

УДК 624.042

## **Порівняльний аналіз горизонтальних кранових навантажень, визначених за різними нормами проектування**

**Пічугін С.Ф.**, д.т.н., **Бражник О.О.**, магістр, **Маслова Ю.Е.**, магістр

Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка,  
Україна

**Анотація.** Наводиться порівняльний аналіз горизонтальних навантажень та відповідних зусиль в підкранових балках і поперечних рамах від мостових кранів з різними параметрами, визначених за СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия" та ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи", намічені засоби зменшення негативних наслідків впровадження у практику проектування нових нормативів кранових бічних сил.

**Аннотация.** Приводится сравнительный анализ горизонтальных нагрузок и соответствующих усилий в подкрановых балках и поперечных рамах от мостовых кранов с разными параметрами, определенных за СНИП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия" и ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи", намечены мероприятия уменьшению негативных последствий внедрения в практику проектирования новых нормативов крановых боковых сил.

**Abstract.** The comparative analysis is cited regarding horizontal loads and corresponding forces in crane girders and traveling cranes' transversal frames with different parameters specified according to SNiP 2.01.07-85 "Loads and influences" and DBN B.1.2-2:2006 "Loads and influences", the facilities are specified to decrease negative consequences after practical application of new norms for designing the crane lateral forces.

**Ключові слова:** навантаження і впливи, кранові навантаження, бічні сили мостових кранів, просторова робота каркасів.

**Актуальність роботи.** Навантаження від мостових кранів є основними для каркасів виробничих будівель різного призначення. До кінця 2006 р. значення кранових навантажень при проектуванні будівель і споруд визначались за СНиП [1]. У новому ДБН [2], що набули чинності з 1 січня 2007 р., методика та величини навантажень мостових кранів, що діють на конструкції каркасів промислових будівель, суттєво змінені. Особливо це стосується врахування горизонтальних кранових навантажень. Постає необхідність порівняльної оцінки нових нормативів кранових навантажень та мобілізації резервів каркасів промислових будівель, які виключать невинновдані додаткові витрати матеріалів конструкцій при переході на розрахунок за ДБН [2].

**Аналіз результатів досліджень і публікацій.** Згідно із СНиП [1] горизонтальні поперечні навантаження від дії найбільш розповсюджених

мостових кранів груп режимів роботи 1К-6К визначалися силою гальмування візка крана, що передаються на одну його сторону (рис. 1,а). В численних публікаціях, зокрема [4, 5], порівнюються значення навантажень від дії мостових кранів на конструкції виробничих будівель (ВБ), визначених за СНиП [1], зі значеннями навантажень, отриманими експериментально. Виявлено, що фактичні горизонтальні поперечні навантаження від дії мостових кранів можуть значно перевищувати гальмівні сили. Це пояснюється тим, що основну частку (порядку 80–90 %) поперечних навантажень усіх без винятку мостових кранів складають бічні сили, що за своєю фізичною природою є силами тертя, що виникають при поперечному ковзанні коліс крана, які рухаються по кранових рейках. Поперечне ковзання є результатом неспівпадіння площини обертання колеса крана із напрямом його руху, тобто перекосу колеса на деякий кут. Така картина є наслідком перекосу крана під час його руху, непаралельності кранових колій, неточної установки та нерівномірного зношення ходових коліс, несиметричності вертикального навантаження на кран, різного коефіцієнта тертя кранових колій, деформативності вузлових з'єднань моста крана тощо.

Нормативний документ [2], керуючись набутими протягом багатьох років відомостями про вплив мостових кранів на конструкції ВБ, встановлює новий порядок визначення горизонтальної поперечної складової кранового навантаження, яка визначається як значення бічної сили. Аналогічний підхід впроваджений у європейські норми проектування Єврокод [3]. У ДБН [2] чотириколісні крани виділені в окрему групу кранів, схильних до перекосів моста при русі, вони передають на конструкції поперечні сили, що значно переважають гальмівні сили за СНиП [1]. Максимальні бічні сили  $H_k^n$  (формула 7.9 ДБН [2]) виникають на колесах, що своїми ребордами обмежують перекіс моста крана. Ці сили залежать від вертикального тиску на колесо, приводу механізму руху моста і відношення прольоту крана до його бази, вони можуть бути прикладені до однієї сторони крана і спрямовані в різні сторони або до коліс по діагоналі крана і також спрямовані в різні сторони. При цьому до інших коліс, реборди яких не контактують із рейками, прикладаються сили  $H_c^n = 0, 1F_{\max}^n$  або  $H_c^n = 0, 1F_{\max}^n$ . Кожна з бічних сил може бути спрямована як назовні, так і всередині прольоту. Бічні сили визначаються від одного мостового крана, вони враховуються при визначенні зусиль в усіх елементах будівлі: підкранових балках, колонах, фундаментах.

З питаннями силових впливів тісно пов'язані особливості дійсної роботи сталевих каркасів ВБ, насамперед врахування роботи каркаса як просторової системи. Просторова робота каркаса ВБ розглядалася багатьма

дослідниками, причому роботи минулих років [6] нещодавно доповнені новими даними (дослідження д.т.н. Єрмака Є.М. [7]). В розрахунках використовувалися плоскі поперечні рами, на які накладалися додаткові пружні в'язі, які моделювали зв'язки плоскої рами з іншими елементами каркаса. Проведені дослідження виявили значний ефект просторової роботи, який виражається в суттєвому зниженні зусиль в елементах поперечної рами каркаса та просядок основи від дії мостових кранів.

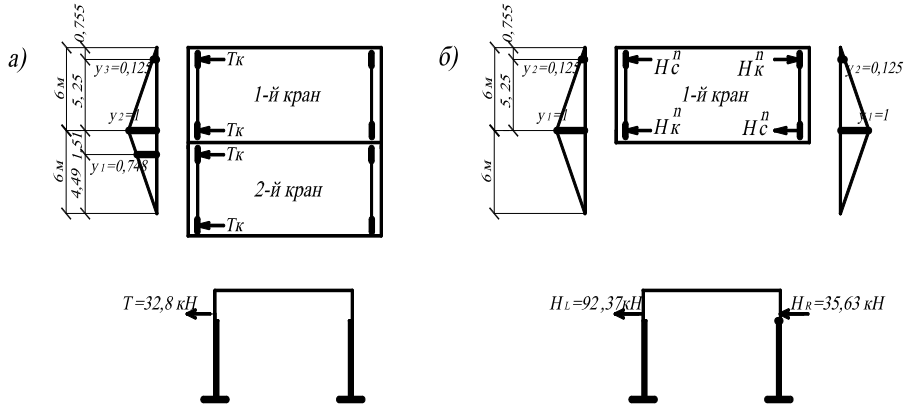


Рис. 1. Схеми прикладання кранових сил до поперечної рами:

а – гальмівних сил  $T$  від двох кранів; б – бічних сил  $H_R$ ,  $H_L$  від одного крана

**Мета роботи.** Для чотириколісних кранів із різними параметрами провести порівняльний аналіз горизонтальних навантажень, визначених за СНиП [1] і ДБН [2], а також відповідних зусиль у підкранових балках і поперечних рамах; намітити шляхи зменшення негативних наслідків впровадження у практику проектування нових нормативів кранових бічних сил.

**Порівняльний аналіз горизонтальних кранових навантажень.** Авторами доповіді для чотириколісних мостових кранів були визначені згідно із ДБН [2] та СНиП [1] горизонтальні кранові навантаження на окремі колеса кранів, на підкранові балки та колони одноповерхових промислових будівель. Були розглянуті крани вантажопідйомністю 5–50 тс (8 варіантів), середнього та важкого режимів роботи, з центральним та роздільним приводом механізму руху моста, при кроці колон 6 м і 12 м.

Як приклад розглянемо крани середнього режиму роботи з центральним приводом механізму руху моста. Для них підраховані бічні сили на колесо  $H_k^n$  за ДБН [2] (формула 7.9) і відповідні гальмівні сили  $T_k$  за СНиП [1]. Як видно із табл. 1, бічні сили, підраховані за ДБН [2], в 6-10 разів

перевищують значення, отримані розрахунки за СНиП [1]. Слід при цьому відмітити, що європейські норми Єврокод [3] чітко і недвозначно враховують бічні сили мостових кранів, причому роздільно для двох складових: горизонтальних навантажень, що виникають при прискоренні або гальмуванні крана та навантажень від перекосу крана, що рухається. Порівняльний аналіз [4] показує, що включена в ДБН [2] формула (7.9) дає величини, близькі до рекомендованих Єврокодом горизонтальних сил від перекосу моста чотириколісних кранів, суттєво більших гальмівних сил за СНиП [1]. Це ще раз свідчить про актуальність і своєчасність врахування в ДБН [2] підвищених бічних сил чотириколісних кранів.

Із всіх можливих схем прикладання бічних сил, регламентованих ДБН [2] (рис. 7.1), були вибрані варіанти, що дають найбільш несприятливі завантаження колон і підкранових балок. Такою схемою виявився варіант з обмеженням перекосу крана колесами по діагоналі моста, коли до однієї колії прикладені однаково направлені бічні сили  $H_k^n$  і  $H_c^n$  (рис. 1,б, ліва колона). Визначені за цією схемою найбільші горизонтальні навантаження на колону  $H_L$  за ДБН [2] перевищують аналогічні навантаження  $T$  за СНиП [1] у 3,7–6,4 рази при кроці колон 6 м і в 2,9–5,0 разів при кроці 12 м (табл. 1). Як видно, різниця між навантаженнями на колону помітно менша, ніж різниця навантажень на окреме колесо, оскільки бічні сили на конструкції за ДБН [2] слід визначати від одного крана, а гальмівні сили – від двох кранів.

Таблиця 1

**Порівняння горизонтальних кранових навантажень,  
визначених за ДБН [2] і СНиП [1]**

Вид навантаження		Крани					
		5тс	10тс	15тс	15/3тс	20/5тс	30/5тс
Навантаження на колесо $H_k^n/T_k$		10,46	9,62	8,69	7,94	7,19	6,35
Навантаження на колону $H_L/T$	Крок 6м	6,36	5,88	5,28	4,86	4,39	3,73
	Крок 12м	5,04	4,44	3,98	3,67	3,31	2,93

У той же час площі поперечних перерізів підкранових балок, підібраних за навантаженнями вибраних кранів згідно з ДБН [2], в середньому всього на 1,3–4,5 % перевищують значення, підраховані за СНиП [2] (табл. 2). Цей оптимістичний висновок пов'язаний з тим, що перерізи підкранових балок визначаються в більшій мірі вертикальним крановим навантаженням, яке залишилося практично незмінним у ДБН, у той час як підвищене горизонтальне навантаження незначно впливає тільки на гальмівну конструкцію, підібрану досить часто конструктивно із запасом.

Таблиця 2

**Порівняння перерізів підкранових балок, підібраних на навантаження  
за ДБН [2] і СНиП [1] (%)**

Привід	Проліт, м	Крани						В серед- ньому
		5тс	10тс	15тс	15/3тс	20/5тс	30/5тс	
Цент- ральний	6	3,75	6,21	3,18	6,63	5,96	1,48	4,54
	12	2,18	4,53	5,17	2,56	4,12	2,42	3,50
Роз- дільний	6	3,84	5,41	1,65	0,79	0,00	2,93	2,44
	12	1,08	2,02	1,95	1,93	0,65	0,00	1,27

У статті наведено аналіз зусиль від горизонтальних кранових навантажень в однопрогоновій одноповерховій виробничій будівлі прогоном 24 м, довжиною 120 м, обладнаній мостовими кранами режиму роботи 5К та вантажопідйомністю 50 тс (база  $B = 6760$  мм, проліт  $L = 22,5$  м) і 30 тс (база  $B = 6300$  мм, проліт  $L = 22,5$  м), відмітка кранової рейки 12,4 м. Одержані результати ілюструються на рис. 2 (крани вантажопідйомністю 50 тс, з центральним приводом механізму руху моста, крок колон 6 м) у вигляді епюр згинальних моментів і табл. 3 у формі співвідношення моментів. При розрахунку плоскої рами згинальні моменти в опорних перерізах колон при дії на раму бічних сил за ДБН [2] у 1,6–3,7 раза перевищують моменти, визначені за СНиП [1], в залежності від приводу механізму руху моста і кроку колон.

Для зменшення несприятливих наслідків збільшення розрахункових горизонтальних кранових навантажень був проведений аналіз ефекту врахування просторової роботи на зусилля в конструкціях одноповерхової ВБ при різному кроці поперечних рам, приводі механізму руху моста крана (центральному та роздільному), різних видах покрівлі, у т.ч. при жорсткій покрівлі (залізобетонні панелі, приварені до верхніх поясів ферм) та при нежорсткій покрівлі (профільованому настилі) із в'язями по нижніх поясах кроквяних ферм, причому вважалось, що елементи в'язевих ферм з'єднувалися за допомогою зварювання [8].

Аналіз результатів розрахунків, представлених у вигляді епюр згинальних моментів у колонах (рис. 2), дозволив виділити наступні основні моменти. Урахування просторової роботи каркаса при розрахунку на вертикальне навантаження призводить до зменшення моментів, особливо в опорному перерізі (до 50 %), причому відбувається перерозподіл зусиль із нижньої частини колони у верхню. Значення моментів від бічних сил у просторовому варіанті зменшуються (до 40 %) в порівнянні з плоскою

розрахунковою схемою. Крім того, при зміні центрального приводу механізму руху моста крана на роздільний моменти в колонах зменшуються ще на 30 %.

Таблиця 3

**Порівняння навантажень та зусиль поперечної рами**

Крок поперечних рам	Тип приводу механізму руху моста крана	Тип покрівлі	Горизонтальне навантаження на рами від мостових кранів		Відношення значень бічної сили $H_L$ до гальмівної $T$	Відношення значень згинальних моментів в опорному перерізі рами:			
			за СНиП [1]	за ДБН [2]		$M_T - \text{від гальмівної сили } T;$	$M_H^{PL} - \text{від бічних сил, плоска рама;}$	$M_H^{SP} - \text{від бічних сил, з урахуванням просторової роботи}$	
				Гальмівна сила $T, \text{ кН}$					Бічні сили
Кран вантажопідйомністю 50 тс									
6 м	Центральний	жорстка	32,80	92,37	35,63	2,8	3,6	0,601	
		нежорстка						0,576	
	Роздільний	жорстка		66,20	38,90	2,0	2,9	0,798	
		нежорстка						0,760	
12 м	Центральний	жорстка	50,00	73,46	39,75	1,5	2,1	1,078	
		нежорстка						0,915	
	Роздільний	жорстка		73,46	28,31	1,5	1,9	1,146	
		нежорстка						0,980	
Кран вантажопідйомністю 30 тс									
6 м	Центральний	жорстка	21,1	62,00	22,41	2,9	3,7	0,582	
		нежорстка						0,558	
	Роздільний	жорстка		36,80	36,23	1,7	3,0	0,778	
		нежорстка						0,742	
12 м	Центральний	жорстка	31,9	49,61	25,65	1,6	1,8	0,828	
		нежорстка						0,681	
	Роздільний	жорстка		49,61	18,40	1,6	1,6	1,337	
		нежорстка						1,152	

У результаті значення зусиль від дії бічних сил з урахуванням просторової роботи каркаса наближаються до значень зусиль від гальмівної сили у плоскій рамі. При цьому жорстка покрівля забезпечує зниження моментів у колонах на 10 % у порівнянні з нежорсткою покрівлею із сталевго профільованого настилу.

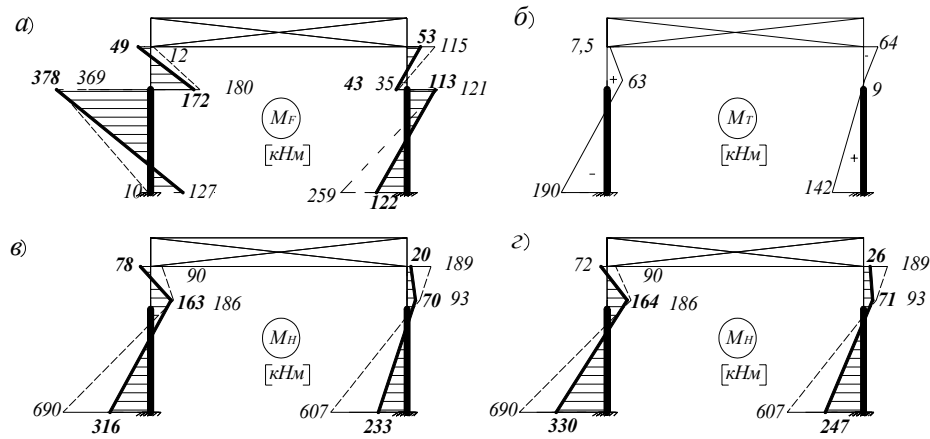


Рис. 2. Епюри моментів від навантажень мостового крана:

а – від вертикального навантаження; б – від гальмівної сили  $T$  (плоска рама);

в – від бічних сил  $H_L, H_R$  (жорстка покрівля); г – від бічних сил  $H_L, H_R$

(нежорстка покрівля);

— — — — — без урахування просторової роботи каркаса;

————— з урахуванням просторової роботи каркаса.

## Висновки

При переході до розрахунку за ДБН помітно зростають горизонтальні поперечні навантаження від мостових кранів, оскільки в попередніх нормах СНиП [1] вони були суттєво занижені. Особливо це стосується чотириколісних кранів груп режимів роботи 1К–6К. Як наслідок, відповідно збільшуються розрахункові зусилля в елементах каркасів виробничих будівель, запроєктованих за ДБН [2], за винятком підкранових балок, перерізи яких практично не змінюються. З метою зменшення негативних наслідків впровадження у практику проектування нових нормативів кранових бічних сил слід перейти до мостових кранів із роздільним приводом механізму руху моста (замість центрального приводу) та враховувати просторову роботу каркасів ВБ, що дає суттєве зниження зусиль в елементах конструкцій ВБ.

На забезпечення просторової роботи каркаса будівлі головним чином впливають вид покриття ВБ та крок поперечних рам. Цей резерв несучої здатності та жорсткості каркасів виробничих будівель необхідно частіше враховувати при проектуванні несучих конструкцій для виключення необґрунтованих перевитрат матеріалу.

## **Література**

- [1] СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 36 с.
- [2] ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи / Мінбуд України. – К.: Вид-во "Сталь", 2006. – 60 с.
- [3] EN 1991-1-3. Eurocode 1 – Actions on structures. Part 3: Actions induced by cranes and machinery – Brussels: CEN, 2003. – 43 p.
- [4] Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / *Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашицкий В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф.* Под общей ред. А.В. Перельмутера. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 482 с.
- [5] *Пичугин С.Ф.* Кранові навантаження в ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону: Зб.наук.пр. – К.: НДІБК, 2007. – Вип. 67. – С. 691-702.
- [6] *Шапиро Г.А.* Действительная работа стальных конструкций промышленных цехов. – М.: Госстройиздат, 1952. – 288 с.
- [7] *Ермак Е.М.* Совершенствование расчетных моделей и конструкций для продления сроков эксплуатации промышленных зданий: Автореф. дис. докт. техн. наук / ХГАЖТ, – Харьков, 2003. – 36 с.
- [8] *Пичугин С.Ф., Маслова Ю.Е.* Порівняльний аналіз зусиль у поперечних рамах від горизонтальних навантажень, визначених за різними нормами // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. – Вип. 20. – Полтава: ПолтНТУ, 2007. – С.107 – 113.

*Надійшла до редколегії 15.07.2008 р.*