

2. Математическая теория оптимальных процессов / [Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтнянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко] – М.: Физматгиз, 1961. – 392 с.
3. Беллман Р. Динамическое программирование / Р. Беллман [под. ред. Воробьева Н.Н.] – М.: Издательство иностранной литературы, 1960. – 400 с.
4. Ловейкін В. С. Динамічна оптимізація підйомних машин / В. С. Ловейкін, А. П. Нестеров. – Х.: ХНАДУ, 2002. – 291 с.
5. Смехов А. А. Оптимальное управление подъемно-транспортными машинами / А. А. Смехов, Н. И. Єрофеев. – М.: Машиностроение, 1975. – 239 с.
6. Теория, конструирование и расчёт строительных и дорожных машин / Л. А. Гоберман, К. В. Степанян, А. А. Яркин, В. С. Зеленский. Под ред. Л. А. Гобермана. – М.: Машиностроение, 1979. – 407 с.
7. Ловейкін В. С. Оптимізація режимів руху машин і механізмів/ В. С. Ловейкін // *Машинознавство*, Львів.: ТзОВ “КІНПАТРІ ЛТД”, 1999. – № 7 (25). – С. 24 – 31.
8. Ловейкин В. С. Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин / В. С. Ловейкин. – К.: УМК ВО, 1990. – 168 с.

УДК 621.873.12

Т. В. ЛУЦЬКО, к. т. н., М. О. БАРКАЛОВ, магістр.

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОЗЛОВИХ КРАНІВ З РІЗНИМИ ВИДАМИ ОПОР ПРИ ПЕРЕКОСІ МОСТУ

Постановка проблеми. При експлуатації кранів прогінного типу в процесі їх пересування виникають перекосні навантаження, які викликані забіганням кранової опори одної відносно іншої, і, як наслідок, відбувається деформація прогонової будови крана [1–3]. Внаслідок перкоосу мостів виникає втомне руйнування кранових металоконструкцій. В даній роботі розглядається напружено-деформований стан козлового крана з різними видами опор при перекосі мосту. Перший варіант опирання козлового крана – обидві жорсткі опори, а другий варіант опирання – одна жорстка, а інша гнучка опори.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Схеми дії навантажень на опори козлового крана з різними схемами опирання в період сталого руху наведені на рис. 1. В даній роботі розглядаються тільки сили перекоосу, вплив на напружено-деформований

стан крана поперечних (осьових) навантажень на ходові колеса опор крана не аналізується. Методи визначення перекісних навантажень досліджені у різних роботах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7], скористаємося залежностями, наведеними в роботах Абрамовича І.І. [2, 3]. Сила перекошу S_{II} для крана з двома жорсткими опорами визначається наступною залежністю [2, 3]:

$$S_{II} = \frac{W_A - W_B \gamma}{1 + \gamma - \frac{2k}{1+k} \cdot \frac{L}{a}}, \quad (1)$$

де W_A, W_B – опір пересуванню відповідно опори A і B крана; $\gamma = 0,75 \dots 0,85$ – коефіцієнт нерівномірності розподілу тягових зусиль; $k = 0,032$ – коефіцієнт опору від тертя реборд колеса; L – прогін; a – база крана.

Сила перекошу S_{II} для крана з одною жорсткою, а іншою гнучкою опорами визначається наступною залежністю [2, 3]:

$$S_{II} = \frac{W_A - W_B \gamma}{1 + \gamma - 2k \cdot \frac{L}{a}}. \quad (2)$$

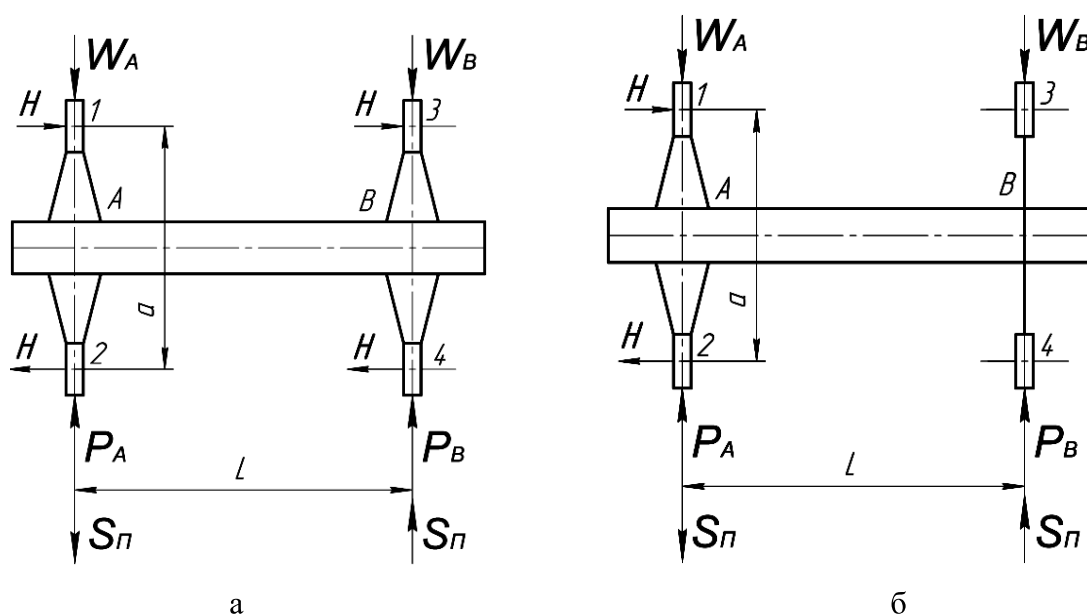


Рис. 1. Схеми дії навантажень на опори крана в період сталого руху: a – обидві опори жорсткі; b – одна опора жорстка, а інша гнучка; W_A, W_B – опір пересуванню відповідно опори A і B крана; P_A, P_B – сили тяги двигунів відповідно опори A і B крана; H – осьові навантаження на ходові колеса опор крана.

Результати розрахунків сил перекошу S_{II} показують, що при відсутності вітру і ухилу при роботі обох двигунів опор крана, навантаження від перекошу складають 2...4 H на 1 κH сили тяжіння крана з вантажем [2]. Якщо не працює один двигун, ці навантаження можуть досягати 6...10 $H/\kappa H$ [2]. Залежності сил перекошу (1) і (2) будемо

використовувати в якості сил впливу на остов крана при аналізі напружено-деформованого стану козлового крана з різними схемами опирання.

Мета дослідження – визначення раціональної схеми опирання козлового крана, яка є найбільш стійкою до впливу сил перекосу.

Основний матеріал. Вплив сили перекосу надає, як на прогонову будову крана [1–3, 8], так і на опорні стійки крана. При дії горизонтальної сили перекосу S_{II} опорні стійки відчувають поздовжні зусилля і вигин, а стяжка опорних стійок – стиснення.

Схема деформацій козлового крана з двома жорсткими опорами при дії сили перекосу показана на рис. 2, а. Значення деформації при перекосі крана з однобалковим мостом та двома жорсткими опорами визначається наступною залежністю [1]:

$$\delta_s = S_{II} \left(\frac{L}{2a} \delta_{1C} + \frac{L^3}{12EJ_M} + \Delta \right), \quad (3)$$

де δ_{1C} – переміщення стійки опори в напрямку поздовжньої осі моста при дії сили $S_{II} = 1$; L – прогін крана; a – база крана; J_M – момент інерції перетину щодо вертикальної осі моста; Δ – додатковий параметр, який враховує вплив деформацій елементів опорної частини; для суцільностінчастих мостів $\Delta = 0$.

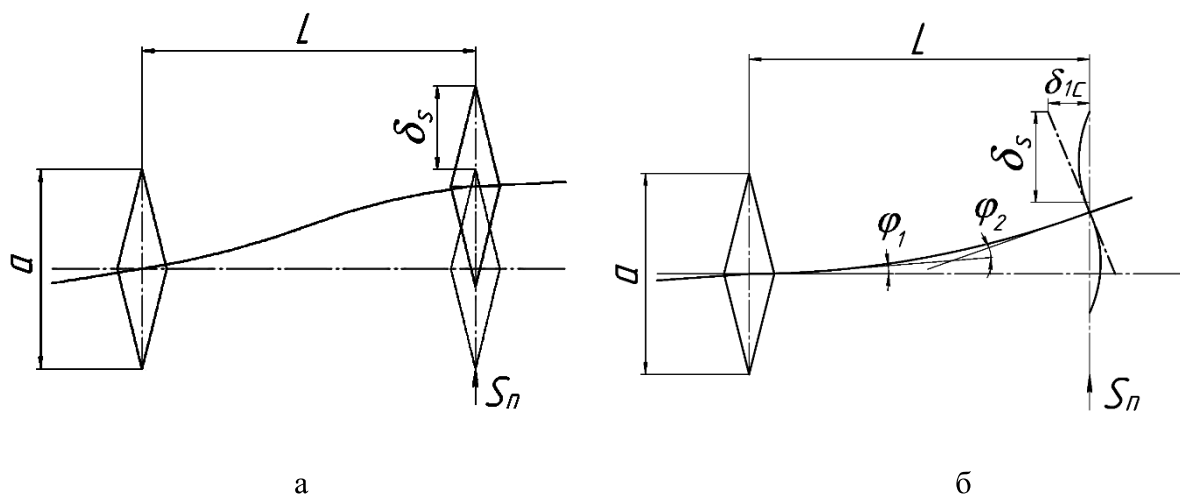


Рис. 2. Деформація при перекосі остова козлового крана: а – з двома жорсткими опорами; б – з одною гнучкою та іншою жорсткою опорами.

Додатковий параметр, який враховує вплив деформацій елементів опорної частини:

$$\Delta = 2 \sum_{i=1}^n \frac{N_{S_{II}=1}^2 l_i}{EA_i}, \quad (4)$$

де n – число розкосів надопорної частини моста; $N_{S_i=1}$ – зусилля у розкосі при $S_{II} = 1$; A_i – площа перерізу розкосу; l_i – довжина розкосу.

Деформація козлового крана з одного гнучкою, а іншою жорсткою опорою (рис. 2, б) [1]:

$$\delta_s = S_{II} \left(\frac{L}{a} \delta_{1C} + \frac{L^3}{3EJ_M} + \Delta \right). \quad (5)$$

Міст крана повертається щодо жорсткої опори, причому на основи гнучких стояків діє навантаження:

$$Y_1 = \delta_1 c_T, \quad (6)$$

де $c_T = 1/\delta_I$ – жорсткість стояка гнучкої опори при вигині в напрямку поздовжньої осі крана;

$$\delta_1 = \varphi \frac{a}{2} = (\varphi_1 + \varphi_2) \frac{a}{2}, \quad (7)$$

де φ_1 – кут повороту мосту внаслідок деформації елементів жорсткої опори; φ_2 – кут нахилу осевої лінії мосту внаслідок його вигину; a – база крана.

Таким чином, визначивши теоретичні значення деформацій при перекосі козлового крана з різними схемами опирання, порівняємо отримані значення з результатами чисельного аналізу напружено-деформованого стану козлового крана при перекосі мосту, проведеного за допомогою програмного забезпечення.

У якості об'єкта дослідження приймається гратчастий і трубчастий двоконсольні козлові крани з двома жорсткими і однією жорсткою, а іншою гнучкою опорами (рис. 3). Вага крана 50 т, прогін 20 м, максимальна вантажопідйомність 20 т.

Внаслідок дії на кран сил перекосу, визначених за залежностями (1) і (2), були отримані наступні результати:

1) максимальне напруження виникає в металоконструкції моста, де розташовується вантажний візок, і становить для гратчастого крана з двома жорсткими опорами $\sigma_{\max}=200,15$ МПа, з одною гнучкою опорою $\sigma_{\max}=195,5$ МПа; для трубчастого крана з двома жорсткими опорами $\sigma_{\max}=172,6$ МПа, з одною гнучкою опорою $\sigma_{\max}=165$ МПа;

2) максимальні забігання опор крана (деформації) склали для гратчастого крана з двома жорсткими опорами $\delta_{\max}=59,25$ мм, з одною гнучкою опорою $\delta_{\max}=67,125$ мм; для трубчастого крана з двома жорсткими опорами $\delta_{\max}=22,43$ мм, з одною гнучкою опорою $\delta_{\max}=24,7$ мм;

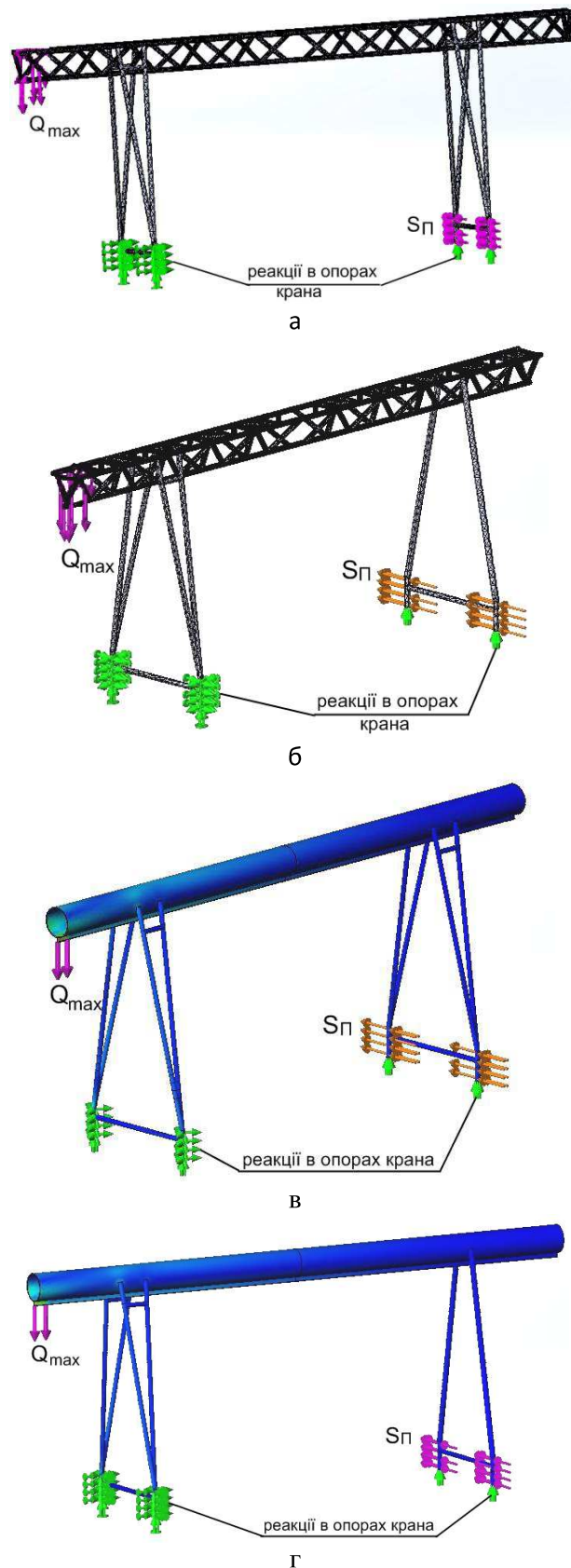


Рис. 3. Схеми навантаження двоконсольних козлових кранів: *а* – гратчастої конструкції з двома жорсткими опорами; *б* – гратчастої конструкції з однієї гнучкою та іншої жорсткою опорами; *в* – трубчастої конструкції з двома жорсткими опорами; *г* – трубчастої конструкції з однієї гнучкою та іншої жорсткою опорами; S_{II} - сила перекосу, Q_{max} - максимальна вантажопідйомність.

3) порівняння з теоретичними значеннями деформацій, визначених за залежностями (3) і (5), похибка становить 15%, що дозволяє використовувати подібні залежності для орієнтовного визначення переміщень опор крана з цілком задовільною точністю.

На рис. 4 наведені гістограми, які наочно ілюструють співвідношення напружень (рис. 4, а) і деформацій (рис. 4, б), що виникають у козлових кранах ґратчастої і трубчастої конструкцій різних схем опирання. Аналіз цих графіків показує, що найбільш стійкою конструкцією щодо перекосу моста є трубчастий козловий кран з двома жорсткими опорами.

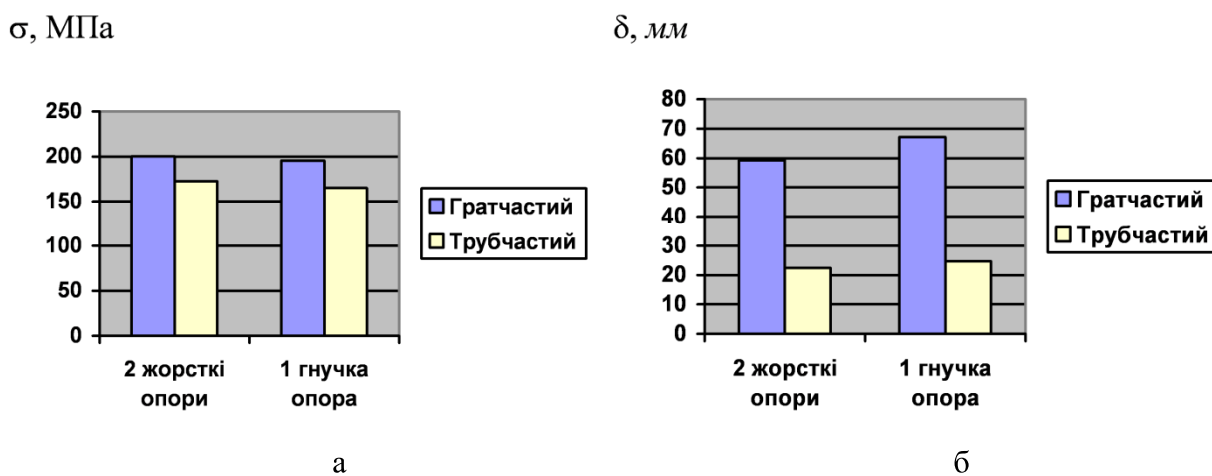


Рис. 4. Гістограми максимальних напружень, МПа, (а) і забігання опор, мм, (б) козлових кранів при перекосі мосту.

Висновки. Аналіз результатів проведеного дослідження напружено-деформованого стану козлових кранів з різними схемами опирання при перекосі мосту показав: 1) напруження в металоконструкції моста крана трубчастої конструкції незалежно від схем спирання менші на 14 % порівняно з ґратчастим краном; 2) при використанні трубчастого крана незалежно від схем опирання забігання опор від перекісних навантажень менше приблизно на 37%; 3) порівняння схем опирання козлових кранів говорить про менші значення переміщень (деформацій) у кранів з двома жорсткими опорами порівняно з одною гнучкою опорою, причому для ґратчастої конструкції на 12%, а для трубчастої конструкції на 9%; 4) порівняння теоретичних значень визначення забігання опор (деформацій) козлового крана, визначених за формулами (3) і (5) зі значеннями деформацій, отриманих за допомогою програмного

забезпечення, говорить про прийнятність їх до використання в приблизних розрахунках; 5) таким чином, раціональною схемою опирання козлового крана, яка є найбільш стійкою до впливу сил перекосу, є трубчастий кран з двома жорсткими опорами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамович И. И. Грузоподъемные краны промышленных предприятий: Справочник / И. И. Абрамович, В. Н. Березин, А. Г. Яуре. – М.: Машиностроение, 1989. – 360 с.
2. Абрамович И. И. Козловые краны общего назначения / И. И. Абрамович, Г. А. Котельников. – М.: Машиностроение, 1983. – 232 с.
3. Абрамович И. И. Определение перекосных нагрузок, возникающих при движении козловых кранов / И. И. Абрамович // Вестник машиностроения. – М.: Машиностроение, 1969. – №3. – С. 42 – 45.
4. Лебедев В. А. Расчет перекоса металлической конструкции козлового крана // Современное машиностроение. Наука и образование: материалы 3-й Международной научно-практической конференции / под ред. М. М.Радкевича и А. Н. Евграфова. – СПб.: Политехн. ун-та, 2013. – С. 975 – 981.
5. СТО 24.09-5821-01-93 Нормы и методы расчета элементов стальных конструкций. Стандарт ВНИИПТМАШ-ПОДЪЕМТРАНСТЕХНИКА, 1993. – 135 с.
6. EN 13001-2:2004. Crane Safety. General Design. Part 2: Load Actions. – [Enacted 2005-01-07]. – British Standards Institution, 2005. – 54 p.
7. F.E.M. 1.001. Rules for the design of hoisting appliances. – [Enacted 1998-01-10]. – Federation Europeenne de la manutention. Section I: Heavy Lifting Appliances, 3RD Edition Revised, 1998. – 26 p.
8. Луцько Т. В. До питання визначення впливу перекосу кранового моста на його напружено-деформований стан / Т. В. Луцько, О. А. Шкарупа // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Дн–вск.: ГВУЗ ПГАСА, 2013. – Вып. 72. – С. 295 – 299.