

УДК 621.87.01:006.7.9

Вплив кранових навантажень на каркаси виробничих будівель

Пічугін С.Ф., д.т.н., Патенко Ю.Е.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
Україна

Анотація. В статті приведено порівняльний аналіз величин навантажень мостових кранів на конструкції виробничих будівель. Горизонтальні кранові навантаження визначалися згідно з СНиП та ДБН. Також до розгляду приймалися Європейські норми Eurocode-1 «Actions on structures». Приведено аналіз робіт із вивчення просторової роботи будівель та представлені результати натурного випробування сталевих каркасів одноповерхової виробничої будівлі.

Аннотация. В статье приводится сравнительный анализ величин нагрузок мостовых кранов на конструкции производственных зданий. Горизонтальные крановые нагрузки определялись в соответствии со СНиП и ДБН. Также к рассмотрению принимались Европейские нормы Eurocode-1 «Actions on structures». Приведен анализ работ по изучению пространственной работы зданий и представлены результаты натурного испытания стального каркаса одноэтажного промышленного здания.

Abstract. The comparative analysis of the crane loadings values on constructions of industrial buildings is presented. The computations of horizontal crane loadings certain for national codes – DBN and SNP were done. The Eurocode-1 «Actions on structures» were also considered. The analysis of researches of spatial work of buildings is given. The results of full-scale experiment on steel framework of one-storey industrial building are presented.

Ключові слова: норми проектування, мостові крани, кранові навантаження, просторова робота каркасів.

Актуальність роботи обумовлена переходом до проектування одноповерхових виробничих будівель за ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи», що набрав чинності з 1 січня 2007 р. [1]. Методика визначення навантажень на конструкції ОВБ від мостових кранів, які є основними для виробничих будівель, суттєво змінена порівняно з СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» [2]. Насамперед це стосується врахування горизонтальних кранових навантажень. За цих умов необхідно провести порівняльне оцінювання навантажень від мостових кранів, визначених за ДБН та СНиП, та впливу змін за ДБН на металомісткість конструкцій при проектуванні виробничих будівель, оснащених мостовими кранами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фізична природа кранового навантаження, а також зміни, внесені до ДБН [4] стосовно визначення кранових навантажень, розглянуті в працях [4, 5]. Питанням визначення та порівняння навантажень від чотириколісних мостових кранів із різними

параметрами й зусиль у поперечних рамах і підкранових балках від цих навантажень присвячені роботи [8, 9, 10]. Причому в даних працях розглянуто широкий клас мостових кранів із різними характеристиками та вантажопідйомністю від 5 до 50 тс. Порівняльному аналізу впливу на конструкції одноповерхових виробничих будівель (ОВБ) багатоколісних кранів (з кількістю коліс 8 і більше) присвячена робота [11], в якій виконано аналіз навантажень та зусиль у конструкціях ОВБ від впливу мостових кранів вантажопідйомністю від 80 до 160 тс та наведено порівняння поперечних перерізів колон та підкранових балок ОВБ.

З означеними питаннями кранових силових впливів тісно пов'язані особливості дійсної роботи сталевих каркасів ОВБ, насамперед врахування роботи каркаса як просторової системи. Просторова робота каркаса ОВБ розглядалася багатьма дослідниками, причому роботи минулих років [6] доповнені новими даними (дослідження д.т.н. Єрмака Є.М. [7]). Проведені дослідження виявили значний ефект просторової роботи, який виражається в суттєвому зниженні зусиль в елементах поперечної рами каркаса та просадок основи від дії мостових кранів.

Виділення невирішених питань. Тим не менш залишається невирішеним питання порівняльного аналізу методик вітчизняних державних норм із визначення кранових навантажень із Європейськими нормами. Не виконано порівняння величин кранових навантажень, визначених за СНиП, ДБН і Єврокодом [3]. Не виявлено, які наслідки виникають при розрахунку кранових навантажень за Єврокодом.

Мета роботи. Порівняння величин горизонтальних кранових навантажень, визначених за ДБН та СНиП, з величинами навантажень, регламентованих Єврокодом [3], та пошук засобів зменшення необґрунтованих перевитрат матеріалів при переході до проектування за новими нормами ДБН. Аналіз досліджень просторової роботи каркасів будівель, а також викладення результатів натурних випробувань сталевих каркасів ОВБ.

Навантаження багатоколісних мостових кранів. У державних будівельних нормах ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» [1], які набрали чинності з початку 2007 року, збільшено величини горизонтальних навантажень від мостових кранів у порівнянні із минулими нормами СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» [2]. На основі експериментальних досліджень силових впливів мостових кранів [4] автори ДБН відмовилися від трактування горизонтального кранового навантаження як сили гальмування візка крана на користь бічних сил, які властиві усім без винятку мостовим кранам. Бічні сили виникають на колесах крана внаслідок незбігу площини обертання колеса із напрямком

його руху як результат численних чинників, головним чином таких, як переко́с крана при русі, різний ступінь зношування коліс та багато інших.

Проте багатоколісні крани менш схильні до переко́сів. Проведені чисельні дослідження впливу кранових навантажень на конструкції ОВБ від багатоколісних мостових кранів показали зростання (до 1,4...1,6 разів) горизонтальних навантажень на колеса таких мостових кранів, які визначені за ДБН, порівняно зі СНиП (для кранів середнього режиму роботи). Виявлено відповідне зростання зусиль у підкранових балках. Однак оскільки напруження від горизонтальних навантажень за СНиП далекі від розрахункових, то їх невелике зростання, при врахуванні навантажень за ДБН, не впливає на зміну загальних напружень у підкрановій конструкції і не призводить до збільшення поперечних перерізів підкранових балок. Разом із тим виявлено зростання горизонтальних навантажень (у 1,8...2,1 разів) багатоколісних кранів на поперечну раму, що не спричиняє збільшення зусиль у колонах ОВБ за рахунок характеру бічних сил, які прикладені до стійок поперечної рами і направлені у протилежні сторони [11].

Навантаження чотириколісних мостових кранів На відміну від багатоколісних мостових кранів, чотириколісні крани більш схильні до переко́сів при русі. Аналіз впливу кранових навантажень на конструкції ОВБ підтвердив припущення про збільшення в нових ДБН значень горизонтальних навантажень для таких мостових кранів. Особливо підвищення характерне для кранів із відношенням прольоту крана до бази $L_{CR}/B \geq 5$. Характеристичне значення горизонтального навантаження на колесо мостового крана середнього режиму роботи, визначене за ДБН, перевищує нормативне горизонтальне навантаження, визначене згідно зі СНиП, у 5...8 разів, важкого режиму роботи – в 1,5...5 разів.

Зусилля у підкранових балках за ДБН від дії вертикального навантаження залишаються незмінними, від дії горизонтального навантаження збільшуються в середньому на 45 %, проте площі підібраних перерізів підкранових балок за ДБН лише на 2...5 % перевищують значення, отримані згідно з СНиП. При важкому режимі та роздільному приводі крана перерізи балок не змінюються.

Горизонтальні навантаження на поперечну раму ОВБ, визначені за ДБН, від впливу мостового крана при середньому режимі роботи перевищують значення навантажень, отримані за СНиП, у 2,8...5 разів, при важкому режимі роботи – в 2,3...4,5 разів. Значення згинальних моментів у опорному перерізі колони поперечної рами від бічних сил, визначених за ДБН, у 2...6 разів, перевищують зусилля від гальмівної сили, яка визначена згідно зі СНиП.

Для аналізу наслідків впровадження нових нормативів проектування та можливих шляхів їх зменшення виконано підбір поперечних перерізів колони ОВБ із урахуванням навантажень мостових кранів, визначених за СНиП та ДБН. У розрахунку були прийняті мостові крани вантажопідйомністю 50/12,5 т з центральним типом приводу механізму руху моста крана. Підбір поперечних перерізів конструкцій ОВБ показав у цьому випадку переваження нижніх частин колон до 24 %, при урахуванні кранових навантажень, визначених за методикою ДБН, порівняно із поперечними перерізами, підібраними на навантаження за СНиП. Результати розрахунку внутрішніх зусиль у конструкціях одноповерхової виробничої будівлі одержані для спрощеної плоскої поперечної рами виробничої будівлі.

Порівняльний аналіз ДБН, СНиП та Єврокоду. Аналіз європейських норм показав більш широку диференціацію горизонтальних кранових навантажень у порівнянні із методиками вітчизняних ДБН та СНиП. Підвищені порівняно зі СНиП величини бічних сил, визначення яких регламентують ДБН, за своїми значеннями близькі до рекомендованих Єврокодом величин горизонтальних сил від перекосу крана [4].

Комплекс норм Єврокоду забезпечує загальні правила проектування конструкцій або їх складових традиційними та інноваційними способами. Третій розділ цього комплексу Eurocode-1 «Actions on structures» [3] регламентує визначення навантажень від мостових кранів і підрозділяє ці навантаження на змінні й аварійні.

Єврокод дає більш широку класифікацію горизонтальних кранових навантажень, ніж СНиП (рис. 1, а) та ДБН (рис. 1, б). Розрізняються навантаження від прискорення (гальмування) моста крана під час руху та навантаження від перекосу моста (рис 1, в), навантаження від гальмування візка крана, а також від удару буфера візка або підвісної каретки об упор (у СНиП [2] регламентується таке навантаження тільки від удару моста крана).

Найбільші величини горизонтальних навантажень на окреме колесо мостового крана, обчислені за СНиП, ДБН та Єврокодом, наведені в табл. 1.

Згідно зі СНиП [2] на колесо крана буде передаватися сила T_k , яка виникає від гальмування візка крана, а при важких режимах роботи кранів бічна сила H_k . Відповідно до ДБН [1] для чотириколісних кранів навантаження на колесо мостового крана визначається як бічна сила H_{01} (формула 7.9 в ДБН). Аналіз фізичної природи і впливу на значення бічних сил мостових кранів різних факторів показано в попередніх публікаціях авторів [5, 6]. Із наведених у табл. 1 результатів обчислення величин горизонтальних кранових навантажень видно перевищення бічною силою, визначеною згідно з ДБН, горизонтальних навантажень за СНиП [2]. Навантаження від пере-

косу крана $H_{S,T}$ за Єврокодом [3] дещо перевищує бічну силу H_{0l} за ДБН [1], а гальмівна сила $H_{T,3}$ вдвічі перевищує гальмівну силу T_k за СНиП [2].

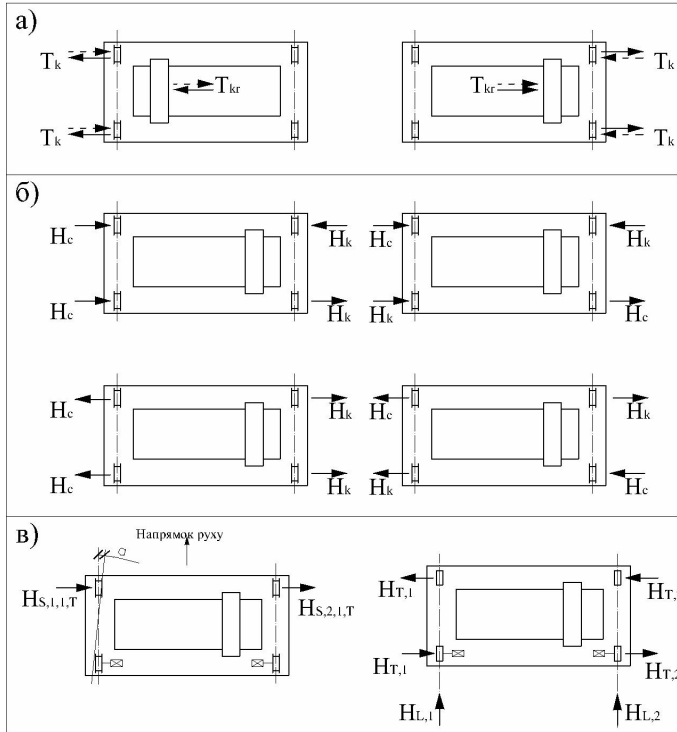


Рис. 1. Схеми прикладання горизонтальних кранових навантажень відповідно до різних норм проектування:

а) – гальмівні сили за СНиП; б) – бічні сили за ДБН;

в) – сили від перекоосу та гальмування моста крана за Єврокодом

Складові кранового навантаження Єврокод рекомендує враховувати не окремо, а по 10 групах, кожна з яких розглядається як один крановий вплив у поєднанні з іншими навантаженнями. Приведені в європейських нормах [3] численні компоненти кранового навантаження і відповідні динамічні коефіцієнти детальніше підрозділяють кранове навантаження, ніж це зроблено у вітчизняних нормах проектування будівельних конструкцій [1, 2]. Значення динамічних коефіцієнтів можуть суттєво перевищувати рекомендований вітчизняними нормами коефіцієнт динамічності, максимальне значення якого становить 1,2.

Таблиця 1

**Порівняння горизонтальних кранових навантажень на колесо
мостового крана**

Норми	Горизонтальне навантаження	Позначення	Вантажопідйомність кранів, кН				
			15 т	15/3 т	20/5 т	32/5 т	50/12,5 т
СНиП	Гальмівна сила	T_k	5,1	5,5	7,1	10,1	15,8
	Бічна сила	H_k	18,5	19,0	22,0	26,0	38,0
ДБН	Бічна сила	H_{01}	40,5	40,2	46,1	50,9	70,8
Єврокод-1	Навантаження від прискорення крана	$H_{T,2}$	33,9	38,0	46,4	48,5	66,3
	Навантаження від перекосу крана	$H_{S, T}$	43,4	46,4	55,0	65,6	95,2
	Гальмівна сила	$H_{T,3}$	10,2	11,0	14,3	20,3	31,6

Порівняння величин кранових навантажень на поперечну раму виробничої будівлі (прогоном 24 м, відмітка верху кранової рейки 12,4 м) демонструє значне перевищення навантаженнями, визначеними згідно з рекомендаціями Єврокоду [3], навантажень на поперечну раму, визначених за методикою СНиП [2] та ДБН [1] (табл. 2).

Таблиця 2

Горизонтальні навантаження на поперечну раму

Норми	Позначення	Вантажопідйомність кранів, кН			
		15/3 т	20/5 т	32/5 т	50/12,5 т
СНиП	T	10,0	22,6	18,5	27,4
ДБН	$H_R ; H_L$	45,8;	41,3;	57,2;	78,7;
		9,1	20,1	20,2	36,6
Єврокод-1	$H_{T,R} ; H_{T,L}$	39,9;	45,9;	52,5;	75,6;
		37,8	44,4	50,7	68,6
	$H_{S,1,j,T} ; H_{S,2,j,T}$	46,4;	55,7;	65,6;	95,2;
		19,6	20,5	19,0	24,9
	H_{T3}	16,5	22,0	30,4	47,4

Просторова робота каркасів ОВБ. Очевидно, для уникнення перевитрат сталі при переході до проектування за ДБН особливо гостро стоїть питання розкриття додаткових резервів несучої здатності каркасів виробничих будівель. На наш погляд, таким резервом є врахування просторової роботи каркасів ОВБ. Дійсну роботу, у тому числі просторову роботу одноповерхових виробничих будівель, досліджували Шапіро Г.О., Генієв А.Н., Беленя Є.І. та ін. Отримані дослідниками теоретичні та експериментальні результати показали, що поздовжні елементи споруди залучають у роботу ненавантажені поперечні конструкції, завдяки чому горизонтальні зміщення у просторовій системі порівняно із плоскими поперечними рамами зменшуються у 5...10 разів. Генієв А.Н. та Беленя Є.І. враховували ефект просторової роботи каркасів коефіцієнтом просторової роботи в залежності від типу покриття будівлі. При цьому покриття із залізобетонних

плит вважається жорстким, а покриття із профнастилу – нежорстким. Встановлений також значний вплив на роботу каркасів допоміжних конструкцій – покрівлі, гальмівних конструкцій, майданчиків різного призначення.

Із розвитком програмних комплексів стало можливим розширення досліджень просторової роботи каркасів. Єрмак Є.М. розвинув врахування просторової роботи шляхом доповнення розрахункових схем плоских поперечних рам пружними в'язями, які моделюють зв'язки плоскої рами з іншими елементами каркаса [7].

Урахування ефекту просторової роботи дозволяє знизити величини розрахункових внутрішніх зусиль у колонах виробничої будівлі від горизонтальних кранових навантажень за ДБН. У роботі [8] для зменшення необґрунтованих перевитрат сталі (для нижньої частини колони до 24 %) враховано ефект просторової роботи каркаса будівлі, який дозволив значно знизити величини внутрішніх зусиль від навантажень, отриманих відповідно з ДБН, і таким чином уникнути перевитрат сталі при переході до проектування за ДБН.

В сучасних умовах проектування, із розвитком програмних комплексів, можливо відійти від спрощеного розрахунку однієї поперечної рами до розгляду усієї будівлі в цілому. Таким чином, вивчення особливостей дійсної роботи каркасів ОБВ полягає у детальному аналізі джерел минулих років із дослідження просторової роботи будівель та порівнянні запропонованих аналітичних методик із моделями каркасів будівель, створених за допомогою програмних комплексів. Для порівняння експериментальних і теоретичних даних, отриманих під час дослідження особливостей дійсної роботи сталевих конструкцій у період 30-х – 50-х років минулого сторіччя, недостатньо даних для створення розрахункової схеми, максимально наближеної до дійсної схеми будівель.

Випробування сталевих каркасів ОБВ. Натурний експеримент, проведений авторами даної статті, дозволить виявити особливості дійсної роботи досліджуваної будівлі (рис. 2) та створити за допомогою сучасних програмних комплексів модель каркаса, яка максимально відобразить особливості дійсної роботи конструкцій будівлі.

При проведенні експериментального дослідження використовувався статичний метод завантаження конструкцій (за допомогою ручної лебідки) (рис. 3, 4). Вибраний каркас (рис. 2) виявився придатним для випробувань, оскільки при закінченні монтажу основних несучих конструкцій не був завершений монтаж деяких в'язей і покриття будівлі.



Рис. 2. Загальний вигляд випробуваного каркаса



Рис. 3. Навантаження каркаса під час експерименту



Рис. 4. Контролювання величини навантаження

Таким чином, з'явилась можливість проведення багатоетапного експерименту при випробуванні існуючого незавершеного каркаса і у подальших випробуваннях на даному каркасі після закінчення монтажу в'язей по нижньому поясу ферм. Часткові зміни конструкцій шляхом додавання допоміжних елементів – в'язей, дали можливість вивчити роботи споруди в цілому і його частин при включенні в роботу окремих елементів.

Попередні результати випробувань показали включення в роботу усіх поперечних рам каркаса при навантаженнях однієї рами та значний вплив додатково змонтованих в'язей на поперечну жорсткість каркаса (рис. 5) та сприйняття кранових навантажень.

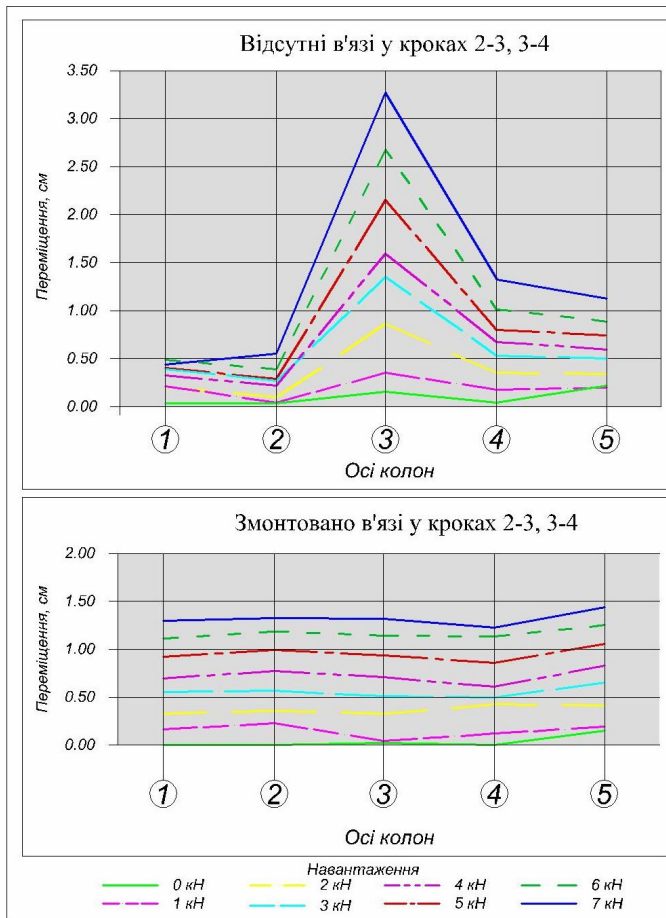


Рис. 5. Поперечні зміщення колон каркаса при навантаженні рами по осі «3»

Висновки

При переході до розрахунку навантажень за ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» змінюються горизонтальні навантаження на колеса мостових кранів порівняно зі СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия». Зокрема, аналіз величин навантажень багатоколісних кранів показав підвищення величин горизонтальних кранових навантажень, визначених за ДБН, у порівнянні із навантаженнями за СНиП. Проте така картина кранових навантажень не спричиняє збільшення зусиль у колонах ОВБ за рахунок характеру виникнення бічних сил багатоколісних кранів, які не схильні до перекосів під час руху.

Більш схильними до перекосів під час руху є чотириколісні крани із малою базою, і цей чинник враховано в ДБН при уточненні горизонтальної складової кранового навантаження введенням бічних сил. Порівняльний аналіз бічних сил за ДБН із гальмівними силами за СНиП свідчить про значне перевищення (до 2...6 разів) останніх горизонтальними навантаженнями на колесо крана за ДБН.

У такій ситуації підвищення в ДБН основних навантажень, які діють на виробничі будівлі із мостовими кранами, можливими засобами уникнення не виправданих перевитрат сталі є перехід від спрощеного розрахунку однієї поперечної рами будівлі до розрахунку каркасів будівель як просторових систем. Розрахунком підтверджено нейтралізацію очікуваного підвищення металомісткості конструкції ОВБ при переході до визначення кранових навантажень відповідно до ДБН В.1.2-2:2006 шляхом наближення розрахункових передумов до дійсних умов роботи конструкцій ОВБ як просторової системи.

Вирішення питань, пов'язаних із характером впливу окремих елементів каркасів на забезпечення сумісної роботи конструкцій ОВБ, було задачею натурних випробувань каркаса ОВБ. Перші результати підтвердили значний вплив в'язей на забезпечення сумісної роботи поперечних рам каркаса будівлі.

На наш погляд, деяке ускладнення розрахунків при переході до проектування за ДБН є виправданим, на що вказує і аналіз іноземних норм, а саме Eurocode 1 – Actions on structures, який виявив наближення горизонтальних кранових навантажень згідно із ДБН до навантажень, отриманих відповідно до Єврокоду. Таким чином, перехід до визначення кранових навантажень за ДБН В.1.2-2:2006 із підвищеними величинами горизонтальних кранових навантажень порівняно з колишніми нормами СНиП відображає підходи до визначення реальних бічних сил, характеристичні значення яких рекомендує Єврокод.

Література

- [1] ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи / Мінбуд України. – К.: Вид-во «Сталь», 2006. – 60 с.
- [2] СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстрой СССР, 1987. – 36 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] Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинський В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. / Под общей ред. А.В. Перельмутера. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 482 с.
- [5] Пичугін 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] Пичугін С.Ф. Порівняльний аналіз зусиль у поперечних рамах від горизонтальних навантажень, визначених за різними нормами / С.Ф. Пичугін, Ю.Е. Маслова // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. пр. – Полтава: ПолтНТУ, 2007. – Вип.20 – С. 107 – 113.
- [9] Пичугін С.Ф. Порівняльний аналіз горизонтальних кранових навантажень, визначених за різними нормами проектування / С.Ф.Пичугін, О.О. Бражник, Ю.Е. Маслова // Металеві конструкції: сьогодення та перспективи розвитку: зб. наук. пр. – Київ: УКРНДІПСК, 2008. – Вип.1 – С. 36 – 43.
- [10] Пичугін С.Ф. Аналіз зусиль в підкранових балках і поперечних рамах від навантажень мостових кранів / С.Ф. Пичугін, Ю.Е. Маслова, О.О. Бражник // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2008. – Вип.17 – С. 217 – 225.
- [11] Пичугін С.Ф. Аналіз силового впливу багатоколісних мостових кранів на конструкції виробничих будівель / С.Ф. Пичугін, Ю.Е. Маслова // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2009. – Вип. 18 – С. 280 – 288.
- [12] Пичугін С.Ф. Кранові навантаження у вітчизняних та європейських нормах / С.Ф. Пичугін, Ю. Е. Маслова // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. пр. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – Вип.3(25) – С. 144 – 148.

Надійшла до редколегії 10.06.2010 р.