

УДК 621.874

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.95.0.134

НАПРУЖЕНИЙ СТАН ПРОЛІТНОЇ БУДОВИ КОЛОДЯЗНОГО КРАНА

Руднев О. М., Лятуринський В. О.

Національний університет «Запорізька політехніка»

Анотація. В роботі проведено аналіз напружень у головних балках мостового колодезного крана. Розглядаються різні види навантаження: підйом із підхопленням, а також навантаження на штангу збоку. Напруження, що виникають у цих випадках, визначені експериментально, теоретично, а також за допомогою програмного забезпечення. Дослідження напруженого стану коробчастих балок кранів із жорстким підвісом різними методами вказують на достовірність методик.

Ключові слова: колодезний кран, коробчасті балки, методи визначення напружень, тензодатчики, модель.

Вступ

Мостові крани великої вантажопідйомності мають різні конструкції головних коробчастих балок, і серед них поширені балки з розташуванням рейки над стінкою балки. При цьому оцінка дійсних напружень у різних конструкціях цих балок потребує подальших досліджень. Головна причина – це велика кількість приварених елементів (рис. 1), які змінюють розподіл напружень між основними несучими перетинами. Наявність бокових зусиль ускладнює задачу, вирішення якої є особливо необхідним за умов жорсткого підвісу.

Аналіз публікацій

Велика кількість публікацій присвячена аналізу напружено-деформованого стану пролітних балок кранів мостового типу [1, 2, 3 та ін.]. Однак робіт, присвячених дослідженню напруженого стану колодезних кранів із жорстким підвісом вантажу, не було знайдено.

Практичний інтерес викликає порівняння параметрів напружень, отриманих різними методами: аналітичним розрахунком, методом кінцевих елементів та експериментом на металоконструкції мостового колодезного крана.

Коробчасті балки зварюються із листів, тому доцільним при програмному розрахунку є використання двовимірних кінцевих елементів плаского типу. Діючі напруження не досягають межі текучості, а загальний прогин конструкції є незначним, тому достатньою є лінійна постановка задачі [4, 5].

Мета і постановка завдання

Мета роботи полягає у визначенні напружень, які виникають у коробчастих балках мостових кранів при розміщенні рейки над стінкою, різними методами та аналізі результатів.

Методи визначення напружень, що будуть використані: аналітичний, експериментальний та кінцево-елементний.

Опис розрахованої конструкції

Аналізу підлягає мостовий двобалковий колодезний кран, що працює на металургійному комбінаті у колодезному відділенні. Він завантажує виливки в колодезі та перевантажує підігріті виливки для подальших технологічних операцій. Характеристики крана: вантажопідйомність – 20 т; проліт – 27 м; вага візка – 103,5 т; база крана – 5,6 м; база візка – 3,9 м; швидкість підйому – 0,3 м/с; режим роботи – важкий.

Пролітна балка крана має коробчасту конструкцію з різними за конструкцією діафрагмами. Понад стінкою балки розміщена рейка. Відмінність таких кранів від інших полягає у жорсткому підвісі вантажу. Зображення поперечного перерізу балки приведено на рис. 1. Під час проведення порівняльного аналізу визначають теоретичні навантаження, які діють на кран у процесі роботи.

У процесі аналізу використано два випадки навантаження: підйом вантажу з підхопленням, прикладення за допомогою лебідки навантаження на штанзі захвату. При цьому візок встановлюється на середині прольоту крана. У випадку підйому з підхопленням виникає сумарне додаткове навантаження на балки з боку ходових коліс від дії ваги вили-

вка та інерції вилівка, кліщі, штанги тощо. Аналітично визначено, що воно дорівнює 890000 Н. В цьому разі одна балка сприймає додаткове навантаження рівня 445000 Н.

В результаті видно, що під дією такого навантаження балка зазнає деформації згину та кручення (через розміщення рейки над стінкою).

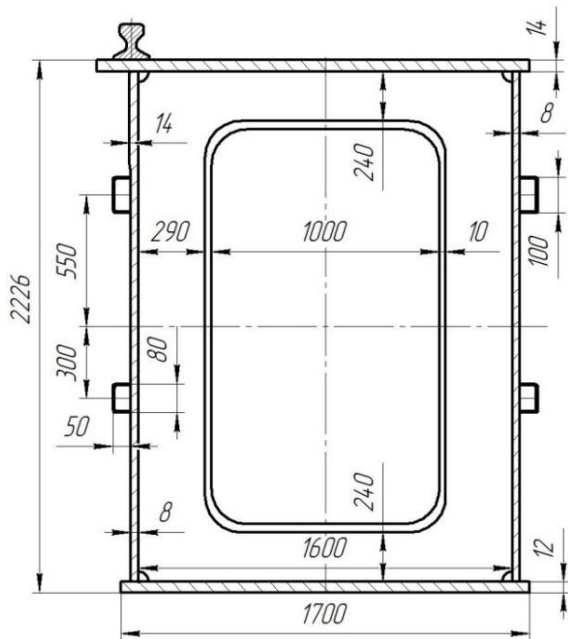


Рис. 1. Поперечний переріз головної балки коловозного крана

Лебідка передає зусилля на штангу під кутом 30° до горизонту, в напрямку торця цеху (рис. 2).

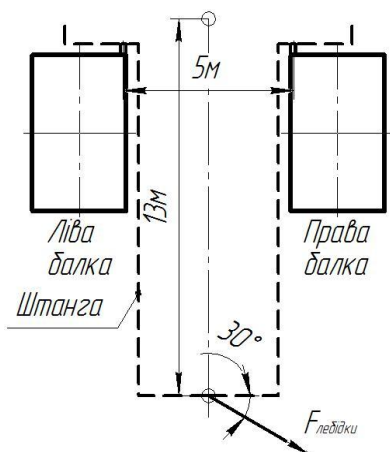


Рис. 2. Схема прикладення зусилля

Горизонтальна складова зусилля викликає перерозподіл вертикальної складової навантаження на балки. Точка прикладення зусилля знаходиться на відстані 13 м від центру

ваги візка. Прикладаються зусилля – 45000 Н, 75000Н, 125000Н. Додаткове навантаження визначається за формулою 1, в ній $h = 13$ м – за умовою експерименту, $B = 5$ м – колія візка.

$$P_{\text{додаткове}} = \pm F_{\text{гориз}} \cdot \frac{h}{B}. \quad (1)$$

Розраховані теоретичні напруження для визначених розрахункових випадків, що мають виникнути в зонах тензодатчиків. Для зон датчиків 2, 3 (рис. 3) напруження від згину при дії вертикальної сили 10 кН складають $786,5$ кН/м². Для зон датчиків 5, 7 теоретичні напруження від 10 кН дорівнюють $713,7$ кН/м².

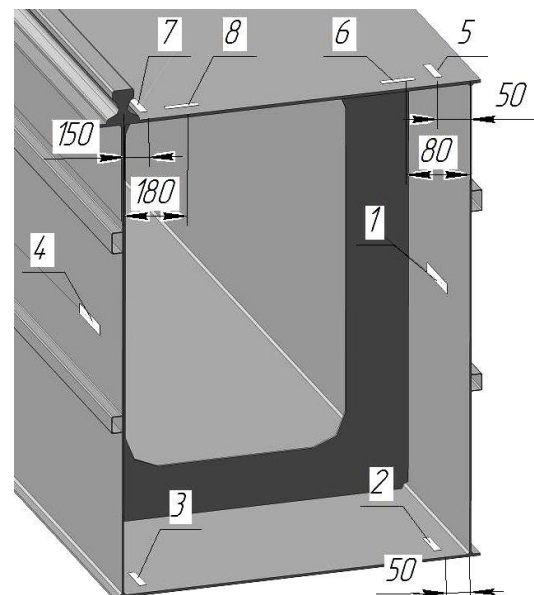


Рис. 3. Локація тензодатчиків на балці

Дотичні напруження від кручення балок, в разі прикладення сили 10 кН на рейку, складуть: у випадку горизонтального напрямку сили $\tau = 130$ кН/м²; в разі вертикального напрямку сили $\tau = 213$ кН/м².

Напруження, розраховані аналітично в точках локації датчиків для всіх випадків, представлені в табл. 1.

Ці точки пронумеровано та вказано на рис. 3. Тензодатчики розміщено на середині прольоту головних балок.

У процесі виконання експерименту з тензометрії коробчастих балок було визначено дійсні напруження вказаних зон пролітної будови крана для зазначених вище розрахункових випадків. Дійсні напруження, виявлені в результаті експерименту, приведено в табл. 2 ("+" – розтяг, "-" – стиск).

Для порівняння якості результатів експерименту та теоретичних розрахунків для третього методу визначення напружень було створено повнорозмірну тривимірну модель пролітної коробчастої балки колодязного крана.

На рис. 4 зображено модель із накладеною сіткою кінцевих елементів на спрощену мо-

дель. Спрощена модель дозволяє проводити аналіз напружень необхідних нам точок. У програмному комплексі АРМ FEM studio методом кінцево-елементного аналізу було знайдено значення напружень, що виникають у конструкції для напрямків та рівнів навантажень, що розглядаються в цій статті. Результати приведені в табл. 3.

Таблиця 1 – Аналітичні напруження в зонах розміщення тензодатчиків, Н/мм

Тип навантаження	№ точки датчика	1	2	3	4	5	6	7	8
Підйом вилівка з підхопленням	Ліва балка	0	+35	+35	0	-30,5	+5,0	-30,5	+5,0
	Права балка	0	+35	+35	0	-30,5	+5,0	-30,5	+5,0
Навантаження лебідкою 10 кН	Ліва балка	-0,50	+1,49	+2,41	+0,50	-2,09	+0,35	-1,17	+0,35
	Права балка	+0,50	-1,09	-2,01	-0,50	+1,75	-0,30	+1,01	-0,30

Таблиця 2 – Напруження елементів коробчастих балок у місцях локації тензодатчиків, Н/мм²

Експеримент	Випадок підйому вантажу з підхопленням			Випадок створення зусилля лебідкою						
	№ досліду	1	2	3	Зусилля = 45 кН		Зусилля = 75 кН		Зусилля = 120 кН	
Балка	ліва/права	ліва/права	ліва/права	ліва	права	ліва	права	ліва	права	
Номер датчика	1	0/0	0/0	0/0	-2,4	+2,5	-3,6	+3,8	-6,0	+6,1
	2	+28/+28	+29,5/+28	+30/+29	+6,6	-4,7	+11,3	-8,2	+17,6	-13
	3	+32,5/+33	+32,5/+32	+32/+32	+10,6	-8,8	+18	-15,2	+27	-23,6
	4	0/0	0/0	0/0	+2,2	-2,3	+3,9	-4	+5,9	-5,8
	5	-32/-32	-31,5/-32	-31/-32,5	-10,8	+8,7	-18,2	+15,3	-28	+23,8
	6	0/0	0/0	0/0	0	0	0	0	0	0
	7	-30/-29	-31/+30	-30,5/-29,5	-7	+5,2	-11,7	+8,8	-18,5	+14,5
	8	0/0	0/0	0/0	0	0	0	0	0	0

Таблиця 3 – Напруження в зонах розміщення тензодатчиків згідно з розрахунком моделі, Н/мм²

Вид навантаження	Балка	№ точки							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Підйом вилівка з підхопленням	ліва, права	-6	+33,5	+32	-1	-31	+0,7	-30,5	+2,5
Навантаження лебідкою 10 кН	ліва	-0,5	+0,8	+1,5	+0,5	-1,5	+0,1	-0,7	+0,3
	права	+0,5	-0,6	-1,4	-0,5	+1,3	-0,1	+0,5	-0,3

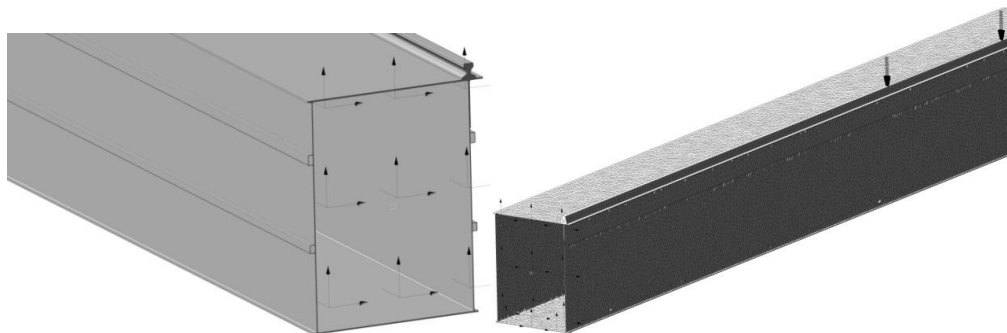


Рис. 4. Повнорозмірна тривимірна модель коробчастої балки

Результати визначених напружень різними методами та їх порівняння вказує на достатню збіжність. Розрахунок теоретичний відрізняється від реально визначеного значення напружень у балках не більше 20 %, і в середньому значення знаходиться на рівні 5 %. Такий результат показує належну якість проведення експериментів. Аналіз результатів кінцево-елементного модельного визначення напружень кранових балок коробчастого перерізу в деяких випадках показує дещо занижені від реальних напружень (таблиці 1, 3). Цей результат є помітним у випадках визначення напружень розтягу, а також у другому випадку навантаження. При цьому точність аналізу максимально напружених зон є прийнятною.

Висновки

Результати трьох методів визначення напружень було порівняно та визначено можливі причини розбіжностей. Відхилення аналітичного та модельного програмного розрахунку від реально визначеного напруженого стану балок не перевищило 5 %. Це підтверджує високу точність і об'єктивність теоретичного та модельного розрахунку напружень кранових балок.

Встановлено, що в разі використання повнорозмірної тривимірної моделі коробчастої балки розрахунок за допомогою програм дає найбільш точний і повний результат, але значно трудомісткий за часом, що є необхідним для будови та порівняння результатів моделі, ніж у випадку використання класичних методів. Тому аналіз за допомогою програмних комплексів потрібно застосовувати для складних конструкцій з великою кількістю перерізів, з різними розрахунковими випадками та навантаженнями, з виявленням зон з максимальними напруженнями. Класичні методи розрахунків зручно використовувати для аналізу декількох перерізів за невеликої кількості розрахункових випадків та навантажень.

Література

1. Erden, A. Computer Automated Access to the 'F.E.M.Rules' for Crane Design // *Anadolu University Journal of Science and Technology*, Vol.3 (2002), №. 1, p. 115–130.
2. Oguamanam D.C., Hansen J.S., Heppler G.R. "Dynamic of a Three-Dimensional Overhead Crane System." // *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 242 (2001), No. 3, p. 411–426.
3. Гохберг М.М. Справочник по кранам Т1 / В.И. Брауде, М.М. Гохберг, И.Е. Звягин. – М.: Машиностроение, 1988. – 536 с.

4. Замрий А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде APM Structure 3D / А.А. Замрий. – М.: Изд-во АПИМ, 2006. – 288 с.
5. Koutromanos I. Fundamentals of Finite Element Analysis: Linear Finite Element Analysis / I. Koutromanos. – NY.: John Wiley & Sons, 2018. – 736 p.

References

1. Erden, A. Computer Automated Access to the 'F.E.M.Rules' for Crane Design // *Anadolu University Journal of Science and Technology*, Vol.3(2002), №. 1, p. 115–130.
2. Oguamanam D.C., Hansen J.S., Heppler G.R. "Dynamic of a Three-Dimensional Overhead Crane System." // *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 242 (2001), №. 3, p. 411–426.
3. Gokhberg M.M. Reference book on T T1 cranes / V.I. Braude, M.M. Gokhberg, I.E Zvyagin. - M.: Machine building, 1988. – 536 p.
4. Zamriy A.A. Design and calculation by the finite element method of three-dimensional structures in the APM Structure 3D / A.A. Freeze. - M.: Publishing house APM, 2006. – 288 p.
5. Koutromanos I. Fundamentals of Finite Element Analysis: Linear Finite Element Analysis / I. Koutromanos. – NY.: John Wiley & Sons, 2018. – 736 p.

Руднев О.М., к.т.н., доцент, Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, Україна, 69063, тел. (061)764-31-82, amrudnev53@gmail.com

Лятуринський В.О., к.т.н., доцент, Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, Україна, 69063, тел.(061)764-31-82, vasilyliat@gmail.com

Stress state of the main girders of the overhead ingot-lifting crane

Abstract. The analysis of stresses in the main beams of the bridge well crane is carried out in the work. Different types of load are considered: lifting with a pickup, and also loading on a bar from the side. The stresses that occur in these cases are determined experimentally, theoretically, and with the help of software. Investigations of the stress state of box beams of cranes with rigid suspension by different methods indicate the reliability of the methods.

Key words: well crane, box beam, stress determination methods, strain gauges, model.

Rudnev A.M., PhD in Technical Sciences, Zaporizhzhia Polytechnic National University, 64 Zhukovskoho str., Zaporizhzhia, 69063, Ukraine, (061)764-31-82, amrudnev53@gmail.com

Liaturynskiy V.A. PhD in Technical Sciences, Zaporizhzhia Polytechnic National University, 64 Zhukovskoho str., Zaporizhzhia, 69063, Ukraine, (061)764-31-82, vasilyliat@gmail.com