



УДК 621.875

І.І. Заліско, аспірант КНУБА

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ ОПОРНОГО ОБЛАДНАННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО КРАНУ

АННОТАЦІЯ. *Визначено розподіл напруження і деформацій в опорних елементах автомобільного крану в залежності від власної ваги та зовнішніх навантажень за різних умов робочого процесу крана.*

АННОТАЦИЯ. *Определено распределение напряжений и деформаций в опорных элементах автомобильного крана в зависимости от собственного веса и внешних нагрузок в разных условиях рабочего процесса.*

ANNOTATION. *It also decreed the distribution of stress and strain in the reference cell car crane depending on their weight and external loads under various conditions workflow crane.*

Актуальність проблеми. Одним із важливих елементів конструкцій автокрану є опорно-поворотний пристрій та опорний контур, надійність роботи яких суттєво впливає на стійкість роботи кранів та його здатність забезпечувати заданий режим роботи. Тому дослідження вдосконалення конструкцій опорно-поворотних пристроїв є задачею актуальною, що підвищить ефективність та конструктивність вітчизняних автокранів.

Оцінка та аналіз існуючих досліджень. Аналіз існуючих досліджень засвідчують, що за теоретичними, експериментальними дослідженнями, завдяки науковим школам НВО «Всеросійським науково-дослідним інститутом будівельного і дорожнього машинобудування» (м. Москва), Виробничим об'єднанням «Завод імені Січневого повстання» (м. Одеса), Придніпровської державної академії будівництва і архітектури (м. Дніпропетровськ) та іншими [1–5], закладені основи проектування і створення опорного та опорно-поворотного пристроїв автокранів, що знайшли відображення в конструкціях вантажопідіймальної техніки.

Особливими варто вважати дослідження показників надійності машини та прогнозування ресурсу металоконструкцій опорно-поворотних пристроїв. Значні успіхи досягнуті школами, вже згадуваного, НВО «ВНДІ будмаш», автомобільно-дорожнього університету (м. Харків), Уральського політехнічного університету, Московського будівельного університету [6–8].

Методика та результати досліджень. Експериментальні дослідження з визначення напруженого стану опорного та поворотного обладнання проводилися за схемою (рис. 1).

Тензодатчики встановлювалися в місцях одноосного напруження стиску або розтягу, а тензорозетка, що складається із трьох тензодатчиків і встановлюються в місцях складного напруженого стану.

Методикою досліджень було передбачено два етапи.

На першому етапі досліджень (статичні дослідження) реєстрація показання тензометрів здійснювалася вимірювальною та реєструючою апаратурою.

На основі аналізу виконаних статистичних досліджень вибиралися навантажені локальні ділянки для другого етапу досліджень.

На другому етапі досліджень (динамічні дослідження) реалізувалися наступні режими навантаження крана:

- поворот і піднімання вантажу;
- підйом вантажу з відривом;
- опускання вантажу з різким гальмуванням;
- поворот вантажу з гальмуванням.

При динамічних дослідженнях реєстрація показання тензорозеток здійснювалася вимірювальною та реєструючою апаратурою.

Для кожного режиму навантаження поворотної частини крана відносно поздовжньої його осі поверталася на наступні кути: 0° 45° 90° 135° -45° -90° .

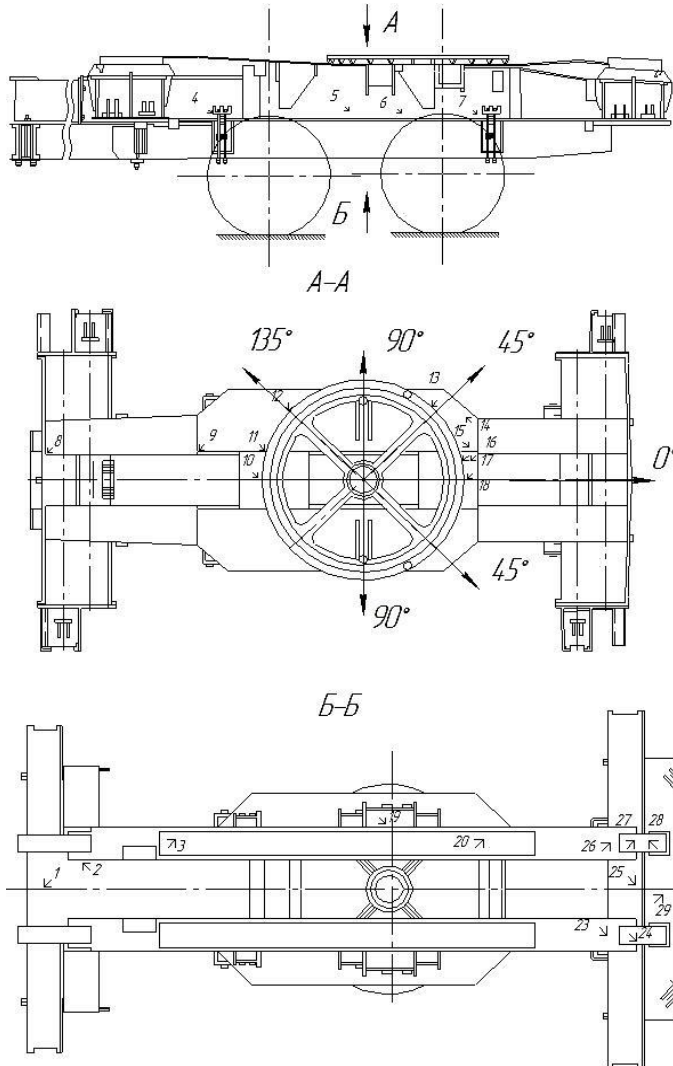


Рисунок 1. Схема розміщення тензодатчиків на ходовій рамі:
1-29 – місця установки тензодатчиків.

Перед початком випробувань кран встановлювався в «нульове положення», відповідне найбільш повного розвантаження металоконструкції ходової рами від вагового навантаження (кран на горизонтальній площадці без виносних опор) стріла «назад», без вантажу, виліт відповідає мінімальному навантаженню на раму, в «нульовому положенні».

Величина вильоту при «нульовому положенні» визначалася таким чином: кран встановлювався на горизонтальній площадці без виносних опор, стріла «назад», без вантажу. Переміщуючи стрілу в зоні $\pm 90^\circ$ і змінюючи виліт, знаходили значення вильоту, при якому показання квадрата при повороті платформи на 180° практично не змінювався.

Результати експериментальних досліджень напруженого стану від ваги робочого обладнання представлені в таблиці 1.

Таблиця 1.
Напружений стан ходової рами від ваги робочого обладнання

Номер розетки	Кути розміщення стрілового обладнання відносно поздовжньої осі крана																								
	-90°								-45°								0°								
	σ_1	σ_2	α	σ_{np}	τ_{max}	σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ_1	σ_2	α	σ_{np}	τ_{max}	σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ_1	σ_2	α	σ_{np}	τ_{max}	σ_x	σ_y	τ_{xy}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	94	50	31	81	22	62	32	19	47	29	22	41	9	32	43	6	13	9	31	11	2	12	10	2	
2	100	60	-29	87	20	70	91	-17	57	33	-33	50	12	40	50	-11	8	-3	28	10	6	0	6	5	
3	46	-4	40	49	25	17	26	25	21	-9	33	27	15	0	12	14	-2	-13	31	13	6	-10	-5	5	
4	56	17	-41	50	19	34	39	-19	21	9	-41	19	6	14	16	-6	13	-5	-40	16	9	3	6	-9	
5	56	23	-43	49	17	39	41	-17	25	4	30	23	10	9	20	9	5	1	-39	5	2	3	4	-2	
6	30	18	17	26	6	19	29	4	21	1	-19	21	10	3	19	-6	18	-7	-13	22	12	-6	17	-6	
8	-8	-19	31	16	5	-16	-11	5	-13	-20	35	18	2	-19	-17	2	-10	-15	35	13	2	-13	12	2	



9	-5	-22	38	20	8	-15	-11	8	-9	-16	-38	-14	3	-13	-12	-3	-13	-17	0	16	2	-17	-13	0
11	0	-37	-37	37	18	-24	-13	-18	0	-11	45	11	6	0	-11	0	-5	-9	-22	8	2	-8	-5	-2
12	16	-6	24	20	11	-3	12	8	9	-9	35	16	9	-3	3	9	-6	-8	-9	8	2	-9	-6	0
13	6	-15	-13	19	11	-14	5	-5	-7	-17	9	15	5	-17	-8	2	-12	-41	-29	36	14	-34	-19	-12
14	-24	-49	-26	42	12	-44	-29	-10	-30	-63	-19	54	16	-59	-34	-10	-44	-72	2	63	14	-22	-44	1
15	25	-127	35	249	144	-29	62	136	94	-102	31	170	98	-50	42	87	-32	-81	16	70	24	-77	-36	15

Продовження таблиці 1.

Номер розетки	45°								90°								135°							
	σ_1	σ_2	α	σ_{np}	τ_{max}	σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ_1	σ_2	α	σ_{np}	τ_{max}	σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ_1	σ_2	α	σ_{np}	τ_{max}	σ_x	σ_y	τ_{xy}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	28	-21	-36	29	15	9	27	-15	56	-9	-33	61	32	11	36	61	33	-110	36	120	21	-22	-55	69
2	-1	-26	-1	26	13	26	1	-1	4	-51	-9	49	-23	-41	-5	-8	-2	-46	31	52	22	-45	-3	-8
3	-1	-5	13	4	2	-4	-1	1	-1	-3	-9	3	1	-3	-1	0	-8	-11	-22	10	7	-10	-9	-1
4	29	-27	-48	49	28	-2	3	-48	18	72	-43	83	48	-2	3	-48	66	-67	-44	115	61	-1	0	-67
5	20	-7	32	24	14	0	12	12	42	15	28	51	28	-2	29	24	55	-18	29	59	35	0	37	31
6	27	-8	4	32	17	-8	27	2	37	6	7	40	21	-5	37	5	33	-9	5	39	22	-10	32	4
8	-8	-24	39	22	8	-18	15	6	-7	-31	41	31	13	-22	-19	13	-16	-46	42	36	15	-26	-23	5
9	-16	-37	-10	32	10	-37	-17	-4	-22	-66	-7	58	22	-65	-23	-6	-25	-56	-7	76	28	-85	-30	-7
11	-12	-22	-2	19	5	-22	-12	0	-33	50	13	43	14	-48	-25	7	-33	-72	-5	62	16	72	-39	-3
12	-10	-34	31	30	12	-27	-16	10	-20	-71	34	64	25	-55	-37	24	16	-73	33	52	28	-56	-33	26
13	1	-58	-22	58	30	-49	-7	-21	-11	-61	-23	59	26	55	-20	-19	-10	-8	-17	39	16	-39	-13	-9
14	-47	-85	28	73	19	-76	-56	16	-29	-62	32	52	15	-51	-38	14	-38	-43	34	39	5	-40	-36	5
15	-73	-104	9	92	15	-103	-74	5	-80	-93	10	87	7	-93	-80	2	-51	-74	32	66	12	-67	-57	11

Аналіз отриманих значень показав, що максимальні напруження в рамі відповідають довжині стріли $L_{стр} = 21,7$ м, виліт стріли 18,4 м.

Варто відмітити, що наведені значення напруженого стану ходової рами безпосередньо в зоні ОПП і за довжиною поздовжньої балки, при цьому найбільші напруження мають місце в локальних точках, де розташовані тензорозетки 2 та 15. Максимальні головні напруження (σ_1 , σ_2) отримані при перпендикулярному положенні стрілового обладнання щодо поздовжньої осі крана $\pm 90^\circ$ і коливаються в межах від -127 МПа в області стиснення, до 170 МПа в області розтягування (тензорозетка 15). Найбільше наведене за четвертою теорією міцності напруження становить $\sigma_{гр} = 249$ МПа (тензорозетка 15), а максимальне дотичне напруження має величину $\tau_{max} = 144$ МПа (тензорозетка 15).

Аналіз навантаження ходової рами показує, що напружений стан її зменшується при кутах положення робочого обладнання рівним 0° , $\pm 45^\circ$, 135° .

Найменші значення навантаження рами мають місце при розташуванні стріли в положенні 0° і коливаються в межах від -81 МПа, тензорозетка до 48 МПа. Порівнюючи напружений стан в зоні ОПП і за довжиною поздовжньої балки, необхідно відзначити, що при всіх кутах положення робочого обладнання щодо поздовжньої осі крана, напружений стан в зоні ОПП найбільшим. Аналіз зміни кута нахилу головних напружень показує, що ходова рама в зоні установки опорно-поворотного круга має плоский напружений стан, і кут нахилу головних напружень коливається в межах від -45° ; до $+45^\circ$.

Таким чином напружений стан ходової рами від дії власної ваги коливається в межах від -127 МПа в зоні стиску до 170 МПа в зоні розтягу і при всіх кутах положення робочого обладнання відносно осі повздовжньої осі крана НДС рами найбільшим є в зоні ОПП. При цьому найбільшу навантаженість металокопункція ходової рами відчуває за положення стріли $\varphi = \pm 90^\circ$, а навантаження на передній міст автомобіля коливається в межах 16...20% від всього навантаження на опорний контур крана.

Аналіз напруженого стану ходової рами при характерних режимах навантаження показує, що максимальні напруження в рамі отримані при довжині стріли 9,7 м, вильоті стріли 3,8 м і масою вантажу, що піднімається 16 т. Вантажний момент дорівнює 608 кН·м. Напруження в ходовій рамі при даному вантажному моменті представлені в таблиці 2.

Розмірності напружень в таблиці дані в МПа, а кут нахилу головних напруження (α) в градусах. За результатами цих даних побудовані графіки, які засвідчують складний характер і величину зміни параметрів.

Таблиця 2.

Визначення напруженого стану при характерних режимах навантаження

Номер розетки	Кути розміщення стрілового обладнання відносно повздовжньої осі крана																							
	-90°								-45°								0°							
	σ_1	σ_2	α	σ_{np}	τ_{max}	σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ_1	σ_2	α	σ_{np}	τ_{max}	σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ_1	σ_2	α	σ_{np}	τ_{max}	σ_x	σ_y	τ_{xy}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	55	-36	28	80	46	-13	34	39	-4	-29	34	27	13	-21	-12	12	-9	-17	9	15	4	-9	-12	1
2	95	16	-27	88	39	32	79	-32	8	-25	-35	30	17	-14	-3	-16	-10	-26	36	23	8	-20	-15	8
3	-25	-45	-40	41	12	-38	-34	-11	-27	-28	45	27	1	-27	-28	0	-13	-18	-35	16	2	-16	14	-2
4	39	-70	-41	95	54	-27	-9	-59	-5	-42	44	40	19	-24	-29	19	-13	20	-13	18	4	-20	-13	2
5	39	-58	45	93	53	-16	-13	53	-7	-46	30	43	20	-37	-17	17	-13	-24	10	21	5	-24	-13	2
6	-1	-36	35	17	18	-24	-12	17	13	-59	-41	66	36	-27	-18	-36	26	-38	30	56	32	-22	10	28
8	-29	56	33	49	14	-48	-37	13	-49	-58	34	54	4	-55	-52	4	-10	-16	41	14	3	-13	13	3
9	-24	57	-41	49	16	-42	-38	-16	-39	-54	25	49	8	-51	-42	6	-9	-14	29	12	2	-13	-10	2
10	-97	-376	-24	338	139	-329	-144	-104	-96	-207	-20	179	55	-193	-110	-37	-63	-64	22	64	1	-64	63	0
11	17	-53	40	64	35	-24	-12	-35	-3	-17	36	16	7	-12	-8	7	-4	-11	27	10	3	-10	-6	3
12	39	-13	19	48	26	-8	34	16	16	-23	31	35	20	-12	6	18	2	-13	-42	15	8	-6	-5	-8
13	24	-21	-10	39	23	-20	23	-8	-8	-32	6	28	12	-31	-8	3	-16	-76	-32	69	30	-59	-33	-27
14	-1	-88	-27	87	43	-70	-19	-35	-22	-104	-20	95	41	-99	-32	-27	9	-68	-43	72	38	31	-27	39

Продовження таблиця 2.

Номер розетки	45°								90°								135°							
	σ_1	σ_2	α	σ_{np}	τ_{max}	σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ_1	σ_2	α	σ_{np}	τ_{max}	σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ_1	σ_2	α	σ_{np}	τ_{max}	σ_x	σ_y	τ_{xy}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	18	-21	-36	24	24	-15	-24	-31	-31	5	35	27	51	5	35	-37	-103	-32	21	102	16	5	25	44
2	-21	-62	-5	52	16	-59	-21	-5	-100	31	-15	75	47	-27	-39	-21	-6	-43	25	90	22	14	27	54
3	13	-22	22	19	1	-20	-12	-14	-22	-34	43	115	41	-30	10	-19	-21	-25	33	125	13	24	-21	45
4	10	-13	-38	53	31	25	-10	-31	64	-23	-43	135	38	-20	-21	88	78	-45	-35	183	32	-21	20	-93



5	-1	33	21	36	23	-22	-5	19	51	-62	27	105	39	-37	38	40	85	-62	27	178	74	-34	54	67
6	72	25	-43	63	23	41	50	-23	51	-39	6	14	92	-32	30	10	55	-34	3	77	44	-37	94	71
8	-17	-45	42	35	14	-32	-30	14	-39	-91	41	79	26	-65	61	33	39	-58	43	80	28	-67	53	24
9	-32	-67	-13	33	14	-54	-31	-6	-77	-104	-10	172	43	-101	-71	-15	-34	-134	-40	100	169	54	-87	-20
10	33	-69	-27	90	31	-48	18	-41	-138	77	-27	256	143	-18	149	-116	238	-73	-27	238	156	-9	-17	-26
11	21	-42	20	36	7	41	-31	5	64	107	1	93	22	-107	-64	1	-85	-156	-21	127	30	-26	85	30
12	-28	-66	32	59	20	-97	-39	18	61	-103	35	142	51	72	-26	48	-56	172	34	157	32	-34	55	53
13	-24	134	-22	129	55	-118	-40	-39	-34	-141	-22	128	53	-135	-60	39	-21	-104	37	57	42	-96	37	27
14	-87	-105	18	133	34	-148	-99	21	-87	-139	14	121	26	-131	-91	12	-75	100	33	40	32	99	26	14

Найбільші напруження отримані в локальних точках, де розташовані тензорозетки: 10; 15; 17; 26; 29. Максимальні головні напруження (σ_1, σ_2) мають місце, також як і від ваги робочого обладнання, при перпендикулярному положенні стрілового обладнання щодо поздовжньої осі крана $\varphi = \pm 90^\circ$ і коливаються в межах від -376 МПа до 237 МПа. Найбільше приведені напруження дорівнює $\sigma_{пр} = 338$ МПа.

Максимальне дотичне напруження має величину $\tau_{max} = 156$ МПа. Аналіз величин зміни кута нахилу і відношення головних напружень показує, що напружений стан ходової рами в зоні установки ОПП є двовісним. Від дії вантажного моменту в залежності від кута повороту стріли відбувається перерозподіл напруження.

Напружений стан на передній поперечній балці рами, де розташована тензорозетка 2, по величині майже не змінився у порівнянні з навантаженнями даної тензорозетки від ваги робочого обладнання.

Висновки:

1. Напружений стан ходової рами коливається в межах від -127 МПа в області стиснення, до 160 МПа в області розтягування;
2. При всіх кутах положення робочого обладнання щодо поздовжньої осі крана, напружений стан ходової рами в зоні опорно-поворотного пристрою є найбільшим і найбільше навантаження металоконструкції ходової рами зафіксовано при положенні стріли $\varphi = \pm 90^\circ$.
3. Найбільше напруження в ходовій рамі від ваги робочого обладнання та від дії вантажного моменту при статичних і динамічних дослідженнях зафіксоване у зоні спірання опорно-поворотного круга на раму і сягає величини 338 МПа.

Література

1. Андриенко Н. Н., Хасилев П. В. Пути оптимизации проектирования опорных металлоконструкций самоходных кранов // Строительные и дорожные машины, 1986. № 2. С. 24.
2. Андриенко Н. Н., Хасилев П. В., Сергеев С. Т. Нагрузки на четырехопорный контур крана и влияние на них податливости рамы // Строительные и дорожные машины, 1989. № 11. С. 22 – 23.
3. Казанский А. М. Особенности установки и соединения опорно-поворотных кругов с рамами строительных машин. – Сб. «Строительные и дорожные машины». Вып. 4. М., ЦНИИТЭстроймаш, 1971. С. 9 – 15.
4. Kunststoffunterfütterung für Grobwalzlager. Rothe Erde Grobwalzlager, Information Technic, 1971, N 2.
5. Bargmann E. Einrichtung bei einer zweireihigen, zur Aufnahme von Kippkräften bestimmten Kugeldrehverbindung für Bagger und Krane. Патент ФРГ №1708558, 1968.
6. Бельский Д. М., Ряднов В. Г. О законе распределения предельных напряжений // Проблемы прочности, 1974. № 4. С. 73 – 76.
7. Казак С. А. Расчет усталостного ресурса крановых деталей на стадии проектирования // Изв. Вузов. Горный журнал. 1992, № 12. С. 83 – 89.
8. Ряхин В. А. Прогнозирование ресурса металлических конструкций строительных и дорожных машин // Строительные и дорожные машины. 1994. № 4. С. 24 – 27.