

## НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ СУДНОНАВАНТАЖУВА- ЧІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*У статті розглянуто застосування суднонавантажувачів в Україні. Виконано опис конструкції та принципу роботи стрічкових суднонавантажувачів закордонного виробництва, які використовують в більшості морських портів України. Наведено основні технічні характеристики машин, що досліджуються в ході наукової роботи. Проведено технічне обстеження суднонавантажувачів із замірами втрат перерізів елементів каркасу та міцності зварних і болтових з'єднань. Узагальнено інженерний досвід з обстеження та оцінки технічного стану будівельних конструкцій цих споруд, які протягом тривалої експлуатації зазнали втрат міцності та жорсткості від агресивної дії морської води та розчинених хімічних добрив, що подаються суднонавантажувачем. Змодельовано будівельні конструкції споруди за допомогою програмних комплексів і задано навантаження на окремі елементи каркасу з урахуванням зменшення перерізів від корозії. Моделювання та дослідження будівельних конструкцій було виконано методом скінчених елементів у програмному комплексі «SCAD». Проведено аналіз найбільш напружених елементів згідно результатів моделювання. Було пораховано прогини та міцність найбільш навантажених та пошкоджених корозією елементів. Виконано локалізацію найбільш значних дефектів на довгомірних та пластинчатих будівельних конструкціях. На основі перевірки пошкоджених зон розроблено методику та схеми з підсилення. Доведено системний характер появи пошкоджень. Наведено рекомендації з раціоналізації підсилення конструкцій навантажувачів для недопущення у подальшому накопичення подібних дефектів. Розроблено заходи з охорони праці при виконанні робіт з підсилення та відновлення будівельних конструкцій суднонавантажувачів.*

**Ключові слова:** суднонавантажувач, механічна система, корозія, моделювання.

### Abstract

*In the article has been described the designs and principles of operation of foreign-made ships loaders. Has been generalized an engineering experience of inspection and evaluation of the technical condition of the structures of these structures, which, due to long-term operation, have been subjected to significant losses of the cross section of the elements from the aggressive influence of sea water and chemical fertilizers dissolved in it. Has been localized the most significant defects on lengthy structures of ships loaders. Has been proven systemic nature of damage. Has been offered recommendations on the rationalization of ships loaders structures to prevent the occurrence of similar defects in the future.*

**Keywords:** ships loader, mechanical system, corrosion modeling.

## Вступ

В Україні на цей час накопичилася значний обсяг технологічного устаткування, яке обслуговує підприємства хімічної, енергетичної, металургійної промисловості. Одним з типів таких конструкцій є суднонавантажувачі – висотні каркасні споруди, виготовлені, в основному з металу, що відвантажують готову продукцію на судна в умовах порту. Більшість суднонавантажувачів в Україні є зношеними внаслідок тривалої від дії навколишнього середовища та динамічних впливів. Це призводить до небезпеки подальшої експлуатації таких споруд, і, з часом, до виникнення аварійних ситуацій.

Тому доцільним дослідження будівельних конструкцій суднонавантажувачів з метою виявлення найбільш проблемних ділянок шляхом моделювання їх напружено-деформованого стану, а також, розробки методики усунення дефектів.

## Основна частина

Для прикладу побудови скінчено-елементної моделі напружено-деформованого стану взятий металокаркас реальної споруди – суднонавантажувач № 7.1 Одеського припортового заводу, який розташований на території ДП «МТП «Южний» поблизу м. Южне Одеської області. Споруда розташована на території державного підприємства «Морський торговельний порт Южний», пересувається вздовж узбережжя по рейкових коліях на території першого та другого причалів. Цей суднонавантажувач типовий для морських портів України.

Суднонавантажувач № 7.1 являє собою металеву рамну конструкцію, яка призначена для завантаження судноплавних засобів сипучими речовинами (в основному – карбамідом).

Конструкція суднонавантажувача № 7.1, (рис. 3, 4) являє собою складну металеву систему, яка складається з металевих будівельних конструкцій та механічних машинних систем, а саме: опорного металокаркасу, стріли та висувної частини, транспортерів, елементів приводу підйому стріли.

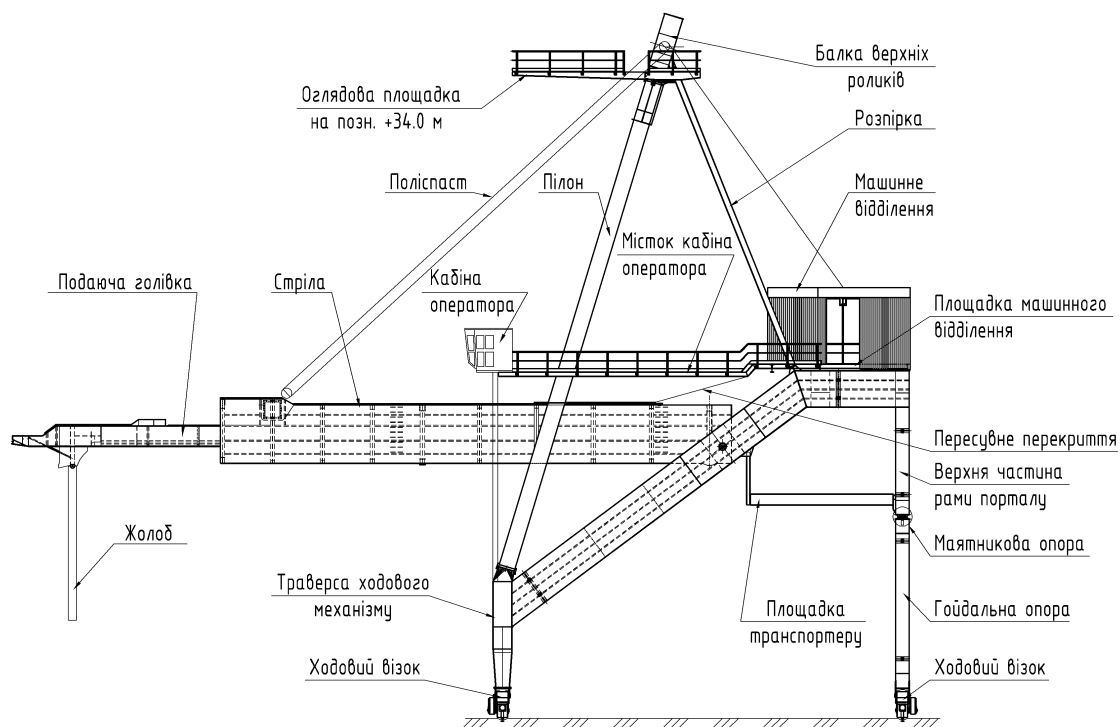


Рисунок 3 – Схема розташування головних конструкцій елементів суднонавантажувача № 7.1 (вид збоку)

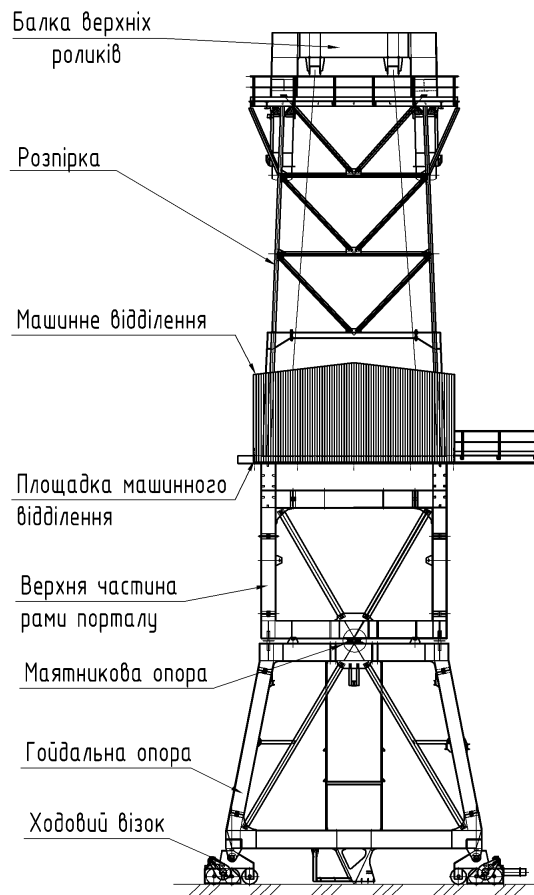


Рисунок 4 – Схема заднього виду споруди (зі сторони, протилежної від моря)

Загальна просторова жорсткість металокаркасу споруди забезпечується жорстким з'єднанням її елементів у просторовий геометрично незмінний блок, який при виключених приводах та зафіксованих гальмах утримується на поверхні рейок силою тертя.

Геометрична незмінність стріли в стаціонарному стані забезпечується шарнірною фіксацією її п'яти з одного боку та кріпленням гаками з іншого та силою тяжіння, геометрична незмінність стріли в робочому стані забезпечується двома тросами, які з допомогою гальмівних барабанів утримуються приводом з одного боку, а з іншого – жорстким запасуванням канату на поліспастовій системі, та силою тяжіння.

Метою моделювання є:

- виявлення найбільш навантажених і відповідно найбільш небезпечних ділянок конструкції;
- розробка ефективних заходів з підсилення елементів, що унеможливають явища резонансу внаслідок вітрового впливу;
- вивчення впливу факторів:
  - стійкості рівноваги;
  - стійкості від ковзання;
  - стійкості до корозії.

## Опис моделі

Каркас споруди змодельовано як просторову систему з плоских рам ( див. рис. 6). При моделюванні каркасу було враховано навантаження від вітру, ожеледі і сейсмічний вплив. Сніговим навантаженням знехтовано, оскільки при решітчастій системі рам каркасу, площа снігових заметів незначна.

Перелік плоских рам, які було змодельовано (рис. 5):

1. Траверса ходового механізму (коричнева).
2. Гойдальна опора (синя).
3. Основа рами порталу (червона).
4. Верхня частина рами порталу (фіолетова).
5. Рама пілону (блакитна).
6. Рама розпірки (жовта).
7. Плоска ферма верхнього поясу стріли (зелена).
8. Плоска ферма нижнього поясу стріли (салатова).
9. Балочна конструкція бічних стінок стріли (оранжева).
10. Конструкція подаючої голівки(сіра).
11. Площадка приводу підйому стріли (чорна).
12. Рама оглядової площадки (лілова).

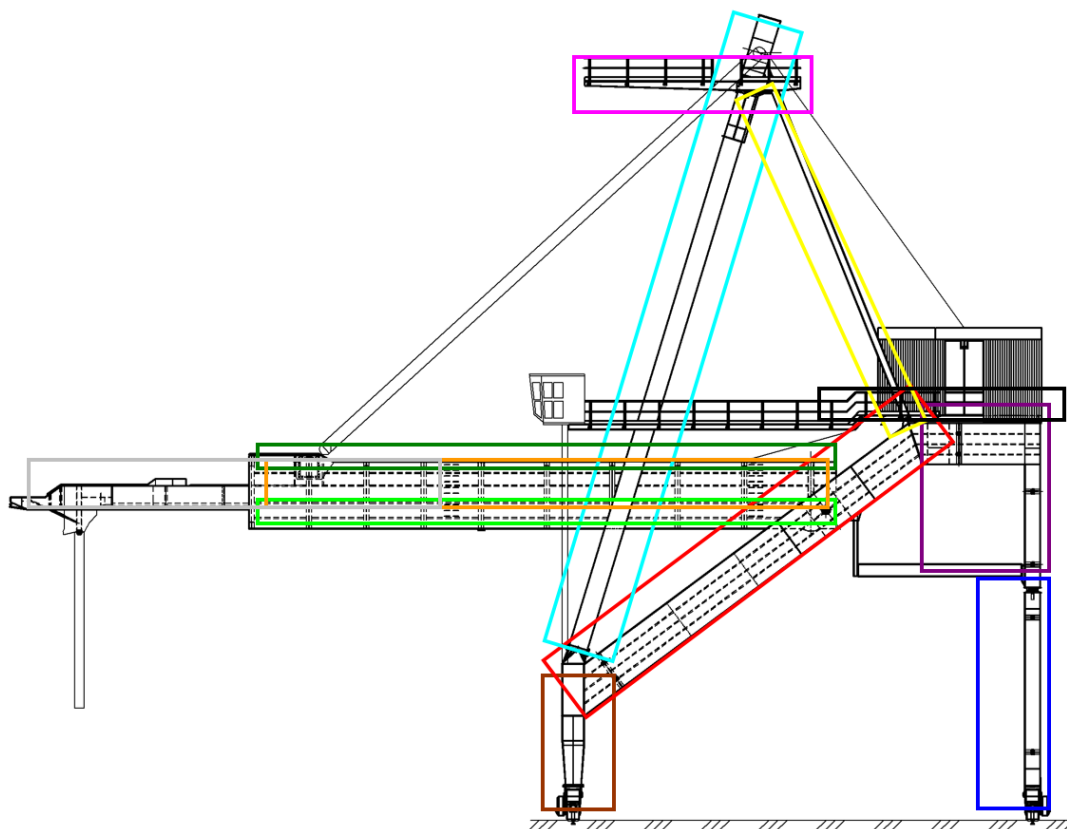


Рисунок 5 – Схема розташування плоских рам споруди, які розраховуються

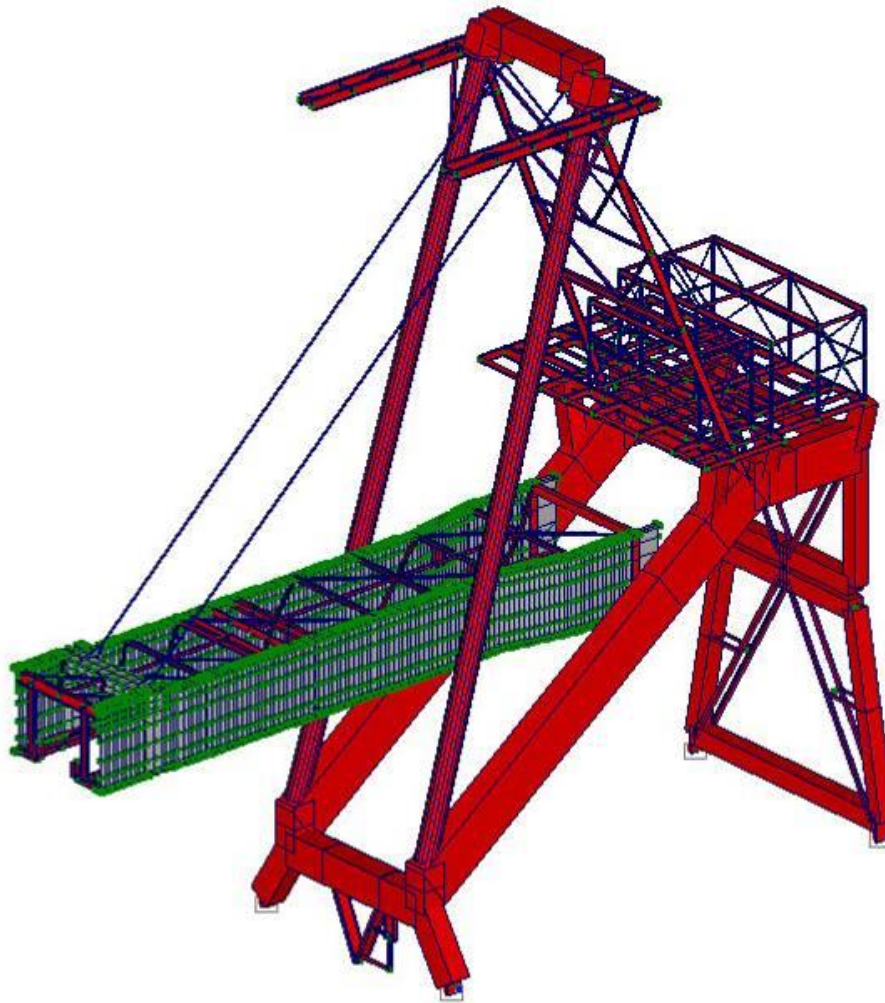


Рисунок 6 – Модель опорного металокаркасу споруди, що розраховується на кліматичні впливи

Траверсу ходового механізму змодельовано у вигляді “П”- подібного зварного коробчастого перерізу. Стійки мають ухил всередину та змінну по висоті ширину (розширюються догори), виготовлені з металевго листа товщиною 10...12 мм. До верхньої балки траверси за допомогою фланцевих з’єднань приєднано конструкцію рейкозахвату (“V”- подібну раму з листа, який забезпечує фіксацію суднонавантажувача від зміщень вздовж колій).

Гойдальну опору змодельовано як плоску рамну трапецеїдальну конструкцію з двох балок і двох похилих колон з листа 8...10 мм та трикутними зв’язками зі спареного тавра HE 260A (260 x 125 мм), з’єднаного планками у безроскісну ферму висотою 665 мм, які підтримують маятникову опору. До рами приварено внутрішню “Н”- подібну раму з швелера № 16.

До нижньої балки гойдальної опори приварено рейкозахват, аналогічний за конструкцією приєднаному до траверси.

Основу рами порталу змодельовано як похилу балку (всього дві дзеркально симетричні балки на суднонавантажувач) коробчастого перерізу (ширина 1000 мм, висота – 1820 мм), що жорстко з’єднані розпірною балкою коробчастого перерізу 1000x1000 мм, полиці – лист 12 та 14 мм, стінки – лист 10 мм. В середині короба стінки підсилені повздовжніми ребрами з нерівнополичних кутників 100x50x6, розташованих з кроком 450 мм. Верхня та нижня полиці з листа товщиною 10 мм, бокові стінки з листа товщиною 8 мм. Окрім повздовжніх влаштовано систему поперечних ребер з листа товщиною 8 мм з кроком близько 3,645 м. Ці балки з’єднують верхню частину рами порталу з одного боку та траверсу ходового механізму – з іншого. На відстані близько 13,7 м від точки приєднання балок до траверси ходового механізму на бічних гранях балок влаштовано підсилення бічних стінок (лист 10 мм), до яких приєднано потовщення у вигляді листів товщиною 40...65 мм та діаметром 600 мм, що мають зцентровані отвори діаметром 270 мм.

Верхню частину рами порталу змодельовано як просторову рамну нерозрізну конструкцію "Г"- подібної на виді збоку та прямокутної на виді спереду форм, розмірами 7,150 x 7,600 x 3,535 м. Рама складається з верхньої та нижньої балок, з'єднаних між собою двома стійками, на верхівці яких влаштовано коробчасті балочні відгалуження змінного по довжині перерізу 1820 x (1018...600) мм (з листа, полиці – 10 мм, стійки – 8 мм) з внутрішніми повздовжніми ребрами жорсткості з нерівно полицьних кутників 100x50x6, влаштованих з кроком 450 мм. Нижня та верхня балки перерізом 720x685 мм (полиці – 10 мм, стійки – 8 мм з листа). Стійки коробчастого перерізу 685x600 мм (бічні грані – з листа 8 мм, інші дві грані – з листа 10 мм).

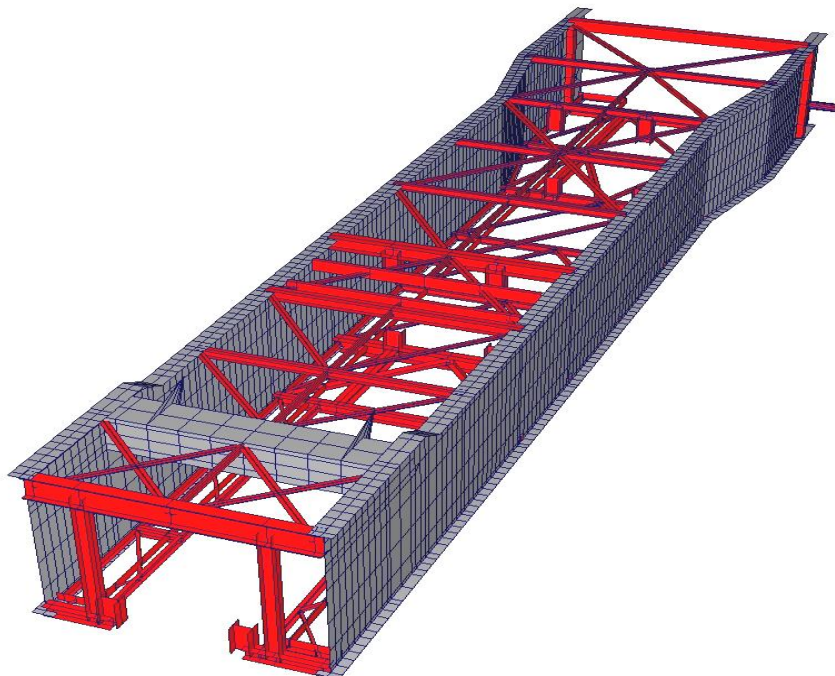
Пілон змодельовано як похилу "П"- подібну рамну конструкцію, яка складається з трубчастих зварних стійок діаметром 813 мм та товщиною стінки – 8 мм, які за допомогою зварювання приєднані до верхнього поясу нижньої частини основи рами порталу. На трубчасті стійки обирається "П" - подібна балка верхніх роликів, яка складається з двох коротких стійок та балки коробчастого перерізу 1000 x 1024 мм (полички – з листа товщиною 12 мм, стінки – з листа 10 мм). До балки приєднано чотири фасонки з листа товщиною 30 мм, які призначені для влаштування роликів поліспасти.

Розпірка змодельована у вигляді похилої металевої ферми між основою рами порталу та балкою верхніх роликів у вигляді ферми з напіврозкісною системою ґрат, пояси якої складаються з двотаврів № 30 в верхній частині та складеного перерізу з двотавра №30 (I PE 300) та половини двотавра № 50 (1/2 I PE 500) (тавра), з'єднаних зварюванням. Розкоси та розпірки хрестоподібного перерізу зі спарених кутників, розкоси – № 75x7, розпірки – № 80x8, з'єднаних планками з квадратного прокату 15x15 та листів товщиною 8 мм. Нижня перемичка – з двотавра HEA 260.

Металоконструкцію стріли змодельовано як металеву рамну галерею (див. рис. 7), яка складається з двох металевих головних балок двотаврового перерізу з металевих листів (полиці – 350 x 12 мм, стійка – 3200 x 6 мм), що з'єднані з допомогою зварювання та розкріплені системою ребер жорсткості.

Рисунок 7 – Модель стріли судноавантажувача

Вертикальні ребра жорсткості 2500...2900 мм з половини двотавра HE 220A, повздовжні ребра – з кутника 60x60x6, крок – 450...750 мм. В зоні влаштування осі шарніру п'яти стріли на балці



влаштовано підсилення стінки з листа у вигляді зварного короба з ребрами жорсткості, до якого приєднано втулку товщиною 100 мм, яка є основою для сферичного шарнірного підшипника типу GE 160 UK-2RS.

## 2.5 Результати розрахунку

Аналіз результатів розрахунку комп'ютерної моделі показав, що максимальні горизонтальні переміщення вузлів металоконструкцій суднонавантажувача від дії основних комбінації навантажень вздовж розрахункової осі Y дорівнюють 275.92 мм, що менше ніж 1/75 вильоту консолі стріли [27, п. 4.6] і становить 333мм (див. рис. 8).

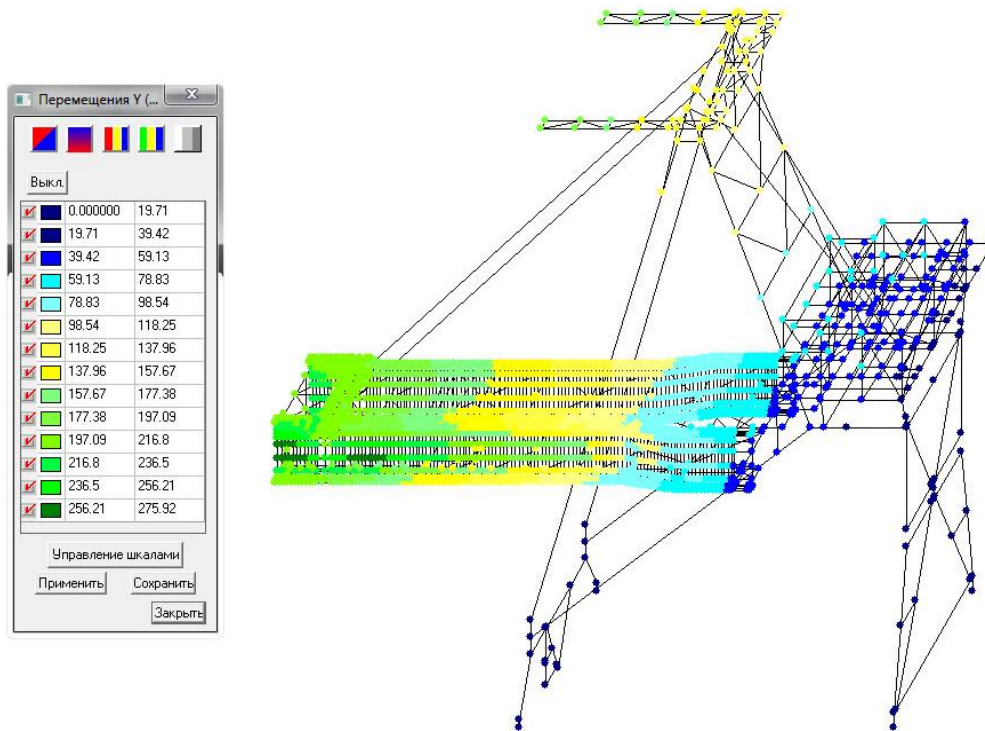


Рисунок 8 – Ізополя переміщень вздовж осі Y від дії основних сполучень навантажень

Горизонтальні переміщення при аварійних сполученнях навантажень (з врахуванням сейсмічних впливів) вздовж розрахункової осі Y дорівнюють 88.78 мм, що менше ніж 1/75 вильоту консолі стріли [6, п. 4.6] і становить 333мм (див. рис. 9).

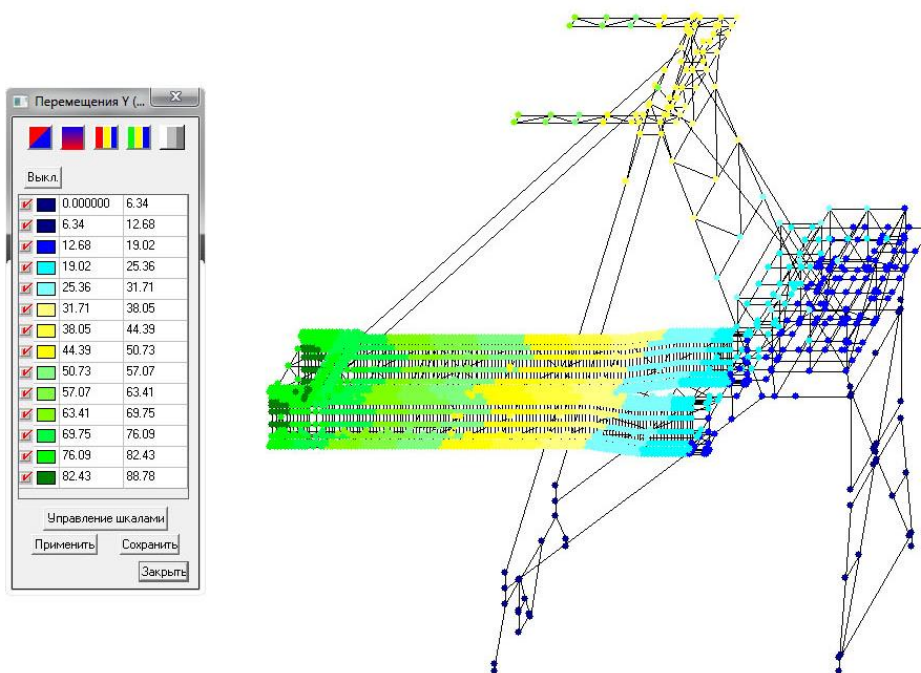


Рисунок 9 – Ізополя переміщень вздовж осі Y від дії аварійного сполучення навантажень (з врахуванням сейсмічних впливів)

За результатами розрахунку можна зробити висновок, що горизонтальні переміщення не перевищують граничних значень, однак оскільки горизонтальні переміщення є значними, умовами експлуатації передбачити виключно верхнє (неробоче) положення стріли на час вітрових впливів швидкість яких перевищує 15 м/с.

Виконано перевірочний розрахунок найбільш навантажених елементів конструкцій рам для основних і аварійних навантажень.

### Висновки

В результаті проведеного дослідження було виявлено, що найбільший знос спостерігається в тонких і відкритих елементах каркасу – розкоси, балки, стійки.

Ці елементи виявились найбільше враженими корозією і потребують підсилення, захисту їх поверхні від подальшого впливу клімату.

Більший знос цих елементів пояснюється тим, що вони мають велику площу поверхні при незначній товщині перерізу, а також знаходять в місцях найбільш напружень.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Портовые сооружения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://stroy-technics.ru/article/portovye-portalnye-kranu>
2. Подобед В.А. Математическое моделирование ветровых нагрузок. – Москва - Набережные Челны: Acceleration, 2010-2014. – 36 с.
3. Ерофеев Н.И. Математическая модель режима работы крановых установок. Автоматика и телемеханика, № 3, с.160-166, 1967.
4. Liu Pengfei, B. Lin. (2013). Safety and stability analysis of the ship loaders during shipping, pp. 21 5-224.
5. Чурбанов П.В., Лаврик В.П. Анализ возникновения дефектов в несущей металлоконструкции порталных кранов. - М.: ДМК Пресс, 2011,- 392 с.
6. Коновалов Д.М., Дарюхин А.О. Использование программного комплекса APM WinMachine для исследования остаточного ресурса порталных кранов,- М.: МГАВТ, 2013,- 39 с.
7. Mariusz Żółtowski, Ph. D. Michał Liss, Ms. C. Truss harbor cranes modal design elements research. -Polish Maritime Research 4(88) 2015 Vol. 22; pp. 84-92
8. Siwertell Cargotec Sweden AB Bulk Handling [Электронный ресурс] Режим доступа: [www.cargotec.com/bulk-handling.html](http://www.cargotec.com/bulk-handling.html)
9. ДСТУ Б. В.2.6-200:2014. Конструкції металеві будівельні. Вимоги до монтажу.
10. ДБН В.1.1-7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва
11. Невзоров Л.А. Баштові крани. - М.: Вища школа, 1980.
12. Sagurov U.G. Statics and dynamics of machines / B.L. Davidov, B.A. Skorodumov. – М.: ПрДТУ, 2012. – 58 р. (Ukr.)
13. ДСТУ Б В.2.6-193:2013. Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування
14. ДСТУ EN 1459:2014 Безпечність промислових навантажувачів. Самохідні навантажувачі з видвижним вантажопідійомником
15. ДНАОП 0.00-1.03-02. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів.
16. ДБН В.1.1-12:2006. Ч. 2. Додатки. Будівництво у сейсмічних районах України
17. Повышение эффективности использования портовых кранов при ветровых нагрузках
18. Оценка эксплуатационной надежности порталных кранов
19. ДБН А.2.2.-3-2012. Склад та зміст проектної документації на будівництво: [Чинний з 1 липня 2012 р.] / Мінрегіонбуд України. – К., 2012. – 26 с.
20. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія: [Чинний з 1 листопада 2011 р.] / Мінрегіонбуд України. – К., 2011. – 123 с.
21. ДБН В.1.2-2-2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. Введ. З 1 січня 2007 р. на заміну СНиП 2.01.07-85 (крім розділу 10). К.: Мінбуд України, 2006. – 71 с.
22. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. На заміну СНиП II-23-81\*, окрім розділів 15\*-19. [Остаточна редакція. Дата надання чинності 01.09.2011 р.] – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 202 с.
23. СНиП II-23-81\*. Строительные нормы и правила. Стальные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР. – Взамен СНиП II-В.3-72; СНиП II-И.9-62; СН 376-67 Введ. 01.01.82. – М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1991. – 96 с.
24. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. Введ. З 1 січня 2007 р. на заміну розділу 10 СНиП 2.01.07-85. К.: Мінбуд України, 2006. – 10 с.
25. СНиП 3.04.03-85. Защита строительных конструкций от коррозии / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.
26. СНиП 2.09.03-85. Строительные нормы и правила. Сооружения промышленных предприятий. Введ. с 1 января 1987 г. Взамен СНиП II-91-77, 30. СН 302-65, СН 471-75. – М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1986. – 58 с.

**Попов Володимир Олексійович** — к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [v.a.popov.vntu@gmail.com](mailto:v.a.popov.vntu@gmail.com)

**Курдибаха Владислав Миколайович** — студент 5 курсу, Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [jjjust96@gmail.com](mailto:jjjust96@gmail.com)

**Popov Vladimir O.** — Ph.D. docent of department of civil engineering, architecture and municipal economy, Faculty for Civil Engineering, Thermal Power Engineering and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia city, email: [v.a.popov.vntu@gmail.com](mailto:v.a.popov.vntu@gmail.com)

**Kurdybakha Vladyslav M.** — student, Department of Building, Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia city, e-mail: [jjjust96@gmail.com](mailto:jjjust96@gmail.com)