

<http://dx.doi.org/10.15589/jnn20140604>

УДК 629.5.02

К 68

STUDY OF STRENGTH OF SHIPLIFT PLATFORM WITH THE USE OF FINITE ELEMENT METHOD

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ПЛАТФОРМЫ СУДОПОДЪЕМНИКА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Leontii I. Korostylov

leontyy.korostilyov@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-4370-3270

Pham Nguyen Bach Tung

tungpham@mail.ua

ORCID: 0000-0003-3075-2193

Л. И. Коростылев,

д-р техн. наук, проф.;

Фам Нгуен Бак Тунг,

магистр

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

Abstract. The application of the finite elements method to the study of the stress-strain state of the platform of the existing shiplift is being discussed. The aim of this study is to determine the total stress of the platform and its deflection in the middle part. To obtain the necessary data the theoretical finite elements method is used for two calculation models; the platform is represented as a three-dimensional model and a rod model with the loads along two lines across the platform. According to the first calculation model the reduced stresses and the deflections in the middle of the platform are determined, as well as the stress in the nodes of the platform bearing on the launching and elevating mechanism is studied. According to the second calculation model only the total stress-strain states and the deflections in the middle of the platform are studied. The results of the calculations of the total stress-strain state and the deflections in the middle of the platform proved to be close in their values. However, considerably less time appeared to be spent to obtain the necessary results according to the second calculation model. The results of the study can be used to elevate and launch ships weighing up to 2000 tones in the case of the final assembly of the shafting line at the construction place. The results also confirm the possibility of the reliable elevating and launch of such ships.

Keywords: strength; shiplift platform; reduced stress; deflection; ANSYS software package; finite element method.

Аннотация. Методом конечных элементов исследовано напряженно-деформированное состояние платформы реального судоподъемника для спуска судна весом 1830 т. Применены две расчетные схемы – объемная и стержневая. Результаты расчетов приведенных напряжений и прогибов платформы по обеим расчетным схемам близки между собой. Однако стержневая схема требует на выполнение исследований значительно меньше времени.

Ключевые слова: прочность; платформа судоподъемника; приведенное напряжение; прогиб; программный комплекс ANSYS; метод конечных элементов.

Анотація. Методом скінченних елементів досліджено напружено-деформований стан платформи реального суднопідійомника для спуску судна вагою 1830 т. Застосовано дві розрахункові схеми – об'ємну та стержневу. Результати розрахунків приведених напруг та прогинів платформи по обох розрахункових схемах близькі між собою, проте стержнева схема потребує на виконання досліджень значно менше часу.

Ключові слова: міцність; платформа суднопідійомника; приведена напруга; прогин; програмний комплекс ANSYS; метод скінченних елементів.

REFERENCES

- [1] Basov K.A. *ANSYS Spravochnik polzovatelya* [ANSYS user's reference]. Moscow, DMK Press Publ., 2005. 640 p.
- [2] Kaplun A.B., Morozov Ye.M., Olfereva M.A. *ANSYS v rukakh inzhenera* [ANSYS in engineer's hands]. Moscow, Yeditorial URSS Publ., 2003. 272 p.
- [3] Korostylev L.I., Pham Nguyen Bach Tung *Issledovanie prochnosti platformy dlya spuska i podema sudov* [Study of the platform strength for the ship launch and elevating]. *Materialy V mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy*

konferentsii «Innovatsii v sudostroenii i okeanotekhnike (8.10–10.10.2014)» [Proceedings of the 5th International Scientific and Technical Conference «Innovations in Shipbuilding and Ocean Technology»]. Mykolaiv, 2014, pp. 49–50.

- [4] *Registr SSSR. Normy prochnosti morskikh sudov* [Register of Shipping of the USSR. Strength standards of the marine vessels]. Leningrad, 1991. 92 p.
- [5] Pham Nguyen Bach Tung Osobennosti spuska sudov na vodu (Specific features of the ship launch). *Materialy Vseukrainskoi naukovno-tekhnichnoi konferentsii z miznarodnoiu uchastiu «Suchasni tekhnologii proekturovaniia, pobudovy, ekspluatatsii i remontu suden, morskikh tekhnichnykh zasobiv i inzhenernykh sporud (21.5–23.5.2014)»* – Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Technical Conference with International Participation «Modern Technologies of Design, Construction, Operation and Maintenance of Ships, Marine Hardware and Engineering Structures». Mykolaiv, 2014. Available at: <https://docs.google.com/gview?url=http://conference.nuos.edu.ua>.
- [6] Pham Nguyen Bach Tung Issledovanie prochnosti platformy dlya spuska i podema sudov metodom konechnykh elementov [Study of the platform strength for ship elevating and launch using finite elements method]. *Materialy IV Vseukrainska studentska naukova konferentsiya «Sovremennye problemy morskogo transporta i bezopasnost moreplavaniya (20.11.2014)»* [Proceedings of the 4th All-Ukrainian Student Scientific Conference «Current problems of marine transport and navigation safety»]. Kherson, 2014, pp. 94–95.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Спуск и подъем судна составляют незначительную часть его жизненного цикла. Однако при этих операциях на корпус судна и на спускоподъемные устройства действуют специфические нагрузки местного характера большой величины, совершенно отличные от нагрузок, действующих на корпус в процессе эксплуатации. Для обеспечения безаварийности таких операций необходимы расчеты прочности как корпуса судна, так и спускоподъемных устройств, а также их элементов.

При спуске судов небольших размеров в мировой практике широко используется управляемый спуск с помощью судоподъемника. Такой вид спуска применяется во Вьетнаме, Австралии, Греции, Египте, Индии, Испании, Малайзии, США.

С целью сокращения построечного периода часто выполняют окончательный монтаж силовой установки и валопровода на построечном месте. В связи с этим необходимо осуществлять контроль за изгибом корпуса в процессе спуска судна, а также нахождения его на плаву. Поэтому следует располагать точной информацией о напряженно-деформированном состоянии и самого корпуса, и элементов спусковых устройств.

Существующие судоподъемники состоят из двух основных частей – стояков, установленных на дне бассейна на специальных фундаментах, и платформ сварной конструкции, перемещающихся по вертикальным направляющим с помощью подъемных механизмов [5].

Жесткость таких платформ может существенно влиять при спуске судна на изгиб его корпуса. К тому же такие платформы имеют специфический характер нагружения: передача давления корпуса на платформу происходит по малой площади платформы в виде полосы. Это требует детального анализа напряжен-

но-деформированного состояния в районе зоны передачи давления, а также в узлах платформы, где установлены механизмы вертикального перемещения платформы.

В настоящей статье исследуются прочность и жесткость платформ только существующего судоподъемника, предназначенного для спуска и подъема судов общей массой 4500 т и длиной до 100 м.

ЦЕЛЮЮ ИССЛЕДОВАНИЯ является определение общей напряженности платформы и ее прогиба в средней части.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Платформа судоподъемника представляет собой стальную конструкцию, состоящую из настила толщиной 20 мм с размерами в плане 22,2×7 м и подкрепляющего набора вдоль и поперек платформы. Боковые листовые грани платформы имеют толщину 30 мм, а подкрепляющий набор – 20 мм. По углам платформы имеются специальные устройства для ее подъема и опускания. Общий вид платформы представлен на рис. 1.

Силы, действующие на весь судоподъемник, определяются по формуле

$$F = M \cdot g = 1830 \cdot 9,81 = 17952,3 \text{ кН},$$

где M – спусковая масса, т; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

При равномерном распределении по длине судоподъемника спусковой массы [3] нагрузка, действующая на одну платформу судоподъемника, определяется по формуле

$$F' = \frac{F}{n} = \frac{17952,3}{12} = 1496 \text{ кН},$$

где n – число платформ судоподъемника, работающих под действием силы тяжести спусковой массы.

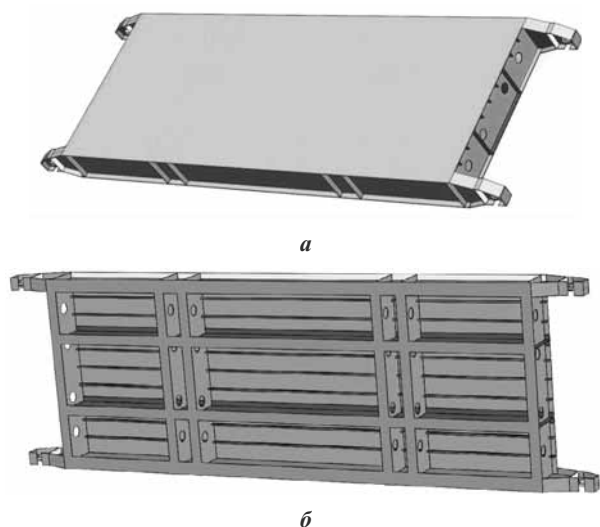


Рис. 1. Общий вид платформы: *а* – вид сверху; *б* – вид снизу

Давление от спусковой массы передается на платформу через спускоподъемные тележки по двум полосам [6] (рис. 2). Интенсивность этого давления определяется как

$$P_1 = P_2 = \frac{F'}{S} = \frac{1496}{7} = 106,857 \text{ кПа,}$$

где S – площадь полосы передачи давления на платформу, м².

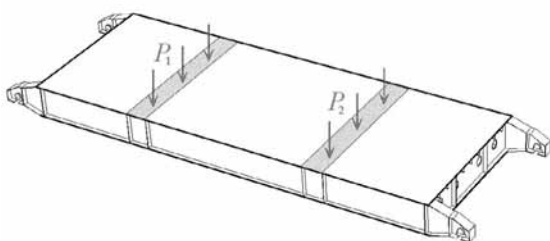


Рис. 2. Давление, действующее на платформу

Исследование напряженно-деформированного состояния платформы выполнено с использованием расчетного комплекса ANSYS, в основу которого положен метод конечных элементов [1]. Используются две расчетные схемы: объемная модель из тетраэдрических элементов второго порядка и стержневая модель на базе линейных элементов с шестью степенями свободы в каждом узле [2].

Расчет напряженно-деформированного состояния платформы как объемной конструкции

Геометрическая модель платформы как объемной конструкции создана в программном комплексе SolidWorks, а затем экспортирована в программный комплекс ANSYS Workbench.

При выполнении расчетов приняты следующие свойства стали 09Г2С, из которой изготовлена платформа: $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па; $\mu = 0,3$; $R_{\text{ен}} = 315$ МПа; $\sigma_{\text{т}} = 305$ МПа; $\rho = 7850$ кг/м³.

Генерация конечно-элементной сетки выполнена автоматически по заданным параметрам. В результате получена конечно-элементная модель расчетной схемы, представленная на рис. 3. Общее количество элементов тетраэдрической формы составляет 144440. При этом в местах ожидаемой концентрации напряжений выполнено сгущение сетки.

При выполнении расчетов в качестве нагрузок приняты силы тяжести самой платформы, а также давление P_1 и P_2 , прикладываемое со стороны тележек (см. рис. 2).

Исследование напряженно-деформированного состояния выполнено при условии шарнирного опирания на жесткие опоры в местах специального устройства подъема при свободном смещении в плоскости платформы. В результате расчетов получены прогибы платформы, которые представлены на рис. 4. Как показывает анализ, максимальный прогиб достигает 17 мм по середине платформы.

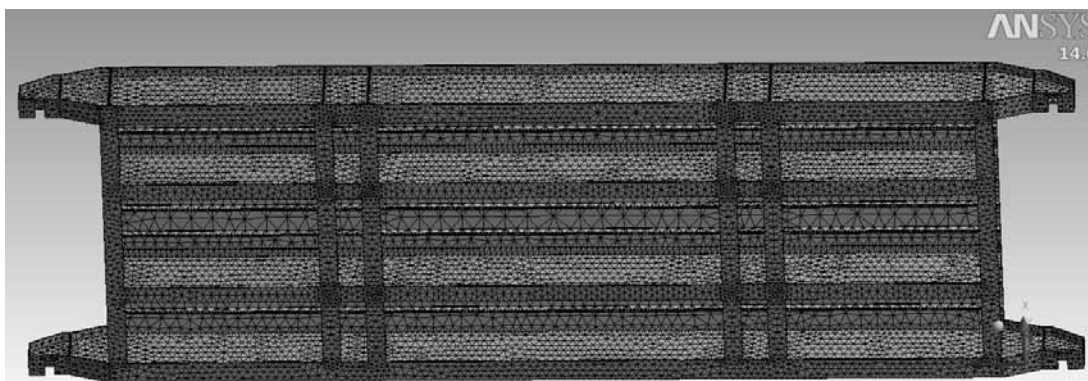


Рис. 3. Конечно-элементная модель платформы

Приведенные напряжения вычислены по теории Мизеса согласно зависимости

$$\sigma_{np} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}},$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ — компоненты напряжений в координатной системе xuz .

Данные о приведенных напряжениях представлены на рис. 5, их максимальная величина в средней части составляет 60,7 МПа.

В узлах опирания платформы приведенное напряжение достигает 306 МПа, так как здесь имеет место значительная концентрация напряжений (рис. 6).

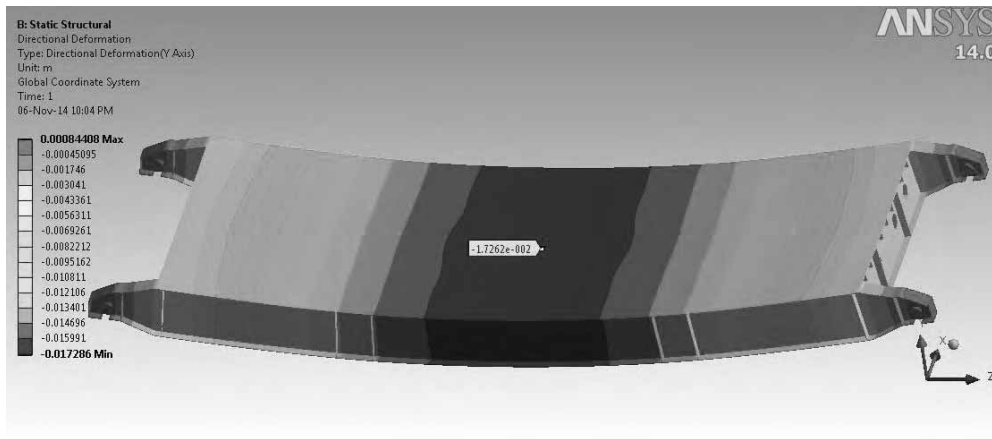


Рис. 4. Прогибы платформы

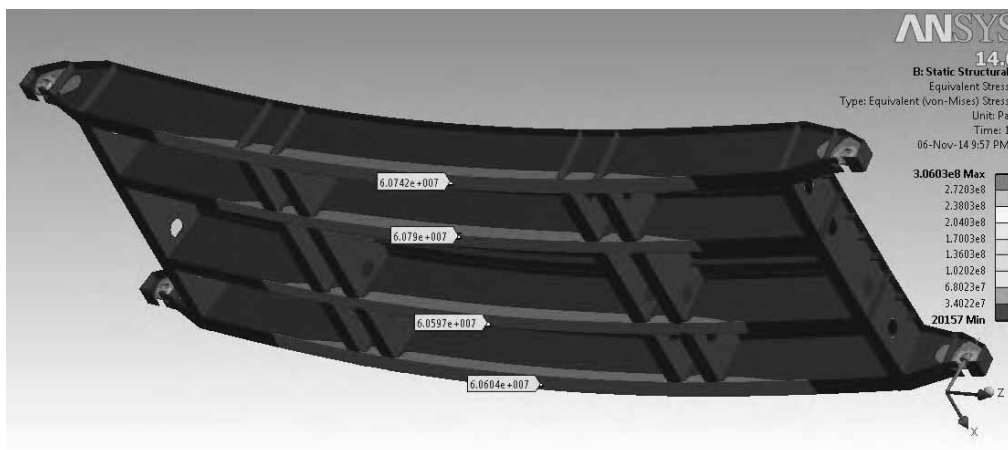


Рис. 5. Приведенные напряжения платформы

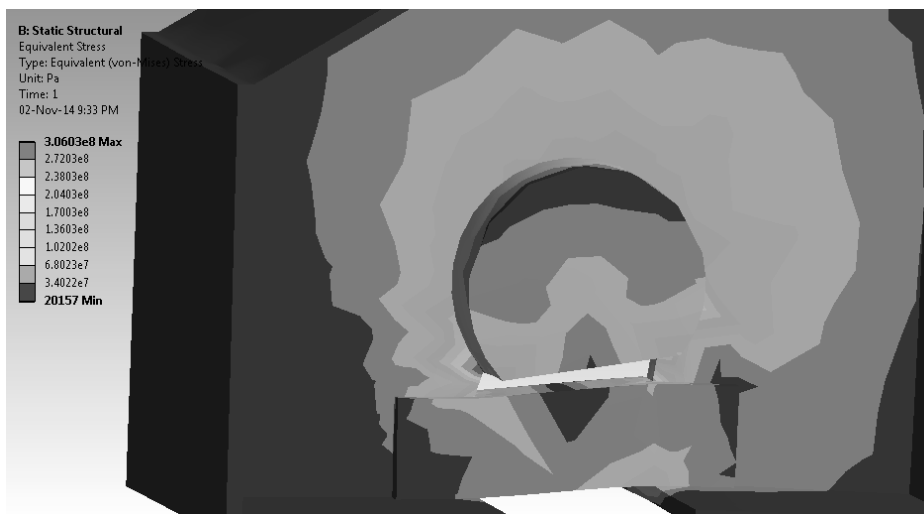


Рис. 6. Распределение приведенных напряжений в районе опирания

Расчет напряженно-деформированного состояния платформы как плоской стержневой конструкции

Расчетная схема платформы как системы пересекающихся балок включает в себя продольные связи, крайние из которых шарнирно опираются в концевых сечениях на жесткие опоры, а также поперечные связи, из которых средние представляют собой спаренные тавровые балки (рис. 7).

При определении геометрических характеристик поперечного сечения балок настил платформы включен в состав сечения в виде присоединенных поясков. Ширина их выбрана по рекомендациям действующих Норм прочности [4].

Расчет геометрических характеристик поперечного сечения балок выполнен в программном комплексе Excel. Результаты расчетов для реальных сечений и после их условной замены представлены в табл. 1.

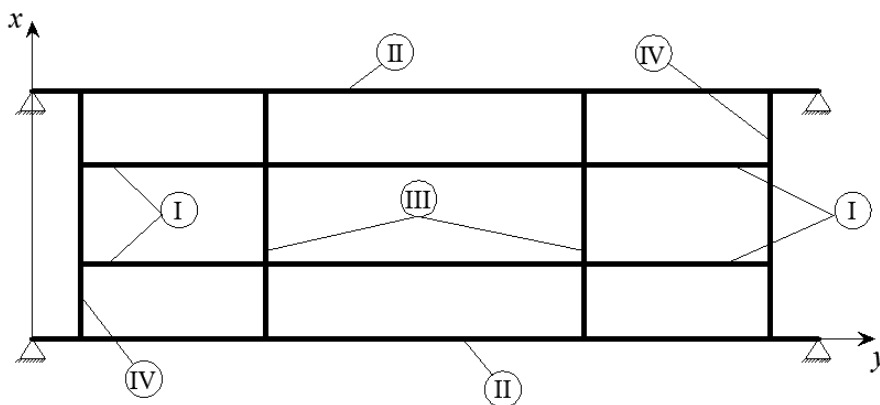
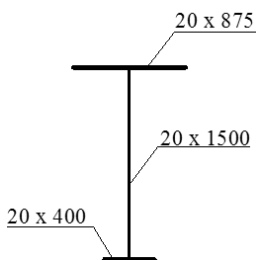


Рис. 7. Стержневая схема платформы

Таблица 1. Результаты расчетов геометрических характеристик поперечного сечения балок

№ п/п	Поперечные сечения балок, мм		Момент сопротивления, см ³	
	до замены	после замены	до замены	после замены
1			24302	24618
2			29955	30173
3			44229	44421

Продовж. табл. 1

№ п/п	Поперечные сечения балок, мм		Момент сопротивления, см ³	
	до замены	после замены	до замены	после замены
4			21571	

Геометрическая модель платформы как плоской стержневой конструкции создана в программном комплексе ANSYS, для чего использован программный модуль PREP7.

В расчетах приняты те же свойства стали 09Г2С, что и в объемной модели.

Генерация конечно-элементной сетки выполнена вручную по заданным параметрам. Элементная модель расчетной схемы представлена на рис. 8. Общее количество линейных элементов составляет 1572.

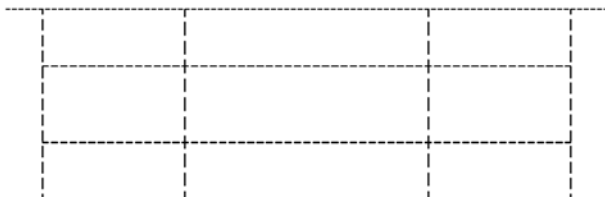


Рис. 8. Конечно-элементная модель расчетной стержневой схемы

При выполнении расчетов условия закрепления и нагрузки приняты такими же, как и в объемной расчетной схеме.

В результате получены прогибы платформы, которые представлены на рис. 9. Как показывает анализ результатов, максимальный прогиб достигает 20 мм по середине платформы.

Приведенные напряжения определены так же, как и в объемной расчетной схеме. Данные о приведенных напряжениях представлены на рис. 10. Максимальная величина составляет 72 МПа в средней части платформы.

Сравнение результатов расчета по упомянутым расчетным схемам представлено в табл. 2. Из таблицы следует, что расхождение как по прогибам, так и по приведенным напряжениям составляет около 15 %.

Таблица 2. Результаты расчетов по принятым расчетным схемам

Сравниваемые величины	Прогиб по середине платформы, мм	Приведенное напряжение в средней части платформы, МПа
Напряженно-деформированное состояние платформы как объемной конструкции	17	60,7
Напряженно-деформированное состояние платформы как стержневой конструкции	20	72
Относительная погрешность	15 %	15,7 %

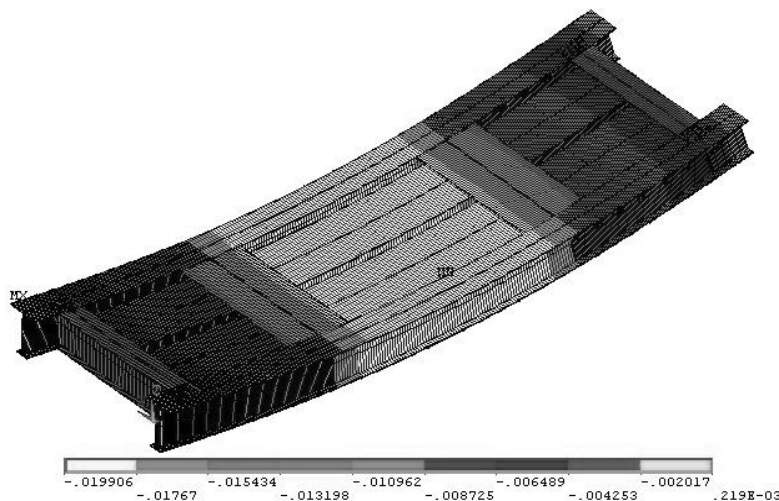


Рис. 9. Прогибы платформы

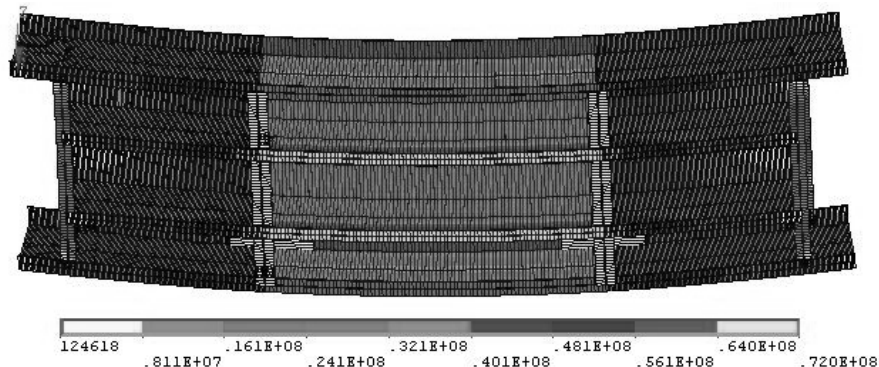


Рис. 10. Приведенные напряжения

ВЫВОДЫ

1. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния подъемной платформы плоской стержневой и объемной конструкций показали незначительную разницу по максимальным прогибам и приведенным напряжениям в средней части платформы. Вместе с тем расчет стержневой конструкции платформы требует значительно меньших затрат времени на выполнение исследований.

2. Уровни приведенных напряжений в средней части платформы значительно ниже величины допускаемых, регламентируемых Нормами [4]. В то же время в узлах опирания платформы величины упомянутых напряжений близки к пределу текучести материала.

3. Величины прогибов по середине платформы и в местах приложения давления не превышают 20 мм, что позволяет, в принципе, производить окончательный монтаж линии валопровода на построечном месте с упреждением упругой линии корпуса на тихой воде.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Басов, К. А. ANSYS: справочник пользователя [Текст] / К. А. Басов. – М. : Пресс, 2005. – 640 с.
- [2] Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера [Текст] : практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
- [3] Коростылев, Л. И. Исследование прочности платформы для спуска и подъема судов [Текст] / Л. И. Коростылев, Фам Нгуен Бак Тунг // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : матеріали V Міжнар. наук.-техн. конф., 8–10 жовтня 2014 р. – Миколаїв : НУК, 2014. – С. 49–50.
- [4] Регистр СССР. Нормы прочности морских судов [Текст]. – Л., 1991. – 92 с.
- [5] Фам Нгуен Бак Тунг. Особенности спуска судов на воду [Электронный ресурс] / Фам Нгуен Бак Тунг // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд : матеріали Всеукр. наук.-техн. конф. з міжнар. участю, 21–23 травня 2014 р. – Миколаїв : НУК, 2014. – Режим доступу: <https://docs.google.com/gview?url=http://conference.nuos.edu.ua>.
- [6] Фам Нгуен Бак Тунг. Исследование прочности платформы для спуска и подъема судов методом конечных элементов [Текст] / Фам Нгуен Бак Тунг // Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства : матеріали IV Всеукр. студ. наук. конф., 20 листопада 2014 р. – Херсон : ХДМА, 2014. – С. 94–95.

© Л. І. Коростильов, Фам Нгуен Бак Тунг

Надійшла до редколегії 18.09.2014

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. О. С. Рашковський