжками. Конструкції, що не мають достатньої жорсткості, треба посилювати згідно з проектом. Розстропування змонтованих елементів здійснюють після надійного їх закріплення. До остаточного закріплення повинна бути забезпечена їх стійкість з допомогою тимчасових в'язів, розчалок, кондукторів і т. п.

Майданчик, на якому здійснюють монтаж, є небезпечною зоною, і перебувати на ній стороннім заборонено. Кордон небезпечної зони визначають колом, окресленої радіусом, рівним вильоту стріли гака крана, плюс 7-10 м від

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
						112
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

контур вантажу, що піднімається (на відстань 7 м може відлетіти вантаж при підйомі його на висоту до 20 м і 10 м - при підйомі на висоту до 100 м).

Монтажники повинні перебувати поза зоною встановлення конструкцій з боку, протилежного їх подачі. Складальні операції на висоті здійснюють зі спеціальних помостів або колисок. Монтажники-верхолази повинні мати спеціальний одяг, неслизьке взуття і запобіжні пояси. Для переходу від однієї конструкції до іншої повинні бути передбачені сходи, перехідні містки і трапи.

Керувати підйомом конструкцій повинен тільки один чоловік - бригадир монтажної бригади або ланковий. Команду "Стоп!" може подати кожен робітник, який помітив небезпеку. Заборонено суміщати монтажні роботи на одній захватці по вертикалі з іншими роботами в нижніх поверхах.

Монтажні роботи заборонено проводити при швидкості вітру понад 15 м/с (монтаж конструкцій з великою парусністю – понад 10 м/с) у відкритих місцях, при ожеледиці, сильному снігопаді і дощі. Перед початком монтажних робіт систематично оглядають канати та стропи. Канати, що мають обірвані дроти в кількості більше 5% на один крок звивання, повинні бути вилучені з ужитку. Всі захватні пристосування до початку використання випробують і позначають бирками із зазначенням допустимої вантажопідйомності. Перед підйомом елементів монтажник зобов'язаний уважно оглянути стан монтажних петель, захватних засобів, правильність стропування. Не дозволяється відривати краном вантажі, примерзлі до землі, засипані ґрунтом, захаращені іншими елементами. При монтажі конструкцій підходити до них і починати встановлення в проектне положення можна тільки після того, як елемент опущений на відстань не більше 30 см від місця установки. Під час перерв у роботі забороняється залишати вантаж, що висить на гаку крана.

Найбільш небезпечними є роботи на висоті. Верхолазними вважають роботи, які виконують на висоті більше 5 м від поверхні ґрунту або робочого настилу. Працюючи на висоті монтажники повинні користуватися касками, запобіжними поясами, неслизьким взуттям. Карабіни запобіжних поясів пристібають до стійких елементів або спеціально натягнутих канатів. Всі

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		113

монтажні роботи на висоті виконують з помостів, розрахованих на навантаження від людей, інструментів і допоміжних матеріалів.

6.3. Загальні заходи з охорони праці.

Охорона праці – комплексна система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних та санітарно-гігієнічних засобів, направлених на збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці. Задача охорони праці полягає у тому, щоб звести до мінімуму вірогідність травмування чи хвороби працюючих з одночасним забезпеченням комфорту та максимальної продуктивності праці. Нова техніка, науково обґрунтовані правила безпеки праці, висока кваліфікація персоналу та правильні умови експлуатації технічних засобів є необхідними факторами, що забезпечують безпеку праці при виготовленні будівельних конструкцій і на будівельному майданчику.

Підготовка працівників.

У попередженні травматизму важливу роль відіграє якісне навчання працюючих правильним прийомам роботи. Інструктаж та навчання усіх працюючих проводиться у вигляді ввідного інструктажу, інструктажу на робочому місці, щоденного (поточного) інструктажу, періодичного (повторного) інструктажу, позапланового інструктажу, курсового навчання.

Ввідний інструктаж проводиться з усіма прийнятими на роботу незалежно від їх освіти, стажу роботи по даній професії або посади. Про проведення ввідного інструктажу та перевірку знань робиться запис в журналі реєстрації, з обов'язковим підписом того, кого інструктують та того, хто інструктує. Крім того, з усіма знову прийнятими в організацію або переведеними з інших підрозділів проводиться первинний інструктаж на робочому місці.

Всі робітники після первинного інструктажу на робочому місці та перевірки знань на протязі перших декількох змін працюють під наглядом майстра або бригадира, після чого оформляється допуск їх до самостійної роботи з записом в

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		114

журналі з датою та підписом того, хто інструктує. Повторний інструктаж проходять всі робітники не менше ніж через 6 місяців.

Охорона праці на будівельному майданчику.

Для запобігання доступу сторонніх осіб територія будівельного майданчика має бути огорожена: зі сторони вулиці захисно-охоронним огороженням висотою до 2 м (ГОСТ 23407-76), зі сторони сусідніх дворів – парканом, виконаним по постійній схемі.

Тимчасові та постійні дороги складають єдину транспортну мережу, що забезпечує кільцеву схему руху. Їх прокладають у порядку черговості будівництва об'єкту, відповідно до календарного графіку будівництва та бюджету. Ширина тимчасових доріг та проїздів приймається 4,0 м при русі транспортних засобів у одному напрямку. Для розвантажувальних робіт у зоні дії кранів передбачаються майданчики шириною 7...8 та довжиною 12...14 м. Радіус кривизни дороги приймається рівним 8 м.

Біля в'їзду на майданчик встановлюється схеми руху транспорту, а на узбіччях доріг та переїздів – дорожні знаки, які регламентують порядок руху транспорту, при цьому швидкість руху обмежується на прямих ділянках до 10 км/год, а на поворотах та території будівництва – до 5 км/год.

При організації будівельного майданчика, проектом організації робіт встановлюють ділянки та зони, у межах яких робота будівельних машин та механізмів є небезпечною для працюючих. Такими небезпечними зонами є:

- межі котловану та траншей глибиною більше ніж 1 м;
- зони роботи землерийних машин та монтажних кранів;
- майданчики складування будівельних конструкцій, деталей, матеріалів;
- місця зварювальних робіт і робіт з легкозаймистими матеріалами;
- зони та ділянки доріг з інтенсивним рухом транспорту.

Небезпечна зона дії екскаватора визначається із розрахунку максимального радіусу дії плюс 5 м. Небезпечна зона дії самохідного стрілового крану визначена із розрахунку максимального вильоту стріли плюс 7 м при висоті споруди до 20 м.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
						115
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним з факторів зниження виробничого травматизму є правильне освітлення будівельного майданчика та рівномірне розміщення світлового потоку на робочих місцях в темний час доби. Проектом передбачають робоче та охоронне штучне освітлення. Загальне робоче освітлення всього майданчика здійснюється уставкою прожекторів на стовпах (металевих щоглах) із розрахунку, що освітлення повинно бути не менше 2 лк на рівні землі. Місцеве робоче освітлення здійснюється прожекторами на металевих полегшених щоглах. Охоронне освітлення здійснюється прожекторами загального робочого освітлення із розрахунку, що освітленість будівельного майданчика повинна бути не менше 0,5 лк на рівні землі в горизонтальній площині.

6.4. Охорона праці під час проведення робіт із теплоізоляції.

Організація і технологія виконання теплоізоляційних робіт повинні забезпечувати безпеку працюючих на всіх стадіях виробничого процесу. Вимоги щодо попередження впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів у процесі підготовки та виконання теплової ізоляції при новому будівництві, при реконструкції та технічному переозброєнні підприємств, будівель і споруд визначаються ДБН [3] з урахуванням вимог правил пожежної безпеки при виробництві будівельно - монтажних робіт, а також санітарних норм і правил. При виконанні теплоізоляційних робіт враховують можливість виникнення наступних небезпечних і шкідливих для виконавців робіт виробничих факторів:

- запиленість і загазованість повітря;
- високий рівень шуму і вібрації на робочому місці;
- недостатня освітленість;
- відхилення від оптимальних норм температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні;
- недостатня електробезпека використаних машин і устаткування.

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони і параметри мікроклімату не повинні перевищувати вимоги норм, встановлених ГОСТ 12.1.005. Допустимі

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
						116
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

значення рівнів шуму і вібрації, створюваних машинами і механізмами на робочих місцях відповідно по ГОСТ 12.1.003 і ГОСТ 12.1.012. Освітленість на робочих місцях повинна бути не менше 30 лк. У технологічних процесах виготовлення теплоізоляційних виробів, конструкцій і при виконанні теплоізоляційних робіт слід застосовувати необхідні засоби механізації. Роботи на всіх стадіях технологічного процесу повинні виконуватися із застосуванням індивідуальних і колективних засобів захисту по ГОСТ 12.4.011. Підвищені вимоги до безпеки виконання теплоізоляційних робіт при застосуванні теплоізоляції з пінополіуретану з урахуванням токсичності та пожежонебезпеки. Область застосування ізоляції з пінополіуретану повинна відповідати вимогам СНиП 2.04.14-88. Основним документом для підготовки, організації та виконання теплоізоляційних робіт з урахуванням забезпечення безпеки праці є проект виробництва робіт (ПВР) або технологічна карта (ТК). Склад і зміст основних рішень ПВР і ТК щодо забезпечення безпеки праці повинні відповідати вимогам, вказаним нижче.

Організаційно - технічні рішення щодо забезпечення безпеки праці повинні розроблятися в складі ПВР і ТК з урахуванням вимог СНиП 12-04.

В ППР і ТК повинні бути передбачені вимоги щодо зниження обсягів робіт і трудомісткості їх виконання в умовах дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів за рахунок застосування домонтажної ізоляції обладнання та трубопроводів, блочного монтажу обладнання та трубопроводів з ізоляцією блоків до їх установки в проектне положення, індустріальних конструкцій ізоляції (повнозбірних і комплектних), механізмів, інструменту, пристосувань, технологічної оснастки (засобів підмоцвання, вантажозахоплювальних пристроїв, засобів індивідуального та колективного захисту).

Порядок розробки і випробування технологічного оснащення, засобів індивідуального захисту, ручного інструменту і механізмів визначаються відповідними нормативними документами, а вимоги до їх експлуатації - експлуатаційними документами підприємств - виробників.

					КМР 1727428 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		117