

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«Харківський політехнічний інститут»

О. В. Григоров, Г. О. Аніщенко, Н. О. Петренко

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ ПІДЙОМНО-
ТРАНСПОРТНИХ, БУДІВЕЛЬНИХ, ДОРОЖНИХ,
МЕЛІОРАТИВНИХ МАШИН**

*Навчальний посібник для студентів вищих навчальних
закладів*

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки,
молоді та спорту України

Харків НТУ «ХПІ» 2011

УДК 621.86(079) ББК 30.4я7 Г83

Рецензенти:

С. С. Венцель, д-р техн. наук, професор, Харківський
національний автомобільно-дорожній університет,

А. П. Нестеров, д-р техн. наук, професор, Українська
інженерно-педагогічна академія,

С. В. Ракша, д-р техн. наук, професор, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. А. Лазаряна

*Гриф надано Міністерством
освіти і науки, молоді
та спорту України,
лист № 1/11-5161 від 23.06.2011*

Григоров О. В. та ін.

Г83 Металеві конструкції підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх, меліоративних машин : навч. посіб. / О. В. Григоров, Г. О. Аніщенко. Н. О. Петренко. - Харків : НТУ «ХП», 2011. - 516 с.

ISBN 978-966-593-932-0

Викладено теоретичні відомості, що стосуються розрахункових навантажень на металеві конструкції, матеріалів металевих конструкцій, методик розрахунку металевих конструкцій. Розглянуто сортамент, балки, а також питання безпеки і ризиків експлуатації металевих конструкцій.

Призначено для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності 7.090.214 "Підйомно-транспортні, будівельні,

дорожні машини та обладнання", а також для аспірантів та інженерів.

Лл. 313. Табл. 57. Бібліогр.: 238 назв.

ББК 30.4я7 УДК 621.86(079)

ISBN 978-966-593-932-0

О. В. Григоров, Г. О. Аніщенко,

Н. О. Петренко, 2011 © НТУ «ХПІ», 2011

ЗМІСТ

Вступ	3
Розділ I. Історичний огляд розвитку та удосконалення металевих конструкцій	
1.1. Від дерева до металу.....	6
1.2. Сучасні підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини	14
1.3. Видатні вчені світового та вітчизняного рівня в галузі опору матеріалів і металоконструкція	34
Контрольні питання	39
Список літератури до розділу 1	39
Розділ 2. Розрахункові навантаження на металеві конструкції	41

2.1.	Класифікація навантажень Розрахункові випадки навантажень. Нормування режимів роботи.....	41
2.2.	Навантаження від власної ваги і крана	46
2.3.	Навантаження від ваги вантажу	47
2.4.	Інерційні навантаження	49
2.4.1.	<i>Вертикальні динамічні навантаження</i>	<i>49</i>
2.4.2.	<i>Навантаження, що зростає за лінійним законом</i>	<i>50</i>
2.4.3.	<i>Вертикальне навантаження, прикладене миттєво, але короткочасно</i>	<i>55</i>
2.4.4.	<i>Частота вільних коливань конструкцій</i>	<i>56</i>
2.4.5.	<i>Згасання коливань конструкцій</i>	<i>57</i>
2.4.6.	<i>Горизонтальні інерційні навантаження</i>	<i>60</i>
2.5.	Вітрові навантаження.....	66
2.6.	Розрахунок на вітрові навантаження, температурні впливи, сніг, ожеледицю.	70
2.7.	Навантаження перекоосу крана	75
2.8.	Сейсмічні навантаження	75
2.9.	Транспортні і монтажні навантаження.....	77
2.10.	Технологічні навантаження, навантаження галерей, майданчиків і сходів	78
2.11.	Навантаження та напруження матеріалів	78
2.11.1.	<i>Основні випадки навантаження.....</i>	<i>79</i>
2.11.2.	<i>Поверхневі напруження від силового</i>	

<i>навантаження</i>	81
2.11.3. <i>Навантаження від внутрішніх напружень ...</i>	81
2.12. Циклічні навантаження.....	83
Контрольні питання.....	88
Список літератури до розділу 2.....	89
Розділ 3. Матеріали металевих конструкцій та їх властивості	90
3.1. Технологія виробництва сталі.....	90
3.2. Вплив структури матеріал), технології та навколишнього середовища на міцність і пластичність	101
3.2.1. <i>Вплив технології виплавки</i>	102
3.2.2. <i>Вплив технології виготовлення</i>	104
3.2.3. <i>Вплив особливостей поверхні</i>	105
3.2.4. <i>Вплив навколишнього середовища</i>	108
3.2.5. <i>Наклеп</i>	III
3.2.6. <i>Дислокація</i>	III
3.2.7. <i>Дисперсійне зміцнення (старіння і коагуляція)</i>	112
3.3. Фактор старіння металоконструкції вантажопідійомних кранів при оцінці їх довговічності	116
3.4. Сталі для вантажопідійомних, будівельних, дорожніх і меліоративних машин.....	120
3.5. Механічні властивості металів.....	125
3.5.1. <i>Характеристики матеріалу для конструкцій</i>	131
3.5.1.1. <i>Статичні навантаження</i>	132
3.5.1.2. <i>Колівальні (вібраційні) навантаження</i>	133

3.5. 1. 3. Циклічне навантаження шляхом силового замикання.....	134
3.5.1.4. Циклічне навантаження шляхом кінематичного замикання.....	140
3.5.1.5. Пластичність і параметри в'язкого руйнування	142
3.6. Причини виходу елементів та деталей металоконструкцій з ладу	145
3.6.1. Відмови елементів унаслідок механічних навантажень. Стале навантаження. Концепція номінальних напружень.....	145
3.6.2. Концепція механіки руйнування. Деякі положення механіки руйнування. Напруження у вершині тріщини	147
3.6.2.1. Крихке руйнування	150
3.6.2.2. Енергетичний критерій	152
3.6.2.3. Силовий критерій.....	155
3.6.2.4. Експериментальне визначення крихкості матеріалу.....	157
3.6 2.5. Лінійно-пружна механіка руйнування.....	162
3.6.2.6. Пружно-пластична механіка руйнування (механіка в'язкого руйнування).....	168
3.6.2.7. KPT-критерій (COD).....	169
3.6.2.8. ./-інтеграл.....	172
3.6.2.9. Пластична концепція граничного навантаження.....	178
3.6.2.10. Метод двох критеріїв.....	178

3.6.3.	<i>Аналіз механіки руйнування</i>	180
3.6.4.	<i>Гіпотези міцності</i>	182
3.6.5.	<i>Підмови при комплексних навантаженнях</i>	185
3.6.6.	<i>Процеси корозії</i>	189
3.6.6.1.	<i>Механізми корозії</i>	190
3.6.6.2.	<i>Прояви корозії</i>	192
3.6.6.3.	<i>Накладення корозії її механічного навантаження</i>	194
3.6.6.4.	<i>Корозійне розтріскування</i>	194
3.6.6.5.	<i>Вібраційне корозійне розтріскування</i>	196
3.6.6.6.	<i>Корозійний знос</i>	198
3.6.6.7.	<i>Фрикційна корозія (вібраційний знос)</i>	198
3.6.6.8.	<i>Ерозійна корозія</i>	199
3.6.6.9.	<i>Кавітаційна корозія Кавітаційне руйнування</i>	199
3.6.7.	<i>Захист від корозії</i>	200
3.6.7.1.	<i>Чистота матеріалів</i>	201
3.6.7.2.	<i>Технічні легуючі заходи</i>	201
3.6.7.3.	<i>Захист від корозії за допомогою нанесення металевих покриттів</i>	202
3.6.7.4.	<i>Катодний захист</i>	202
3.6.7.5.	<i>Корозійний захист за допомогою інгібітори</i> ...	203
3.6.7.6.	<i>Конструкційний захист від корозії</i>	203
3.6.7.7.	<i>Технологічний захист від корозії</i>	204
3.6.8.	<i>Перевірка на корозійну надійність</i>	205

3. 6. 9. Трибологія.....	206
3.6.9.1. Тертя.....	207
3.6.9.2. Стани тертя змащеної маслом пари ковзання	209
3.6.9.3. Пружногідродинамічне змащення	210
3.6.9.4. Процеси зносу.....	214
3.6.9.5. Аналіз систем зносу та процесів тертя	217
3.6.9.6. Функція трибосистеми	217
3.6.9.7. Сукупність навантаження	217
3.6.9.8. Структура трибологічної системи	218
3.6.9.9. Трибологічні параметри	219
3.6.9.10. Специфікація для обліку найважливіших трибологічнозначущих величин	220
3.6.9.11. Змащувальні речовини.....	222
3.6.9.12. Змащувальні масла.....	222
3.6.9.13. Консистентні масла.....	228
3.6.9.14. Тверді змащувальні речовини	229
3.7. Міцність і конструктивне виконання.....	230
3. 7. 1. Вплив конструктивного виконання на статичні властивості міцності	231
3. 7. 2 Вплив конструктивного виготовлення на властивості вібраційної міцності. Вплив надрізу	235
3. 7.3. Несуча здатність конструктивних елементів	239
3.7.3.1. Статичне навантаження	239
3.7.3.2. Несуча здатність конструктивного елемента, який зазнає одноступеневого знакомінного навантаження	241

3.7.3.3. Несуча здатність конструктивного елемента, який зазнає впливу випадкового навантаження. (Експлуатаційна втомна міцність)	242
3.7.3.4. Розрахунковий метод прогнозу довговічності конструктивних елементів.....	245
3.7.3.5. Локальна концепція.....	246
3. 7.3.6. Експериментальне визначення довговічності	249
3. 7.4. Несуча здатність конструктивних елементів під дією циклічного навантаження та утомної повзучості	250
3.7.4.1. Циклічне навантаження	250
3.7.4.2. Навантаження, що змінюється в часі.....	252
3.7.5.Рекомендовані (орієнтовні) параметри надійності	253
3.8 Механічна пам'ять матеріалів	257
3.8.1. Ефект запам'ятовування форми.....	257
3.8.2. Діаграма «напруження деформація» для металів з пам'яттю....	259
3.8.3. Ознаки надпружності	262
3.8.4. Силовий прояв пам'яті.....	266
3.8.5. Приклади застосування ефекту пам'яті	267
3.9. Повзучість, релаксація, захист металевих конструкцій від температурного впливу	275
3.9.1. Вплив температури на механічні властивості матеріалів.....	276

3.9.2. Експериментальні дослідження механічних властивостей конструкційних сталей в умовах високих температур	277
3.9.3 Повзучість та релаксація напружень	279
3.9-І. Експериментальне дослідження короткочасності повзучості сталі.	286
3.9.4.1. Повзучість сталі при різних режимах нагрівання	286
3.9.4.2. Експериментальні дослідження несучої здатності стиснених сталевих елементів при впливі високих температур	287
3.9.4.3. Розрахунок температури сталевих конструкції захищених ефективними матеріалами.....	293
3.9.5. Фізичний механізм повзучості й сутність її основних теорій.....	295
3.9.6 Тривала міцність.....	299
Контрольні питання	305
Список літератури до розділу 3	306
Розділ 4. Методики розрахунку металевих конструкцій	314
4.1. Система розрахунків за допустимим напруженням	314
4.2. Система імовірнісних розрахунків	317
4.3. Система розрахунків за граничним (пороговом) станом	319
4.4 Утомні характеристики елементів конструкцій	322

4.4.1.	Методика визначення утомних характеристик	323
44.2.	Систематизація вузлів металоконструкцій за рунами концентрації напружень	324
	Контрольні питання	332
	Список літератури до розділу 4	332
Розділ 5	Сортамент	334
5.1.	Загальні положення	334
5.2.	Кутикові профілі	335
5.3.	Швелери	336
5.4.	Двотаври	337
5.5.	Стать листова	339
5.6.	Труби	339
5.7	Гнуті фасонні профілі	340
5.8.	Профілі з легких сплавів	341
	Контрольні питання	341
	Список літератури до розділу 5	341
Розділ 6	Балки.....	342
6. 1.	Конструкція та розрахунок балок.....	342
6.2.	Стійкість балок. Перевірка загальної стійкості балок	358
6.3.	Місцева стійкість елементів балок.....	367
6 4.	Перспективи розвитку металоконструкцій	374
	Контрольні питання	378
	Список літератури до розділу 6	379

Розділ 7	Безпека і ризики експлуатації металевих конструкцій.....	381
7.1.	Сучасний стан парку підйомно-транспортних машин України Аварії, дефекти металевих конструкцій. Заходи поліпшення роботи металевих конструкцій.....	381
7.1.1.	<i>Сучасний стан парку підйомно-транспортних машин України Аварії.....</i>	381
7.1.2.	<i>Дефекти металевих конструкцій</i>	387
7.1.3.	<i>Заходи поліпшення роботи металевих конструкцій</i>	391
7.1.3.1.	<i>Конструктивні методи забезпечення опору утомі</i>	390
7.1.3.2.	<i>Технологічні методи забезпечення опору утомі</i>	401
7.2.	Діагностика металевих конструкцій	403
7.3.	Методи зниження залишкових напружень у металоконструкціях	435
7.3.1.	<i>Відпуск аргонодугова обробка</i>	439
7.3.1.1.	<i>Відпуск.....</i>	439
7.3.1.2.	<i>Аргонодугова обробка.....</i>	443
7.3.2.	<i>Поверхнєве пластичне деформування.....</i>	445
7.3.2.1.	<i>Проковування тарних з'єднань байковим інструментом</i>	445
7.3.2.2.	<i>Дробоструменний наклеп</i>	447
7.3.2.3.	<i>Ультразвукова обробка</i>	448
7.3.3.	<i>Вібраційна обробка</i>	449
7.4.	Ризики, страхування ризиків	453

7.4.1. Витки.....	453
7.4.2. Ідентифікація небезпек, значення допустимих ризиків	456
7.4.3. Суть, види та об'єкти страхування технічних ризиків	460
7.4.3.1. Страхування технічних ризиків	460
7.4.3.2. Страхування будівельного підприємця від усіх ризиків	462
7.5. Оцінка залишкового ресурсу крана з урахуванням фактора ризику.....	465
7.5.1. Якісна оцінка безпеки підйомних споруд і рівень ризику	465
7.5.2. Оцінка залишкового ресурсу металоконструкції за умови опору утомі розрахункових зон	468
7.5.2.1. Вибір розрахункової зони.....	468
7.5.2.2. Вихідні дані для оцінки залишкового ресурсу. ...	470
7.5.2.3. Основи методики оцінки залишкового ресурсу.	472
7.5.2.4. Розрахунок залишкового ресурсу за схемою А .	475
7.5.2.5. Розрахунок залишкового ресурсу за схемою В .	476
7.5.3. Прогнозування ресурсу металоконструкції на базі аналітичних залежностей, які відображають фізику руйнування металу.....	478
7.5.4. Розрахунок залишкового ресурсу з урахуванням коефіцієнтів інтенсивності напружень - Д. Р. Ірвіна (G. R. Irwin) і критерію розкриття тріщин δ (COD критерій. KPT-	

<i>критерій) В. В. Панасюка - М. Я Леонова - Д. С Дагдейла (D. S. Dugdale) - А. А. Уелса (A. A. Wells)</i>	488
Контрольні питання	501
Список літератури до розділу 7	502
Висновки	509
Зміст	511