

## ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАМИКАННЯ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СТАЛЕВИХ КАРКАСІВ БУДІВЕЛЬ

Пушкар Н.В. *к.т.н., професор*, Пашинський В.В., *аспірант*

*Одеська державна академія будівництва та архітектури*

**Постановка проблеми.** Розрахунок несучих металевих конструкцій на дію температури повітря виконується з урахуванням температурних перепадів, які встановлені ДБН [1]. Залежно від періоду замикання каркаса в завершену статично невизначену систему (зимою чи літом), реалізуються природи або зменшення температури, які можуть викликати в конструкціях внутрішні зусилля протилежних знаків і різної величини. Тому період замикання впливає на сумарний напружено-деформований стан несучих конструкцій.

**Аналіз останніх досліджень.** Загальні методи розрахунків несучих конструкцій на зміни температури розроблені в будівельній механіці [2]. Можливість виконання таких розрахунків плоских і просторових конструкцій різного виду передбачена в поширених програмних комплексах, наприклад Autodesk Robot Structural Analysis [3]. Державними будівельними нормами України [1] 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 додатній 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.

**Метою даної роботи** є 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.

**Методика досліджень** базується на проведенні чисельного експерименту, який повинен забезпечувати можливість моделювання каркасу будівлі як єдиної просторової системи з виявленням внутрішніх зусиль і напружень в окремих елементах від дії постійних та змінних навантажень, включаючи перепади температури. У якості середовища

для моделювання обрано програмний комплекс Autodesk Robot Structural Analysis, що входить до сімейства Autodesk Revit. Можливості цього комплексу мало відрізняються від його основних конкурентів, таких як Лира, Scad та ANSYS, але його переваги полягають у більш зручному інтерфейсі при генеруванні розрахункової схеми.

Сталеві каркаси моделювалися як просторові системи за допомогою вбудованих майстрів-генераторів рам. В якості базового модуля прийнята однопролітна рама, схеми якої зображені на рисунку 1. Ригелі з колонами з'єднані жорстко, а прикріплення колони до фундаменту може бути жорстким або шарнірним. При прольоті 24 м, висоті до карнизного вузла 8 м та ухилі покрівлі  $14^\circ$  висота конькового вузла дорівнює 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 колонам і ригелях згідно з вимогами ДБН [4]. Ригелі виконувалися з прокатних двотаврів балочного профілю, колони – з прокатних двотаврів з широкими полочками. 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, яка досить широко застосовується при спорудженні виробничих будівель.

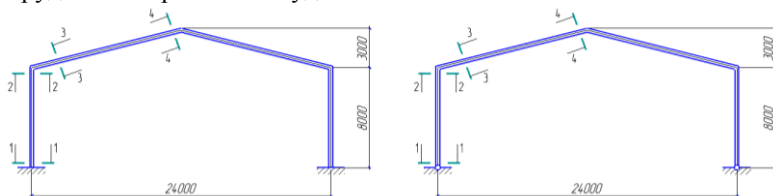


Рис. 1. Конструктивні схеми однопролітної поперечної рами

Каркаси розраховувалися на навантаження від власної ваги несучих та огорожувальних конструкцій, а також снігове та вітрове навантаження за ДБН [1] для м. Полтави, які наближаються до середніх по території України. Температурні впливи визначені за ДБН [1] як для несучих конструкцій неопалюваної будівлі. Гранічне розрахункове значення перепаду температури конструкцій дорівнює  $+31^\circ\text{C}$  при замиканні конструкції взимку, та  $-39^\circ\text{C}$  при замиканні влітку.

За результатами розрахунків на окремі навантаження складалися 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.

Результати розрахунку можна отримати як в табличній формі, так і у вигляді епюру із числовими позначками. Для кожної з трьох вказаних вище 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 аналізувалися 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.

**Об'єктами досліджень** були два каркаси, які складені з рам, зображених на рисунку 1, 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 [4]. 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 від-

різнятися 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 1 і 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 1

Результати розрахунків елементів каркаса розмірами 24×108 м

Несуча кон- струкція	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 24×108 м, наведені в таблиці 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 опиранні 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 опиранням 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  $216 \times 300$  м, представлені на рисунках 2, 3 і в таблиці 2. 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.

З рисунка 2 видно, що моменти в площині рами є практично незмінними за довжиною будівлі. Зменшення моментів у 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, практично дорівнюють нулю, 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.

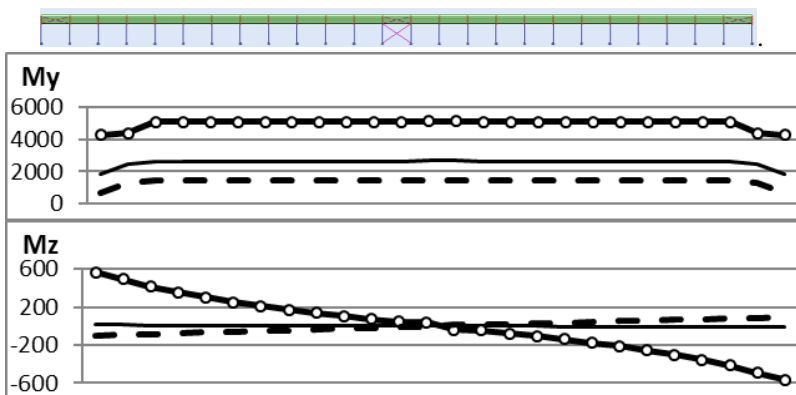


Рис. 2. Зміни згинальних моментів у колонах крайнього ряду за довжиною будівлі

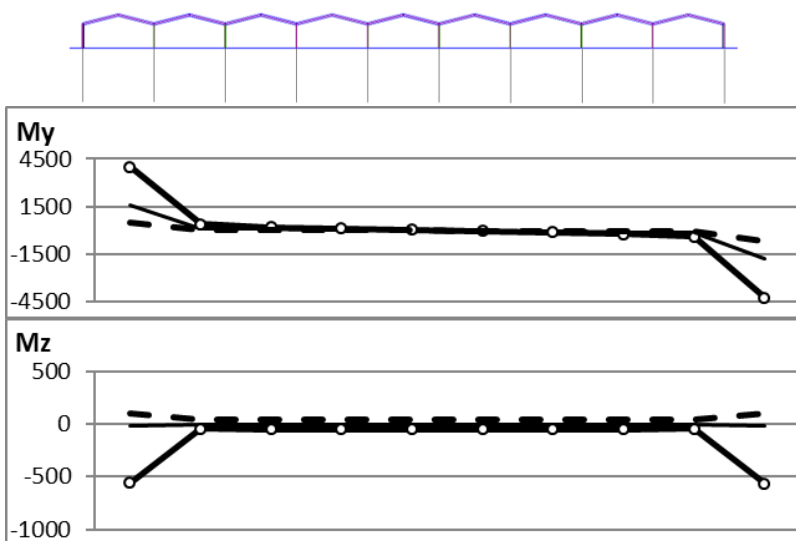


Рис. 3. Зміни згинальних моментів у колонах крайнього ряду за шириною будівлі

На рисунку 3 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 се-

редніх 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 зведені в таблицю 2, дані якої 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% та відповідного зменшення поперечних перерізів колон і ригелів.

Великі значення згинальних моментів з площини рами  $M_z$ , характер їх розподілу за довжиною будівлі, відображений на рисунку 3, 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 на краях температурного блока.

Таблиця 2

Результати розрахунків елементів каркаса розмірами 216×300 м

Несуча кон- струкція	Жорстке опирання			Шарнірне опирання		
	$M_y$	$M_z$	$M_y$	$M_z$	$M_y$	$M_z$
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

Зведені дані про перерізи та витрати сталі на ригелі й колони каркаса наведені в таблиці 3. Для чотирьох варіантів моделювання каркасу (шарнірне й жорстке з'єднання колон з фундаментами, замикання кар-

каса 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 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 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	213,9	255,85
		Шарнірне	285,8	142,43
	Середня колона	Жорстке	614,9	236,65
		Шарнірне	342,3	236,65
	Балка	Жорстке	142,2	1238,30
		Шарнірне	142,2	1654,70
<b>Всього:</b>	Жорстке		1730,80	
	Шарнірне		2033,78	
Замикання влітку	Крайня колона	Жорстке	213,9	127,31
		Шарнірне	213,9	127,31
	Середня колона	Жорстке	306,0	159,94
		Шарнірне	306,0	159,94
	Балка	Жорстке	96,1	1238,30
		Шарнірне	96,1	1238,30
<b>Всього:</b>	Жорстке		1525,55	
	Шарнірне		1525,55	

### **Висновки:**

1. Запропонована методика моделювання каркасів дозволила проаналізувати вплив змін температури на напружено-деформований стан несучих конструкцій сталевих каркасів одноповерхових будівель.
2. Зміни температури мало впливають на напружено-деформований стан несучих конструкцій сталевих каркасів, які мають



невеликі розміри в плані, але їх обов'язково треба враховувати при значних розмірах будівель.

3. Початкова температура конструкцій, яка залежить від періоду замикання каркаса, виявляє істотний вплив на напружено-деформований стан несучих конструкцій. 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.

4. Вибір періоду замикання у відповідності до розрахункової схеми конструкції може служити засобом управління зусиллями та забезпечувати економію сталі при проектуванні сталевих каркасів будівель.

### **SUMMARY**

**By numerical experiment, the influence of the period of closing structures bearing frames-storey buildings on the importance of internal efforts from change of temperature of atmospheric air. Shown that the choice of closing period including design model framework can serve as tool of stress-strain state of the bearing structures.**

### *Література*

1. 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.
2. Строительная механика. Под ред. Ю.И. Бутенко. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1989. – 488 с.
3. <http://docs.autodesk.com/RSA/2012/RUS/landing.html>.
4. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. К.: Мінергіонбуд України, 2010. – 220с.