

Пічугін С.Ф., д.т.н., професор
Патенко Ю.Е., к.т.н.
Володченко М.В., студент
Узнадзеє Є.В., студент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НАВАНТАЖЕНЬ БАГАТОКОЛІСНИХ МОСТОВИХ КРАНІВ ВІТЧИЗНЯНИХ ТА ЗАКОРДОННИХ ВИРОБНИКІВ

Наведено порівняльний аналіз багатоколісних мостових кранів вітчизняних та закордонних виробників. Серед закордонних кранів було прийнято до розгляду мостові крани концерну Demag. Розглянуто різні нормативи, які регламентують режими роботи мостових кранів. Зіставлено силові та вагові характеристики мостових кранів. Виконано порівняльний аналіз горизонтальних і вертикальних навантажень на окремі колеса кранів. Виявлено найбільш невигідні схеми розміщення мостових кранів на конструкціях виробничої будівлі. За цими схемами розраховано максимальні навантаження на раму будівлі та визначено максимальні зусилля у підкранових балках. Підібрані поперечні перерізи підкранових балок прольотом 6 та 12 м. На основі виконаного розрахунку підкранових балок на навантаження різних кранів виявлено переваги багатоколісних кранів концерну Demag.

Ключові слова: кранові навантаження, багатоколісні крани, внутрішні зусилля, підкранові балки.

Пічугін С.Ф., д.т.н., професор
Патенко Ю.Э., к.т.н.
Володченко М.В., студент
Узнадзеє Е.В., студент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАГРУЗОК МНОГОКОЛЕСНЫХ МОСТОВЫХ КРАНОВ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Представлен сравнительный анализ многоколёсных мостовых кранов отечественного и зарубежного производства. Среди зарубежных кранов были приняты к анализу мостовые краны концерна Demag. Рассмотрены разные нормативы, которые регламентируют режимы работы мостовых кранов. Сравнивались силовые и грузовые характеристики мостовых кранов. Проведен сравнительный анализ горизонтальных и вертикальных нагрузок на отдельные колеса кранов. Выявлены наиболее невыгодные схемы размещения мостовых кранов на конструкциях производственного здания. По этим схемам рассчитаны максимальные нагрузки на раму здания и определены максимальные усилия в подкрановых балках. Подобраны поперечные сечения подкрановых балок пролетом 6 и 12 м. На основе проведенных расчетов подкрановых балок на нагрузки разных кранов определены преимущества многоколесных кранов концерна Demag.

Ключевые слова: крановые нагрузки, многоколесные краны, внутренние усилия, подкрановые балки.

COMPARATIVE ANALYSIS OF INFLUENCES OF MULTIWHEEL TRAVELLING CRANES OF NATIONAL AND FOREIGN PRODUCERS

The article is dedicated to the comparative analysis of foreign and national multiwheel overhead travelling cranes. Multiwheel travelling cranes are an essential part of any large production and are used to perform various kinds of handling of especially heavy loads. Therefore an installation of modern travelling cranes will improve economy of constructions of industrial buildings of heavy production.

The industrial buildings in our country are often equipped with foreign crane equipment. Among foreign cranes travelling cranes of the group Demag were taken into consideration. Demag is one of the largest German companies that has sales offices in all continents.

Different codes which govern the operation conditions of cranes were reviewed. Geometrical parameters of cranes were analyzed in details. Load and weight characteristics of overhead cranes were compared.

The comparison of characteristics of multiwheel travelling cranes by GOST 6711-81 [14] with Demag cranes ZKKE with two bridges was done. The cranes with carrying capacity of 80/20 ton with middle operation mode were taken to the review.

Travelling cranes were compared by geometry, weight and power parameters. By comparing the geometric characteristics, it was found that Demag cranes are more compact. Smaller dimensions entail reducing of weight of the foreign cranes. The weight of the bridges and crabs of cranes company Demag is smaller than weight of elements of cranes by GOST 6711-81. We can conclude that the designers of concern Demag managed to reduce weight and geometry of overhead cranes and thus reduce the loads on the construction of industrial buildings.

Vertical and horizontal loads per wheel were calculated. Comparison of this loads showed that the load per wheel of Demag cranes are less then loads from influences of national travelling cranes. To calculate the loads on the lateral frame of industrial building, travelling cranes were placed in the most unfavorable manner. Vertical and horizontal loads which appear in the left column of the lateral frame from two adjacent cranes were estimated.

To get maximum loadings in the crane girders the most unfavorable variants of bridge cranes location on girders were identified. According to these schemes the maximum values of bending moments and transverse forces were obtained. With the values of these eternal forces the crane girders with the span of 6 m and 12 m were designed.

The comparison of the cross-sections of crane girders showed that with the use of overhead cranes of concern Demag possible to achieve savings of materials of crane girders.

Comparison of loadings of multiwheel overhead cranes on constructions of one story industrial buildings was done. Analysis of strength and weight parameters of national cranes by GOST 6711-81 and foreign overhead cranes Demag showed high adaptability and benefits of foreign light cranes. The use of crane equipment of Demag group will reduce the cost of structures of industrial buildings with multiwheel overhead travelling cranes.

Keywords: *crane loads, multiwheel overhead travelling cranes, internal forces, crane girders.*

Вступ. Багатоколісні мостові крани є невід’ємною частиною будь-якого великого виробництва й використовуються для виконання різного роду навантажувально-розвантажувальних робіт з особливо важкими вантажами. Тому особливо гостро стоїть питання вибору замовниками мостових кранів, які дозволять підвищити ресурсоекономічність конструкцій промислових будівель потужного виробництва.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Питання дослідження природи кранових впливів та проблеми нормування навантажень мостових кранів висвітлені у працях [1 – 5]. Аналізу величин кранових навантажень, регламентованих різними нормами проектування, присвячені роботи [6, 7].

Огляд історії розвитку вантажопідйомних засобів і кранобудування виконано у роботі [8], де висвітлено стан сучасного кранобудування у країнах СНД. Детальний аналіз вагових характеристик мостових кранів, регламентованих нормативами ГОСТ 3332-54, ГОСТ 25711-83 та кранів фірми Demag показаний у праці [9]. Впливи легких (вантажопідйомністю до 20 тс) мостових кранів на конструкції одноповерхових виробничих будівель (ОВБ) проаналізовані у роботі [10], де розглядалися вітчизняні мостові крани та сучасні крани фірми Demag. У вказаній праці впливи кранів визначалися згідно зі СНиП 2.01.07-85 [11], ДБН В.1.2-2:2006 [12] та Eurocode 1 [13]). Було встановлено, що застосування удосконалених більш легких кранів Demag дозволить зменшити навантаження на поперечні рами й підкранові балки виробничих будівель та підвищити їх економічність.

Виділення не розв’язаних раніше частин загальної проблеми. Втім залишається невирішеною проблема порівняння впливів багатоколісних особливо важких мостових кранів вітчизняного та зарубіжного виробництва на конструкції ОВБ.

Формулювання цілей статті. Порівняльний аналіз силових і вагових параметрів багатоколісних мостових кранів вітчизняного та зарубіжного виробництва, зусиль у конструкціях ОВБ та відповідних перерізів підкранових балок.

Основний матеріал і результати. Досить часто у нашій країні промислові цехи оснащуються крановим обладнанням закордонних виробників, зокрема компанії Demag Cranes & Components (рис. 1). Demag є одним з найбільших німецьких підприємств і має торгові представництва на всіх континентах.



Рисунок 1 – Багатоколісний мостовий кран концерну Demag

Викликає інтерес зіставлення характеристик державних та закордонних кранів. У статті виконано порівняння вагових характеристик багатоколісних мостових кранів за нормами [14] із двобалковими кранами ЗККЕ концерну Demag [15]. До розгляду були прийняті крани вантажопідйомністю 80/20 тс середнього режиму роботи: кран групи режиму 5К за нормативним документом [14] та двобалковий мостовий кран ЗККЕ загального призначення фірми Demag з режимом роботи FEM 1Am+2m.

Зазначимо, що режим роботи – це комплексна характеристика, яка враховує характер зовнішніх навантажень і тривалість їх дії й регламентується різними нормативами. Зокрема, для визначення режиму роботи кранових механізмів діють норми [16], для визначення групи режиму роботи крана – нормативний документ [17]. Значною мірою ці норми пов’язані з міжнародним стандартом [18]. Режими роботи кранів Demag регламентує нормативний документ [19], котрий урахує такі фактори:

- діапазон навантаження (частота підйомів вантажів із максимальною вагою і легких вантажів у визначений період часу);
- клас використання (визначається згідно із кількістю циклів підйомів протягом строку служби крана).

Орієнтовну відповідність груп режимів роботи кранів і механізмів за різними нормативами наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Орієнтовна відповідність груп режимів роботи кранів і механізмів

	Стандарт			
	ISO 4301	FEM 9.511	ГОСТ 25835-83	ГОСТ 6711-81
Режим	M2	1Cm	–	–
	M3	1Bm	1M	K3
	M4	1Am	2M	K4
	M5	2m	3M	K5
	M6	3m	4M	K6
	M7	4m	5M	K7

Прийняті до розгляду мостові крани порівнювалися за геометричними, ваговими та силовими параметрами. Порівнянням геометричних характеристик було встановлено, що база крана Demag (900 мм) на 3450 мм менша, аніж база вітчизняного крана (4350 мм). Ширина крана Demag дорівнює 7180 мм, що на 1920 мм менше порівняно із шириною крана за нормами [14], яка становить 9100 мм. Крім цього, крани Demag більш компактні по висоті. Висота закордонних кранів дорівнює 2450 мм, тоді як висота вітчизняних становить 3700 мм, що на 1250 мм перевищує висоту кранів Demag. У той же час значення максимального наближення гака вітчизняних кранів до колони складає 1900 мм, що на 500 мм менше, аніж наближення гака кранів Demag – 2400 мм.

Зменшивши габаритні розміри кранів, інженерам концерну Demag вдалося зменшити власну вагу конструкцій мостових кранів (табл. 2). Вага моста кранів фірми Demag становить 40600 кг, що на 146% менше порівняно з вагою моста кранів за нормами [14]. Значно меншу вагу (до 195%) мають і візки закордонних кранів.

Значне зменшення ваги мостових кранів призвело до зниження навантажень на конструкції ОВБ. Для визначення величин навантажень необхідно було провести попередні розрахунки. Значення вертикальних навантажень на колеса мостових кранів регламентуються для вітчизняних кранів нормативним документом [14], а для кранів Demag надані виробником для проведення аналізу. Зокрема, у вітчизняних нормах вказані максимальні навантаження на колеса F_1 та F_2 , мінімальні навантаження розраховуються за формулою (2), тоді як Demag дає навантаження на окреме колесо на кожній стороні крана. Було виконано розрахунок табличних значень вертикального тиску колеса кранів концерну Demag.

У результаті порівняння регламентованих і розрахованих нами значень отримані конструктивні поправки, які змінюються в широкому діапазоні

$$F_{\max} = \frac{G_M}{2} + \frac{(Q + G_B) * (L_{kr} - a)}{L_{kr}} * \frac{1}{n_0} =$$

$$= \frac{398,15}{2} + \frac{(784,53 + 109,98) * (22 - 2,4)}{22} * \frac{1}{4} = 249,0 \text{ кН},$$
(1)

де F_{\max} – максимальний вертикальний тиск колеса;

G_B – вага візка;

G_{kr} – вага крана;

Q – вантажопідйомність крана;

n_0 – кількість коліс крана;

L_{kr} – проліт крана;

a – максимальне наближення гака крана до колони.

Максимальне значення вертикального тиску F_{\max} на колесо кранів Demag становить 272,2 кН, що перевищує розрахункове значення на 9,3%.

Мінімальний вертикальний тиск колеса крана за умови рівномірного розподілу ваги мосту між усіма колесами визначений за формулою

$$F_{\min} = (G_M + Q + G_B) * \frac{1}{n_0} =$$

$$= 398,15 + 784,53 + 109,98 * \frac{1}{4} = 74,2 \text{ кН}.$$
(2)

Розрахований мінімальний тиск колеса крана ($F_{\min} = 70,17$ кН) може відрізнятись від нормативного на 6%. Таким чином, можна стверджувати, що за відсутності нормативних значень навантажень на окремі колеса кранів розрахункові формули (1), (2) дають значення, досить близькі до дійсних величин навантажень.

Порівняння вертикальних навантажень F_{\max}^n на колеса кранів показало, що навантаження на колесо від впливів кранів Demag на 27% менші порівняно з впливами вітчизняних мостових кранів (табл. 2).

Горизонтальні навантаження були розраховані за нормативним документом [12]. Навантаження від кранів Demag виявилися на 43% меншими за рахунок саме малої ваги закордонних кранів та їх візків. Для багатоколісних кранів це навантаження визначається нормами [12] як 0,1 від вертикального навантаження на колесо, обчисленого при розташуванні візка з вантажем, що відповідає паспортній вантажопідйомності крана, посередині мосту.

Таблиця 2 – Порівняння вагових характеристик та навантажень мостових кранів вантажопідйомністю 80/20 тс

Вагові характеристики				Навантаження на колесо, кН				Навантаження на раму, кН				
Вага крана G_{kr}		Вага візка G_B		Вертикальне F_{\max}^n		Горизонтальне H_k		Крок колон м	Вертикальне D_{\max}		Горизонтальне H_k	
кН	%	кН	%	кН	%	кН	%		кН	%	кН	%
<u>902,5</u> 398,3	127	<u>323,7</u> 109,9	195	<u>347,0</u> 272,3	27	<u>21,1</u> 14,8	43	6	<u>963,1</u> 805,6	20	<u>56,0</u> 4,3	27
								12	<u>1689,0</u> 1190,5	42	<u>97,9</u> 75,6	30

Примітка. У чисельнику вказано значення вагових характеристик та навантажень від вітчизняних кранів за нормами [14], у знаменнику – значення від кранів концерну Demag, поруч – різниця значень у відсотках

Для розрахунку навантажень на поперечну раму одноповерхової виробничої будівлі мостові крани були розміщені найбільш невідгидним чином (рис. 2, 3).

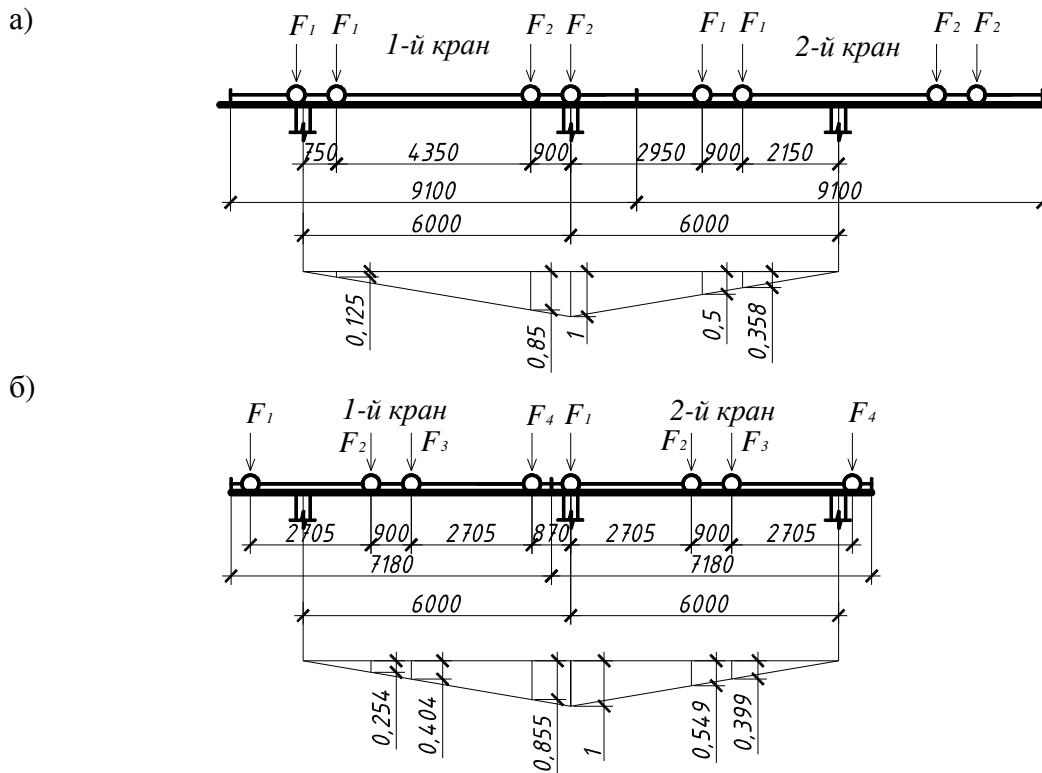


Рисунок 2 – Лінії впливу для визначення максимального опорного тиску коліс D_{max} на раму будівлі із кроком колон 6 м від мостових кранів:
а) за нормами [14]; б) концерну Demag

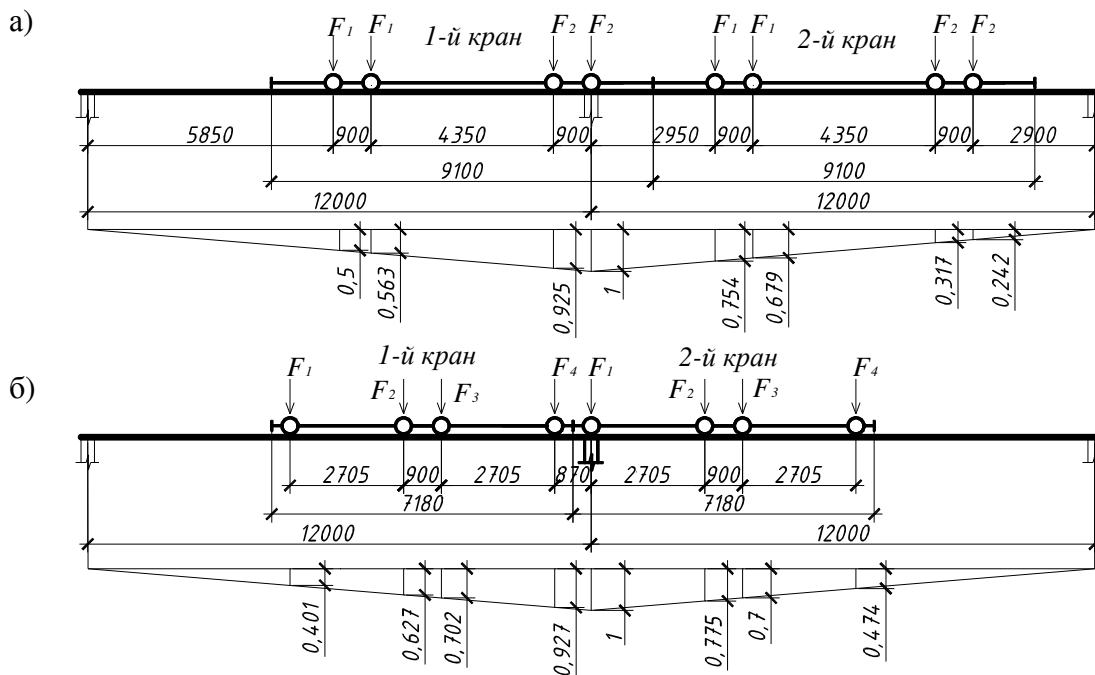


Рисунок 3 – Лінії впливу для визначення максимального опорного тиску коліс D_{max} на раму будівлі із кроком колон 12 м від мостових кранів:
а) за нормами [14]; б) концерну Demag

Відповідно до вимог нормативів [12] при визначенні вертикальних D_{\max} та горизонтальних H_k навантажень на ліву колону поперечної рами враховувалися навантаження від двох зближених кранів. Установлено, що значення вертикальних навантажень D_{\max} від сучасних кранів Demag на 20% нижчі порівняно із навантаженнями від кранів за нормативним документом [14], а значення горизонтальних навантажень H_k нижчі на 27% (табл. 2).

Від отриманих значень навантажень розраховані внутрішні зусилля у підкранових балках ОББ, причому розглянуто будівлю із кроком колон 6 та 12 м. Для кожного варіанта мостові крани розміщувалися на підкранових балках за правилом Вінклера (рис. 4, 5) для отримання максимальних значень внутрішніх зусиль.

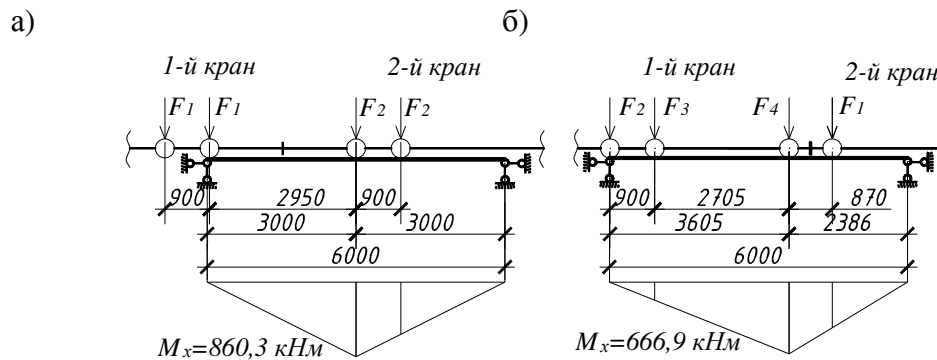


Рисунок 4 – Схеми завантаження та епюри максимальних згинальних моментів у підкрановій балці прольотом 6 м від впливів мостових кранів: а) за нормами [14]; б) концерну Demag

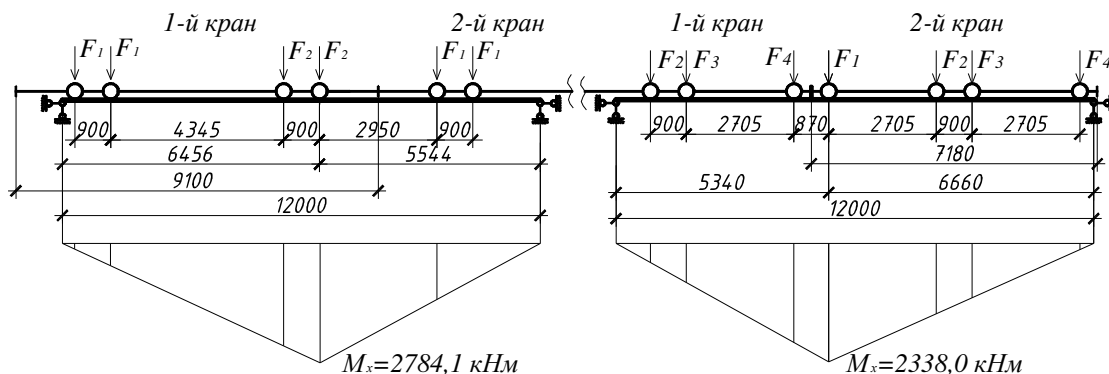


Рисунок 5 – Схеми завантаження та епюри максимальних згинальних моментів у підкрановій балці прольотом 12 м від впливів мостових кранів: а) за нормами [14]; б) концерну Demag

Отримані значення згинальних моментів (табл. 3) від вертикальних навантажень кранів Demag на 20 – 29% менші порівняно зі згинальними моментами від кранів за ГОСТ [14], від горизонтальних навантажень – на 21 – 37%. Поперечні сили від навантажень мостових кранів Demag також мають менші значення порівняно з кранами за вітчизняними нормами, на 32 – 38% від вертикальних навантажень й на 25 – 44% відповідно від горизонтальних.

За отриманими значеннями внутрішніх зусиль підібрані поперечні перерізи підкранових балок (табл. 4) для ОВБ із двома варіантами мостових кранів. Розраховані підкранові балки із прольотами 6 та 12 м.

Таблиця 3 – Розрахункові зусилля у підкранових балках

Проліт підкранової балки, м	M _x		M _y		Q _x		Q _y	
	кНм	%	кНм	%	кН	%	кН	%
6	860,3	29	51,8	37	719,3	32	39,7	25
	666,9		37,8		543,8		31,7	
12	2784,1	19	173,8	20	1097,4	38	68,1	33
	2338,0		145,0		797,8		51,2	

Примітка. У чисельнику вказано значення зусиль від навантажень вітчизняних кранів за нормами [14], у знаменнику – значення зусиль від навантажень кранів концерну Demag, поруч – різниця значень у відсотках

Таблиця 4 – Порівняння перерізів підкранових балок

Проліт підкранової балки, м	Мостові крани	Елементи перерізу балок, мм		Площа перерізу, см ²	Економія, %
		Стінка	Полиці		
6	Вітчизняні	1000×8	240×18	163,5	21
	Demag	1000×8	240×12	135,7	
12	Вітчизняні	1500×12	340×24	350,6	10
	Demag	1500×12	330×22	319,9	

Порівняння площ поперечних перерізів балок показало, що із встановленням мостових кранів концерну Demag можна досягти економії матеріалів підкранових балок прольотом 6 м до 21% та до 10% для балок прольотом 12 м. Менший показник економії отриманий для балок прольотом 12 м за рахунок того, що на конструкцію в такому випадку потрапляють усі колеса кранів, а також за необхідністю дотримання граничної межі гнучкості балок.

Висновки. Виконано порівняння впливів багатокілісних мостових кранів на конструкції ОВБ. Аналіз силових і вагових параметрів вітчизняних кранів за нормами [14] і закордонних мостових кранів концерну Demag показав високу технологічність та переваги легких закордонних кранів. Застосування кранового обладнання концерну Demag дозволить підвищити економічність конструкцій виробничих будівель, які потребують установлення потужних мостових кранів.

Література

1. Пичугин С. Ф. Крановые нагрузки на строительные конструкции: монография / С. Ф. Пичугин. – Полтава : ООО «АСМИ», 2014. – 504 с.
2. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лященко, А.В. Пашинский, С.Ф. Пичугин; под ред. А.В. Перельмутера. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 482 с.
3. Pichugin S. Analysis of Bridge Crane Loads on Industrial Buildings / S. Pichugin // XLIV Konf. Naukowa KILiW PAN i KN PZITB. T. 7. – Poznan-Krynica, 1998. – P. 171 – 178.

4. Pichugin S. Probabilistic Description of Crane Load on Building Structures / S. Pichugin // XLIII Konf. Naukowa KILiW PAN i KN PZITB. T.3. – Poznan-Krynica, 1997. – P. 171 – 178.
5. Pichugin S. Reliability of Building Structures / S. Pichugin, N. Demchenko. – Poltava : PNTU, 2005. – 91 p.
6. Патенко Ю. Е. Надійність сталевих каркасів одноповерхових виробничих будівель: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Ю. Е. Патенко. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – 25 с.
7. Пічугін С. Ф. Аналіз силового впливу багатокілісних мостових кранів на конструкції виробничих будівель / С. Ф. Пічугін, Ю. Е. Маслова // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2009. – Вип. 18. – С. 280 – 288.
8. Пичугин С. Ф. Технология производства и крановые нагрузки на строительные конструкции / С. Ф. Пичугин, К. А. Швадченко // Вісник ОДАБА. Вип. № 53. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2014. – С. 297 – 301.
9. Пічугін С. Ф. Застосування сучасних мостових кранів – шлях до ресурсоекономності каркасів виробничих будівель / С. Ф. Пічугін, Я. О. Дрімко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2014. – Вип. 29. – С. 475 – 482.
10. Пічугін С. Ф. Оцінка ефективності застосування сучасних мостових кранів у виробничих будівлях / С. Ф. Пічугін, Ю. Е. Патенко, С. А. Маслова // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2015. – Вип. 31. – С. 480 – 485.
11. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстрой СССР, 1987. – 36 с.
12. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи: [Чинний від 2007-01-01] / Мінбуд України. – К. : Вид-во «Сталь», 2006. – 60 с.
13. CEN, EN 1991-1-3. Eurocode 1 – Actions on structures. Part 3: Actions induced by cranes and machinery. – Brussels, 2003. – 43 p.
14. ГОСТ 67111-81. Краны мостовые электрические общего назначения грузоподъемностью от 80 до 500 тонн. – М. : Госстандарт СССР, 1985. – 48 с.
15. Журнал компании Demag «Cranevision» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.cranevision.com.
16. ГОСТ 25835-83. Краны грузоподъемные. Классификация механизмов по режимам работы. – М. : Госстандарт СССР, 1983. – 7 с.
17. ГОСТ 25546-82. Краны грузоподъемные. Режимы работы. – М. : Госстандарт СССР, 1982. – 9 с.
18. ISO 4301-1:86. Краны и подъемные устройства. Классификация. Часть 1. Общие положения. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 9 с.
19. FEM 9.511 (06.1986). Rules for the design of series lifting equipment; Classification of mechanisms. – 1986. – 10 p.

© Пічугін С.Ф., Патенко Ю.Е., Володченко М.В., Узнадзев Є.В.
Надійшла до редакції 04.04.2016