

USE OF STEP LIFTING MODULES FOR ERECTION OF LARGE-SIZE COATINGS

Ignatenko O.

Candidate of Technical Sciences, doctoral student of the Department of Construction Technology Kyiv National University of Building and Architecture, Kyiv, Ukraine

ВИКОРИСТАННЯ КРОКОВИХ ПІДЙОМНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ ЗВЕДЕННЯ ВЕЛИКОПРОГОНОВИХ ПОКРИТТІВ

Ігнатенко О.О.

кандидат технічних наук, докторант кафедри Будівельних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ, Україна<https://doi.org/10.5281/zenodo.12746293>**Abstract**

The article presents an analysis of the known solution of moving the roofing structure to the design height using the pull-up method. Taking into account the disadvantages and advantages of the analyzed version of the coating lifting, a structural and technological solution for the construction of large-span coatings using step lifting modules has been developed. According to the developed solution, before lifting, the coating bearing crossbars rest on lifting modules, which are located on the foundations between the paired columns. Guide profiles are fixed on inner surfaces of paired columns. During lifting, the supporting crossbars of the coating are pushed out by the lifting modules, which are alternately supported by the lower and upper lifting locks on the guide profiles. The columns of the frame work as guides to control the position of the coating during lifting and as support structures for guide profiles. The lifting operations' workability and timing can be reduced with the developed technology.

Анотація

В статті представлений аналіз відомого рішення переміщення покрівельної конструкції на проектну висоту з використанням методу підтягування. З урахуванням недоліків та переваг аналізованого варіанту підйому покриття розроблене конструктивно-технологічне рішення зведення великопрогонів покриттів з використанням крокових підйомних модулів. Згідно з розробленим рішенням, перед підйомом несучі ригелі покриття спираються на підйомні модулі, які розташовані на фундаментах між спареними колонами. На внутрішніх поверхнях спарених колон закріплені напрямні профілі. В процесі підйому несучі ригелі покриття виштовхуються підйомними модулями, які по чергові спираються нижніми та верхніми фіксаторами підйому на напрямні профілі. Колони каркасу працюють, як направляючі для контролю положення покриття в процесі підйому та, як опорні конструкції для напрямних профілів. Розроблена технологія дозволяє зменшити працездатність та строки підйомних робіт.

Keywords: lifting modules, erection of large-span coatings, structural-technological solution, push-up and pull-up methods.

Ключові слова: підйомні модулі, зведення великопрогонів покриттів, конструктивно-технологічне рішення, методи виштовхування та підтягування.

Вступ

Відомі сучасні приклади будівництва велико-розмірних одноповерхових промислових та цивільних об'єктів передбачають зведення великопрогонів покриттів з використанням кранових та безкранових технологій. Так, на першому етапі методом вільного підйому з використанням самохідних стрілових кранів на фундаментах укріплюють конструкції покриттів, монтують технологічне обладнання та укладають покрівельні прошарки [1, с.9-10]. На другому етапі методами примусового переміщення з використанням підйомників конструктивно-технологічні блоки покриттів переміщують з фундаментів на проектну висоту. Примусове переміщення покриттів виконують методом підтягування за умови розташування підйомників тягучого типу на оголовках колон або методом виштовхування, при якому покриття в процесі підйому спирається на оголовки підрозумувальних стволів підйомників. Підрушення

секцій підйомників виконується за допомогою гідравлічних домкратів, розташованих на фундаментах [2]. Обидва варіанти примусового переміщення покриттів мають спільні ознаки. Це довготривалі зупинки в процесі підйому, пов'язані з подачею та фіксацією в зоні підйому основних та допоміжних конструктивних елементів. Також для відомих рішень безкранового підйому покриттів характерним є висока працездатність та складність монтажних робіт (розташування монтажних площадок на висоті до 38м) [3]. Скорочення строків підйомних робіт та зменшення працездатності монтажних процесів є актуальною задачею для вдосконалення рішень по зведенню великопрогонів покриттів.

Аналіз досліджень і публікацій

Велику увагу вивченню особливостей зведення залізобетонних та металевих покриттів з використанням традиційних кранових і безкранових

технологій приділяли відомі вітчизняні та закордонні вчені. Так, організаційно-технологічні рішення по монтажу крупноблочних промислових будинків і споруд методами вільного підйому описані Федоренко П.П. [4], особливості варіантів зведення покриттів з використанням примусових методів переміщення (підйому) описані в роботах Назаренко В.Ф. [5], Колесник Л.А. [6], Черненко В.К. [7], Тонкачєєв М.Г. [8], Осипов О.В. [9], Рашківський В.П. [8], Черненко К.В. [9], Собко Ю.Т. [10]. Серед закордонних вчених аналіз технологічних особливостей зведення залізобетонних покриттів представлений в роботі Fliger K. [11], технологічні особливості зведення великорозмірних просторових покриттів описані в роботі Rühle H. [12], етапи укрупнення та підйому покриттів з використанням кранових технологій відображені в роботах Yang Y. [13], Ruan R. [14], сучасні варіанти використання методів підтягування та виштовхування детально описані в матеріалах фірм-виробників підйомного обладнання Fagoli Asotech [15], DLT Engineering [16], MAMMOET [17], ENERPAC [18], SARENS GROUP [19]. В наукових працях зазначених авторів та в презентаційних матеріалах фірм-виробників сучасного підйомного обладнання детально описані процеси підйому покриттів, проте відсутній алгоритм оптимізації конструктивно-технологічних рішень зведення покриттів з використанням підйомних модулів.

Мета досліджень

З урахуванням недоліків та переваг відомого варіанту підйому покриття методом підтягування необхідно розробити конструктивно-технологічне

рішення зведення великопрогонового покриття з використанням крокового підйомного модуля, яке дозволить зменшити працємїсткїсть монтажних робіт на скоротити загальні строки підйомних робіт.

Виклад основного матеріалу

Технологія безкранового підйому великопрогонового покриття методом підтягування з розташуванням підйомних модулів на оголовках несучих колон каркасу була використана при будівництві цехів авіазаводу в м. Гостомель, Україна [5]. Гідропідйомник тягнучого типу ПШ – 330 складався з двох гідравлічних домкратів ГД – 170 (вантажопідйомність по 170 тон кожний, довжина робочого ходу штоку домкрата 1120мм), двох страхувальних гвинтів, піддомкратної і наддомкратної балок, цільнозвареної челночної стрічки (довжина 12м), яка з'єднана нижнім кінцем з тяговою стрічкою (в перерізі 600х40мм). Тягова стрічка складалась з шарнірно з'єднаних ланок довжиною 6м. Тягова стрічка шарнірно прикріплена до балки піднімаємого покриття. В якості опорних конструкцій для гідропідйомника тягнучого типу використовувались колони несучого каркасу з проміжними столиками для тимчасового спирання блоку покриття в процесі переміщення на проектну висоту. Підйом двох покрівельних блоків (загальна площа 40000 м², розміри блоків 96х48 та 96х54 м, маса блоків до 1200 тон) на висоту 34 м був виконаний за 10 змін. Процес підйому покриття методом підтягування та вузол фіксації ригеля піднімаємого покриття показані на Рис.1.

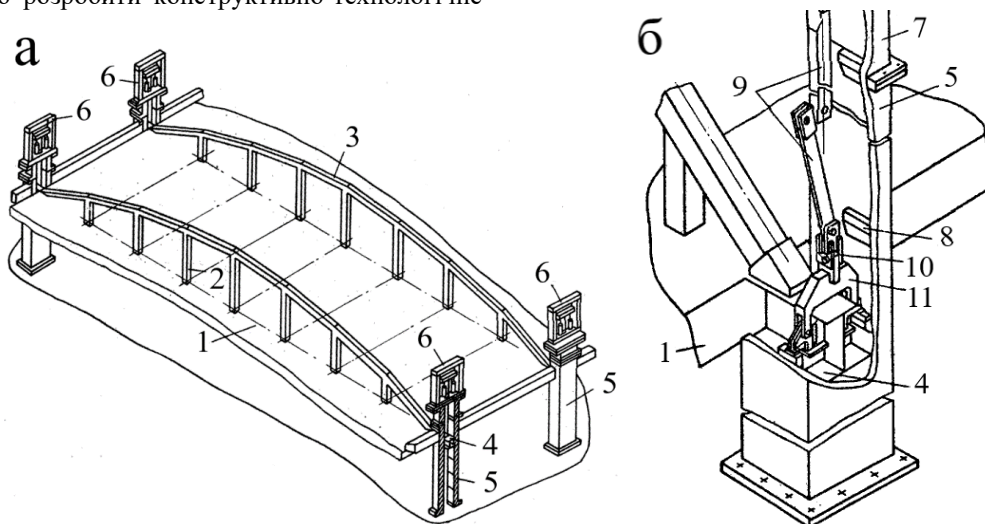


Рис.1 Підйом великопрогонового покриття методом підтягування: а – покриття в процесі підйому, б – вузол фіксації опорного ригеля піднімаємого покриття,

1- блок покриття, 2- стійка ферми покриття, 3 – верхній пояс ферми покриття, 4 – опорний ригель покриття, 5 – колона несучого каркасу, 6 – підйомник ПШ-330, 7 – опора підйомника, 8 – проміжний підйомний упор, 9 – тягова стрічка, 10 – перехідна ланка тягової стрічки, 11 – стропувальна траверса.

Процес підйому кожного блоку складався з шістьох повторних циклів. До кожного циклу входили два послідовних етапи – підйом блоку покриття на 6м та проміжне спирання покриття на опорні столики колон. В кожному циклі підйому

покриття шість разів підтягувалось до гори на висоту 1м, яка була відповідна ходу штоків домкратів та кроку отворів в тяговій стрічці. Під час підйому покриття в колонах за допомогою ручної лебідки для переміщення ригеля покриття, в міжколонному просторі демонтувались елементи решітки на

ділянці висотою 6м з подальшим монтажем решіток після підйому ригеля покриття. До недоліків аналізованого рішення відносяться зупинки, пов'язані з демонтажем міжколонних решіток перед підйомом опорного ригеля покриття та наступним монтажем решіток, демонтаж ланок тягових стрічок довжиною 6м та тимчасове спирання опорних ригелів покриття на опорні столики після кожного етапу підйому на відповідні 6м, влаштування проміжних висотних монтажних площадок на колонах для монтажу та демонтажу міжколонних решіток, складний демонтаж гідропідйомника тягучого типу ПШ-330 на висоті 34–36 м після завершення підйомних робіт з залученням стрілових кранів великої вантажопідйомності за умови забезпечення поїзду шириною 4–5 м по контуру промислового цеха, що будується [3]. До переваг аналізованого рішення можна віднести утворення жорсткого поперечного каркасу з несучих колон та міжколонних балок, контроль вертикальності підйомного процесу покриття, який забезпечувався переміщенням опорних ригелів блоку покриття між спареними несучими колонами.

Переваги розглянутого варіанту підйому покриття на проектну відмітку методом підтягування, а саме, використання спарених колон несучого каркасу в якості напрямних для переміщення конструкції покриття з рівня фундаментів до відмітки оголовків колон, були використані при розробці нового конструктивно-технологічного рішення. Згідно з розробленим рішенням кроковий підйомний модуль розташовують між спареними колонами несучого каркасу. На внутрішніх поверхнях спарених колон закріплюють напрямні профілі. Перед підйомом на рівні монтажних ригелів (висота до 2м) опорні ригелі конструктивно-технологічного блоку покриття спираються на верхні платформи підйомного модуля. В процесі виштовхування ригелів покриття на проектну висоту підйомний модуль спирається фіксаторами підйому на напрямні профілі. Загальний вигляд покриття в процесі виштовхування на проектну висоту та підйомний модуль зображені на Рис.2.

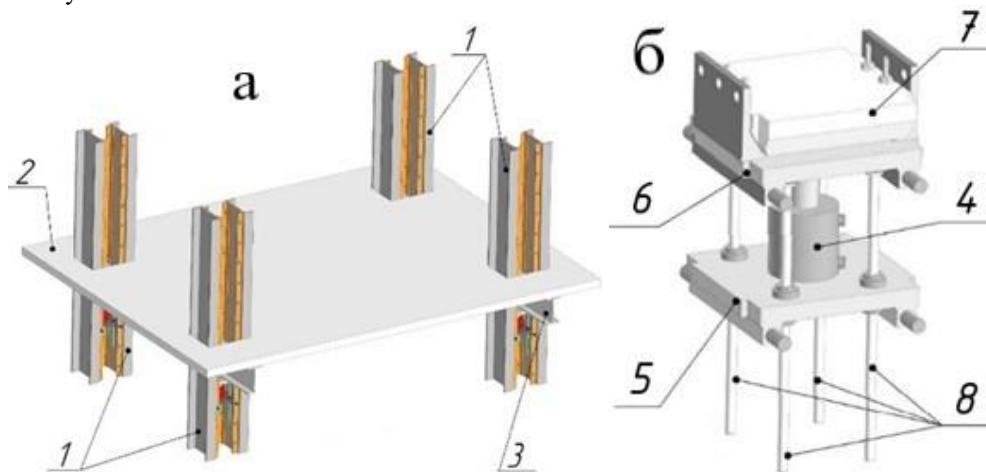


Рис.2 Зведення покриття підйомним модулем, розташованим між спареними колонами: (а) – загальний вигляд покриття в процесі підйому; (б) – підйомний модуль: 1 – колона каркасу, 2 – покриття, 3 – несучий ригель покриття, 4 – гідроциліндр, 5 – нижня платформа модуля, 6 – верхня платформа модуля, 7 – опорна рама; 8- страхувальні стержні;.

Підйомний модуль складається з гідроциліндру подвійної дії, нижньої та верхньої платформ, та страхувальних стержнів. Корпус гідроциліндра закріплений на нижній платформі модуля. Шток гідроциліндра прикріплений до верхньої платформи модуля. В верхній та нижній платформах модуля вмонтовані механізми фіксації підйому з висувними опорними циліндрами. Страхувальні стержні прикріплені до верхньої платформи модуля та проходять через ковзні гайки, які закріплені на нижній платформі модуля. На верхній платформі підйомного модуля розміщують опорну раму. Перед підйомом на опорній рамі розміщують несучі ригелі покриття.

Робочий цикл підйомного модуля складається з трьох послідовних етапів.

Передпідйомний етап – опорні циліндри механізмів фіксації підйому нижньої платформи модуля заводять в отвори в напрямних профілях.

Штоки гідроциліндрів модуля знаходяться в корпусах гідроциліндрів.

Підйомний етап - за умови сприйняття навантаження від опорної рами та ригелів покриття опорними циліндрами механізмів фіксації підйому нижньої платформи модуля, подають робочу рідину в корпуси гідроциліндрів. Штоки гідроциліндрів виштовхують верхню платформу модуля, опорну раму та ригель покриття на висоту "h", яка дорівнюється довжині робочого ходу штоків гідроциліндрів.

Післяпідйомний етап – опорні циліндри механізмів фіксації верхньої платформи модуля переміщують в отвори в напрямних профілях. Таким чином, навантаження від піднімаємого покриття передається з механізмів фіксації підйому нижньої платформи модуля на механізми фіксації підйому верхньої платформи модуля. Звільнені від навантаження опорні циліндри механізмів фіксації підйому

нижньої платформи можуть бути переміщені з отворів в напрямних профілях. При подачі рідини в корпус гідроциліндра виконують підтягування нижньої платформи модуля до верхньої платформи модуля на висоту "h".

В підйомній та післяпідйомній фазах, також, задіяні страхувальні стержні, які контролюють просторове положення нижньої платформи модуля в процесі її вертикального переміщення. Основні етапи робочого циклу підйомного модуля відображені на Рис. 3.

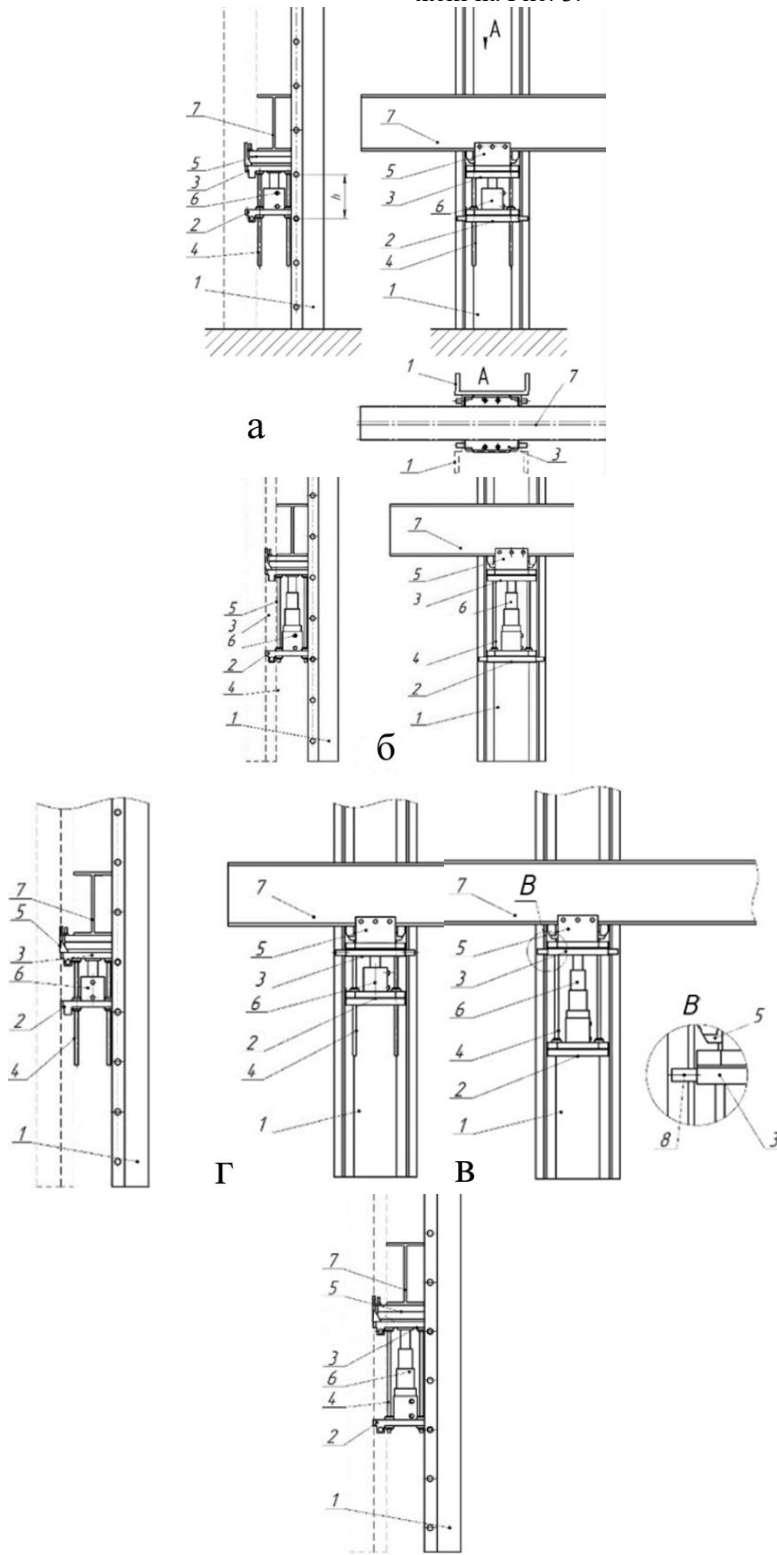


Рис.3 Основні етапи робочого циклу підйомного модуля: а – фіксація нижньої платформи в напрямних профілях, б – підйом верхньої платформи; в – фіксація верхньої платформи в напрямних профілях, г – підйом нижньої платформи; 1-колона; 2-нижня платформа модуля; 3- верхня платформа модуля; 4-страхувальні стержні; 5-опорна рама; 6 гідроциліндр; 7-несучий ригель покриття; 8-опорний циліндр механізму фіксації підйому верхньої платформи модуля.

Технологічний процес зведення покриття методом виштовхування кроковими підйомними модулями, які переміщуються між спареними колонами, складається з трьох етапів.

Предпідйомний етап. З використанням автомобільних кранів на будівельному майданчику формується поперечний несучий каркас зі спарених колон і міжколонних зв'язків, виконується укрупнення покриття на низьких риштуваннях. Для спірання колон передбачені збірно-монолітні стовпчасті фундаменти. Встановлення колон на фундаменти передбачає наступні операції. Спочатку в котловані монтують збірні фундаментні плити з болтовими кріпленнями для колон. Потім на фундаментні плити встановлюють спарені колони з напрямними профілями та фіксують стик «Фундамент – колона» болтами. Далі, одночасно з монтажем міжколонних зв'язків та формуванням блоку покриття, на фундаментних плитах формують каркас армування висотою 1200мм по зовнішньому контуру колон та в міжколонному просторі, виставляють опалубку та заливають бетоном стовпчасту частину фундаменту. В міжколонному просторі на стовпчастих фундаментах виставляють підйомні модулі. В предпідйомному положенні опорні циліндри механізму фіксації підйому нижньої платформи модуля заведені в отвори в напрямних профілях. На верхній платформі модуля розміщують опорну раму та несучий ригель покрівельної конструкції. На низьких риштуваннях виконують 100% робіт по укрупненню конструктивно-технологічного великопрогонового блоку покриття та утворенню паро-, тепло- та гідроізоляційних покрівельних прошарків.

Підйомний етап. Переміщення опорних рам та несучих ригелів покриття на проектну висоту виконується підйомними модулями. В процесі підйому циклічно повторюються дві операції:

- фіксація нижньої платформи підйомного модуля на напрямних профілях колон та виштовхування гідроциліндром подвійної дії верхньої платформи модуля з опорною рамою та несучим ригелем покриття на висоту, яка дорівнюється довжині робочого ходу штока гідроциліндра;
- фіксація верхньої платформи підйомного модуля на напрямних профілях колон та підйом нижньої платформи модуля гідроциліндром подвійної дії на висоту, яка еквівалентна довжині робочого ходу штока гідроциліндра.

Процес підйому покриття з використанням розробленого механізованого технологічного обладнання повністю автоматизований. Контроль за операціями по переміщенню підйомних модулів та конструкцій покриття виконується операторами, які знаходяться поза зоною монтажних робіт з використанням приладів відео спостереження та фіксації, які встановлені на колонах, верхніх та нижніх платформах підйомного модуля і на несучих ригелях покриття, що піднімається. Після досягнення несучими ригелями покриття проектної висоти виконують закріплення опорної рами на оголовках спарених колон.

Післяпідйомний етап. Звільнені від навантаження підйомні модулі переміщують на фундаменти. В процесі опускання циклічно повторюють дві операції:

- фіксація верхньої платформи підйомного модуля на напрямних профілях колон та переміщення вниз корпусу нижньої платформи модуля та корпусу гідроциліндра;
- фіксація нижньої платформи підйомного модуля на напрямних профілях колон та переміщення вниз штоку гідроциліндра та верхньої платформи модуля.

Після опускання підйомного модуля на фундаменти, виконують демонтаж модуля.

Згідно з розробленою технологією, монтажники задіяні тільки в висотних операціях по закріпленню опорних рам несучих ригелів блоку покриття на проектній висоті між оголовками спарених колон. Впровадження автоматизованої технології зведення великопрогонових покриттів з використанням підйомних модулів, які виконують виштовхування несучих ригелів покриттів в просторі між спареними колонами, дозволяє суттєво зменшити працездатність підйомних процесів та скоротити загальні строки монтажних робіт.

Висновки

- на закладі аналізу відомого рішення безкранового підйому великопрогонового покриття методом підтягування було розроблено технологічне рішення, згідно з яким, на першому етапі утворювався несучий поперечний каркас з проектних колон, міжколонних балок і зв'язків, виконувалось укрупнення покриттів в конструктивно-технологічний блок на низьких риштуваннях (висота до 2м). Подальший підйом несучих ригелів блоку покриття виконувався зі спіранням на підйомні модулі, переміщення яких відбувалось в міжколонному просторі з використанням напрямних профілів, закріплених на внутрішніх поверхнях спарених колон;
- процеси вертикального переміщення покриття з рівня фундаментів до оголовків колон з використанням підйомного модуля повністю автоматизовані ; монтажники задіяні тільки в висотних операціях по остаточному закріпленню несучих ригелів конструктивно-технологічного блоку покриття між оголовками спарених колон каркасу;
- розроблені підйомні модулі, взаємодіючи з напрямними профілями, закріпленими на внутрішній поверхнях спарених колон, можуть знайти своє використання при підйомі великогабаритного і важкого технологічного обладнання в просторах виробничих цехів, коли для монтажу конструкцій на проектній висоті неможливе використання класичних кранових технологій методом вільного підйому, а також, при переміщенні великопрогонових покрівельних блоків масою 1200-2400 тон на висоту більшу, ніж 34 м.

Список літератури:

1. Черненко В.К., Осипов О.Ф., Тонкачєєв Г.М., Назаренко І.І. *Технологія монтажу будівельних конструкцій*. За редакцією Черненко В.К., Київ, Будівельник, 2011, 374 с.
2. Игнатенко А.А., Глущенко И.В. Развитие технологии подъема покрытий гидроподъемными установками: Киев, Промышленное строительство и инженерные сооружения. Научно-технический журнал. 1992, №1, С.26-27
3. Ignatenko, O. (2024). Improvement of technological solutions for erections of large-span coatings with lifting modules. *SISJ*. 84. 28-35. <http://doi:10.5281/zenodo.11624363>
4. Федоренко П.П., Шкромада А.А. *Индустриальные методы строительства промышленных предприятий*: Киев, Будівельник, 1988, 200 с.
5. Назаренко В.Ф., Сытник Н.П., Николаев В.В., *Гидроподъемные установки на монтаже большепролетных конструкций*: Киев, Монтажные и специальные работы в строительстве. Научно-практический журнал. 1986, №5, С.15-20.
6. Колесник Л. А., Шнайдер А. И., Черненко В.К., и др. *Крупноблочный монтаж строительных конструкций*: Киев, Будівельник, 1990, 320 с.
7. Черненко В.К., Собко Ю.Т. *Дослідження основних технологічних показників, що впливають на безкранові методи піднімання структурних покриттів*: Київ, Нові технології в будівництві. 2016, №36, С.50 – 55. <http://www.ntinbuilding.ndibv.org.ua/archive/2016/31/9.pdf>
8. Tonkacheiev, H., Rashkivskyi, V., & Sobko Yu. (2022). Prerequisites for the creation of lifting and collecting technological modules for the installation of structural blocks of the coating. *AD ALTA*: No.12/01/XXVII. 204–206. http://www.magnanimitas.cz/ADALTA/120127/papers/J_05.pdf
9. Osipov, O., & Chernenko, K. (2020). Information Model of the Process of Lifting Long Span Roof. *S I*: No.16 (4), 3-10, 2020, <https://doi.org/10.15407/scine16.04.003>
10. Собко Ю.Т., Новак Є.В. Вибір факторів, що впливають на трудомісткість процесу монтажу структурних плит покриттів одноповерхових будівель. *Сучасні проблеми Архитектури та Містобудування*, 2022, № 64, С. 343–350. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2022.64.343-350>
11. Fligier, K., Rowinski, L. (1977). Montaz zintegrowanych konstrukcji budowlanych. *Pansnwowe wydawnictwo naukowe*, Warszawa.
12. Rühle, H., Kühn, E., Weissbach, K. (1978). Priestorové strešné konštrukcie. *Vydavateľstvo ALFA*, Bratislava.
13. Yang, Y., Du, H., & Men, W. (2023). Time - Varying Mechanical Analysis of Long-Span Special Steel Structures Integral Lifting in Construction Basing Building Information Model. *Sustainability*.15,11256. <https://doi.org/10.3390/su15411256>
14. Ruan, R., Lai, M., & Lin, Y. (2023). Integral Lifting of Steel Structure Corridor between Two Super High-Rise Building under Wind Load. *Buildings*.13. 2441. <https://doi.org/10.3390/buildings13102441>
15. FAGOLI Asotech. (2024). Innovative lifting systems with hydraulic Stand Jacks. <https://www.asotech.com/en/portfolio/innovative-software-for-lifting-equipment/>
16. DLT Engineering. (2011). DLT Engineering Reference Project. https://www.dlteng.com/en/projects/BHEL_western.htm
17. MAMMOET (2021). Stand jack lifts, and transfer large and heavy loads along straight line. <https://www.mammoet.com/resources/piet-explains-strand-jacks/>
18. ENERPAC (2022). The Jack-Up System with a lifting capacity of 2,000 m.tons. <https://www.enerpac.com/en-us/jack-up-systems/USJackupSystems>
19. SARENS GROUP. (2024). Direct Industry. Innovative solutions for hydraulic lifting system. <https://www.directindustry.com/>