

УДК 621.874

Мартовицький Л.М., к.т.н.; Глушко В.І., к.т.н.;
Сочава А.І., к.т.н.; Клименко Г.В., ст. викладач;
Луговський С.А., магістр.

Запорізький національний технічний університет

ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ ПІДЙОМУ КРАНІВ ГРАНИЧНОЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ

***Аннотація.** Рассмотрены конструктивные схемы механизмов подъема кранов предельной грузоподъемности. Предложены методические рекомендации проектирования механизмов подъема сверхтяжелых кранов путем разбития механизма суммарной грузоподъемности на более мелкие подъемные модули.*

***Анотація.** Розглянуті конструктивні схеми механізмів підйому кранів граничної вантажопідйомності. Пропоновані методичні рекомендації проектування механізмів підйому надважких кранів шляхом роздібнення механізму сумарної вантажопідйомності на дрібніші підймальні модулі.*

***Abstract.** Considered design schemes arrangements lifting cranes marginal capacity. The proposed design guidelines super heavy lift cranes mechanism by crushing mechanism of total lifting capacity into smaller modules.*









Сучасному масштабному будівництву мостів, кораблів, бурових веж, морських платформ, атомних та вітрових електростанцій, яке в основному здійснюється за принципом крупномодульності, необхідні вантажопідйомні крани для піднімання величезних одиничних мас бетону та сталі. Такі роботи складні та небезпечні на суші, а на будмайданчику посеред океану піднімати та переміщувати величезні деталі та вузли вкрай складно. Тому, існує світова тенденція до зростання вантажопідйомності спеціальних кранів до рекордних величин і не існує причин до обмеження цього росту. Навпаки, риночний запит на крани з граничною вантажопідйомністю зростає, що свідчить про закінчення світової економічної депресії.

В зв'язку із ростом вантажопідйомності змінюється функціональне призначення механізмів крана. Головне значення набуває в таких кранах механізм підйому, всі інші механізми набувають статусу допоміжних механізмів для установчо-переміщувальних рухів, або вони зовсім відсутні.

До табл. 1 зведені крани з найбільшою в світі вантажопідйомністю. Призначення цих кранів – крупноблочне будівництво і монтаж унікальних машин, а також складні рятувально-підймальні операції.

На базі зібраних кранів проведено дослідження конструктивних особливостей механізмів підйому кранів з найбільшою вантажопідйомністю.

Таблиця 1 – Характеристики кранів з найбільшою вантажопідйомністю

Назва крана	Вантажопідйомність, т	Кількість перетинів каната	Навантаження на гілку каната, кН	Кількість приводів
TerexAC1000 	1200	28	430	2
LiebherrLR13000 	3000	60	500	2
XCMGXGC88000 	3600	80	450	4
Yoshida 	3700	96	385	8
Svanen 	8700	4x36	600	8
SSCV Thialf 	2x7100	2x94	750	8
Taisun 	12x2000	12x40	500	12
Bigge 	7500	4x36	520	8

Сучасна вища школа та діючий інженерний корпус проектних установ та кранобудівних заводів користуються добре відпрацьованою методикою та нормативними рекомендаціями проектування механізмів підйому. Існуючий напрацьований матеріал не може бути використаним в повному обсязі та в існуючому виді для проектування механізмів підйому кранів із граничною вантажопідйомністю. Всі сучасні методики проектування механізмів підйому базуються на правильному та обґрунтованому виборі стандартних, нормалізованих комплектуючих: двигунів, гальм, редукторів, канатів, гаків, підвісок, барабанів, муфт. Оригінальним залишається проектування металоконструкції та компоновки крана. При проектуванні механізмів підйому надважких кранів не можна вибрати вказані комплектуючі із стандартних, так як їх з необхідними технічними характеристиками просто не існує. Всі частини приводу підйому такого крана треба проектувати та виготовляти фактично заново, так як кожний об'єкт є унікальним, від гака до барабана.

Можна було б вибрати деякі елементи із суміжних галузей, наприклад, електродвигуни великої потужності використовуються в шахтних підійомниках. Але невідповідність технічних особливостей різногалузевих приводів, редукторів та складність пристосування їх під специфіку роботи кранових підійомних механізмів зводить на нівець вказаний ресурс постачання комплектуючих для кранів граничної вантажопідйомності.

Закономірне, обумовлене складністю вирішуваних задач, підвищення вантажопідйомності кранів призводить до також закономірного збільшення кратності поліспаств, що, в свою чергу, породжує вимагаючі рішення технічні проблеми. Виясняється, що кратність поліспаства має межу, визначаємою величиною ККД поліспаства, яка, в свою чергу, визначається величиною ККД одного блоку, зведену в ступінь, що дорівнює загальній кількості огинаємих канатом блоків. Відомо, що в канатних поліспаствах втрачається енергія підйому вантажу. Втрати в поліспастві визначаються його ККД, який можна вирахувати за допомогою відомої формули

$$\eta_n = \frac{1 + \eta + \eta^2 + \eta^3 + \dots + \eta^{a_n - 1}}{a_n},$$

де $\eta = 0,98$ - ККД одного канатного блока;

a_n - кратність поліспаства.

Ряд, що знаходиться в чисельнику залежності,

$$A = 1 + \eta + \eta^2 + \eta^3 + \dots + \eta^{a_n - 1}$$

є безкінечно-спадною геометричною прогресією із знаменником η , першим членом $e_0 = 1$ та кожним наступним членом $e_i = \eta^{i-1}$. Сума членів такої прогресії дорівнює $\sum_{i=1}^{a_n} e_i = \frac{1-\eta^{a_n}}{1-\eta}$.

Тоді, коефіцієнт корисної дії поліспасти можна представити в наступному вигляді

$$\eta_n = \frac{1-\eta^{a_n}}{a_n(1-\eta)}$$

Межа залежності ККД від величини кратності поліспасти, враховуючи, що $\lim_{a_n \rightarrow \infty} \eta^{a_n} \rightarrow 0$, має наступний вигляд

$$\lim_{a_n \rightarrow \infty} \eta_n = \lim_{a_n \rightarrow \infty} \frac{1-\eta^{a_n}}{a_n(1-\eta)} \rightarrow 0.$$

З графіка залежності ККД від кратності поліспасти (рис.1) видно, що ККД поліспасти із збільшенням кратності швидко зменшується і прагне до нуля. Як показує залежність та конструктивне виконання існуючих надважких кранів, оптимальною кратністю поліспасти в механізмах підйому великої одиничної маси є $a_n \leq 40$.

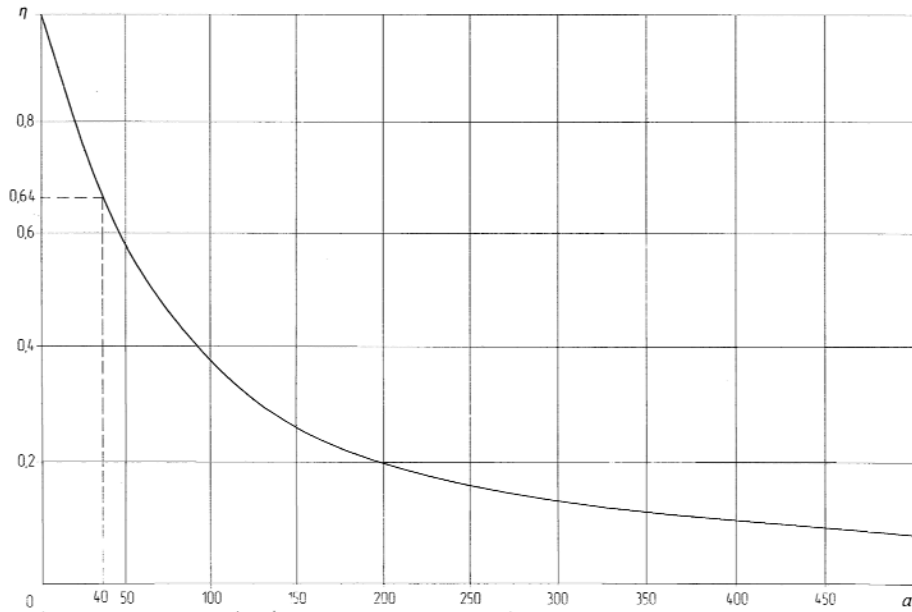


Рисунок 1 – Залежність ККД поліспасти від його кратності

Крім катастрофічної втрати енергії підйому в поліспадах з великою кратністю виникає проблема з вибором мінімальної ваги гакової підвіски, яка б задовольняла можливість опускання порожньої підвіски. Величини діаметрів блоків та вага підвіски залежать від жорсткості і діаметра канатів. Тобто, закритичне значення кратності поліспада $a_n > 40$ практично повністю «з`їдає» всю вагу порожньої підвіски при її опусканні.

Аналіз надважких кранів показав, що можливим принципом створення підйомних механізмів є розгалуження сумарних потужностей, тобто, коли головний підйомний механізм розділяється на декілька самостійних менших підйомних груп, або коли сумарний підйом складається із 2...4 кранів, наприклад, стрілових, які можуть працювати самостійно або разом. Характерним прикладом такої структури механізму підйому є механізм у найбільшого в світі китайського підйомного крана Taisun, який оснащений 12 підйомними групами вантажопідйомністю по 2000 т кожна. Отже, кран має 12 автономних механізмів загальною вантажопідйомністю 24000 т. Кратність канатів кожної підйомної групи складає $a_n = 40$, що забезпечує тягове зусилля в канаті 500 кН. В більшості таких кранів використовуються стандартні канати, діаметр яких не перевищує $d_k = 52$ мм. Як показує світовий досвід, проблеми приводів підйому кранів спрощується за рахунок використання гідроприводів, що усуває пошук електродвигунів та редукторів надвеликої потужності. На одну підйомну лебідку-модуль досить одного або декількох гідромоторів. Також в цьому випадку, практично, не потрібні муфти, трансмісійні вали, а підйомні канати та блоки стають доступними. Додатково збільшується надійність механізмів підйому за рахунок функції резервування приводу. Проблемною залишається підвіска кожної підйомної групи або траверса для сумарної вантажопідйомності.

На основі досліджень надважких кранів розроблені оптимальні компоновки для механізмів підйому різних вантажопідйомностей, які зведені до табл.2.

Прагнення звести проектування унікальних підйомних механізмів під існуючу методику за рахунок роздрібнення максимальної вантажопідйомності на самостійні – автономні вантажопідйомні механізми - модулі, виготовлені з існуючих нормативних компонентів, після подальших наполегливих досліджень знайде своє завершення в досконалому алгоритмі проектування та виготовлені надважких кранів. Таким модулем з граничною вантажопідйомністю $Q \leq 2000$ т є підйомний механізм, який може бути використаним самостійно та у групі аналогічних механізмів з метою досягнення максимальної сумарної вантажопідйомності. При цьому межовим значенням кратності поліспада слід вважати $a_n \leq 40$.

Таблица 2 – Оптимальна компоновка механізмів підйому

Вантажопідйомність, т	Кількість приводів	Кратність поліспасти	Тягове зусилля в канаті, кН	ККД поліспасти
500	1	10	558	0,896
1000	2	10	558	0,896
2000	4	10	558	0,896
4000	4	20	629	0,795
6000	4	30	704	0,710
8000	4	40	785	0,637
10000	8	30	587	0,710
12000	8	30	704	0,710
14000	8	40	687	0,637
16000	8	40	785	0,637
18000	12	40	589	0,637
20000	12	40	654	0,637

Висновки

1. В процесі проектування механізмів підйому для кранів граничної вантажопідйомності необхідно головний механізм підйому великої вантажопідйомності розбити на декілька підйомальних груп – модулів з рекомендованою меншою вантажопідйомністю та оптимальною компоновкою з нормалізованих комплектуючих.

2. Вантажопідйомність таких модулів не має перевищувати 2000 т, а кратність поліспасти слід вибирати не більше 40 одиниць.

3. Гакові підвіски та траверзи для великих одиничних мас вантажу підлягають оригінальному проектуванню.

ЛІТЕРАТУРА

1. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины. М.: Высшая школа, 1985. – 520 с.
2. Справочник по кранам / Под ред. М.М. Гохберга. – Л.: Машиностроение, Т1, Т2 – 1988.
3. Правила будови та безпечної експлуатації вантажопідйомних кранів. / ДНАОП 0.00-1.03-02/. – Харків: «Форт», 2002.