



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ  
METAL CONSTRUCTIONS**

2011, ТОМ 17, НОМЕР 4, 237–246

УДК 624.014: 624.047.2

(11)-0250-1

## **НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ТРАНСПОРТНОЇ РАМИ ЛЬДОСТІЙКОЇ СТАЛЕВОЇ ПЛАТФОРМИ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ НА ТОЧКУ ВСТАНОВЛЕННЯ**

**В. П. Сінцов, В. О. Мітрофанов, О. В. Сінцов**

*Національна академія природоохоронного і курортного будівництва,*

*вул. Павленко, 5, м. Сімферополь, АР Крим, Україна, 95006.*

*E-mail: sin59@bk.ru*

*Отримана 8 липня 2011; прийнята 25 листопада 2011.*

**Анотація.** Стаття присвячена питанням облаштування морських родовищ. За результатами державної експертизи родовище імені В. Філановського є найбільшим за запасами нафти родовищем, відкритим у Росії за останні 10 років. У 2013 році планується запуснути першу чергу з чотирма гідротехнічними спорудами, почати буріння та ввести в експлуатацію. Одним з гідротехнічних споруд є льодостійка сталева платформа (ЛСП). Ця споруда являє собою два сталевих опорних блоки, об'єднаних між собою багатоярусною сталевією палубою. При транспортуванні на точку облаштування для збереження конфігурації опорні блоки платформи об'єднуються транспортною рамою. Транспортування планується проводити на плаву буксирним способом при позитивній плавучості опорних блоків, які являють собою металеві резервуари, посилені системою стрингерів і шпангоутів і внутрішніми жорсткими перегородками. У роботі наведені дані досліджень напружено-деформованого стану (НДС) елементів транспортної рами ЛСП, що об'єднує опорні блоки при транспортуванні на точку встановлення. Транспортна рама та два опорних блоки ЛСП являють собою єдину плавальну систему типу «катамаран». Розроблено просторову модель системи «опорні блоки – транспортна рама». Досліджено ПДВ елементів просторової моделі при рекомендованих нормованих хвильових навантаженнях. Представлені результати чисельних досліджень напружено-деформованого стану елементів транспортної рами.

**Ключові слова:** льодостійка сталева платформа (ЛСП), транспортна рама, кінцевий елемент, метод кінцевого елемента, розрахункова модель.

## **НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ РАМЫ ЛЕДОСТОЙКОЙ СТАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ НА ТОЧКУ УСТАНОВКИ**

**В. П. Синцов, В. А. Митрофанов, А. В. Синцов**

*Национальная академия природоохранный и курортного строительства архитектуры,*

*ул. Павленко, 5, г. Симферополь, АР Крым, Украина, 95006.*

*E-mail: sin59@bk.ru*

*Получена 8 июля 2011; принята 25 ноября 2011.*

**Аннотация.** Статья посвящена вопросам обустройства морских месторождений. По результатам государственной экспертизы месторождение имени В. Филановского является самым крупным по запасам нефти месторождением, открытым в России за последние 10 лет. В 2013 году планируется запустить первую очередь с четырьмя гидротехническими сооружениями, начать бурение и ввести в эксплуатацию. Одним из гидротехнических сооружений является ледостойкая стальная платформа (ЛСП). Данное сооружение представляет два стальных опорных блока, объединенных между собой

многоярусной стальной палубой. При транспортировке на точку обустройства для сохранения конфигурации опорные блоки платформы объединяются транспортной рамой. Транспортировку планируется проводить на плаву буксировкой при положительной плавучести опорных блоков, которые представляют собой металлические резервуары, усиленные системой стрингеров и шпангоутов и внутренних жестких переборок. В работе приведены данные исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов транспортной рамы ледостойкой стальной платформы (ЛСП), объединяющей опорные блоки при транспортировке на точку установки. Транспортная рама и два опорных блока ЛСП представляют собой единую плавательную систему типа «катамаран». Разработана пространственная модель системы «опорные блоки – транспортная рама». Исследовано НДС элементов пространственной модели при рекомендованных нормированных волновых нагрузках. Представлены результаты численных исследований напряженно-деформированного состояния элементов транспортной рамы.

**Ключевые слова:** ледостойкая стальная платформа (ЛСП), транспортная рама, конечный элемент, метод конечного элемента, расчетная модель.

## STRESSED-DEFORM STATE OF THE TRANSPORT FRAME OF THE ICE-RESISTANT STEEL PLATFORM IN TRANSIT ON THE WORK POINT

Vladimir Sintsov, Vladimir Mitrofanov, Alexander Sintsov

*National Academy of Environmental Protection and Resort Development,*

*5, Pavlenko Str., Simferopol, Crimea, Ukraine, 95006.*

*E-mail: sin59@bk.ru*

*Received 8 July 2011; accepted 25 November 2011.*

**Abstract.** Article is devoted to offshore fields. According to the results of state expertise of V. Filanovsky deposit is the largest deposit of oil reserves, discovered in Russia in the last 10 years. In 2013, scheduled to start first with four waterworks, start drilling and put into operation. One of the waterworks is ice-resistant steel platform (LSP). This facility is supporting two steel blocks connected together multi-tiered steel deck. During transportation to the point arrangement to save the configuration jacket platform combined transport frame. Transportation plan to conduct afloat towing at the positive buoyancy of support units, which are metal tanks, reinforced by a system of stringers and ribs and internal hard bulkheads. The paper presents data from studies of stress-strain state (SSS) elements of the transport frame ice-resistant steel platform (LSP), which comprises the supporting blocks during transportation to the installation point. Transport frame and two supporting blocks LPS constitute a single system, such as swimming, «catamaran». Developed a spatial model of the «anchor blocks – transport frame». Investigated the VAT element of the spatial model for the recommended normalized wave loads. The results of numerical studies stress-strain state of elements of the transport frame.

**Keywords:** off-shore construction, transport frame, eventual element, method of eventual element, calculation model.

### Постановка задачи

Оценки запасов сырой нефти в бассейне Каспийского моря всегда разнились. Окончательной ясности нет и сегодня. Считается, что здесь сосредоточено от 4 до 8, а по некоторым западным данным – и до 18 процентов всех мировых запасов, что сделало этот регион предметом споров сразу после исчезновения страны

под названием Советский Союз. Большинство противоречий за 15 лет удалось урегулировать, хотя споры о разделе некоторых нефтяных и газовых месторождений Каспийского моря и сегодня омрачают отношения между Туркменистаном и Азербайджаном.

Месторождение имени В. Филановского. В начале 2006 года Лукойл объявил об открытии

крупнейшего многопластового нефтегазоконденсатного месторождения на лицензионном участке Северный, на структуре Южно-Ракушечная. Месторождение расположено в 220 км от Астрахани. Новое месторождение было названо в честь известного нефтяника Владимира Филановского, внесшего большой вклад в развитие нефтяной отрасли страны. Из скважины-первооткрывательницы в конце 2005 года получен фонтанный приток легкой безводной малосернистой нефти дебитом более 800 т/сут при депрессии 0,2 МПа. Такие дебиты в России известны только на единичных скважинах (средний дебит по России равен 10,5 т/сут) [1].

По результатам государственной экспертизы месторождение имени В. Филановского является самым крупным по запасам нефти месторождением, открытым в России за последние 10 лет [2]. Месторождения имени Ю. Корчагина и В. Филановского закладывают основу для будущей крупной шельфовой инфраструктуры нефтедобычи с надежной сырьевой базой и годовыми уровнями добычи порядка 8 млн тонн [1].

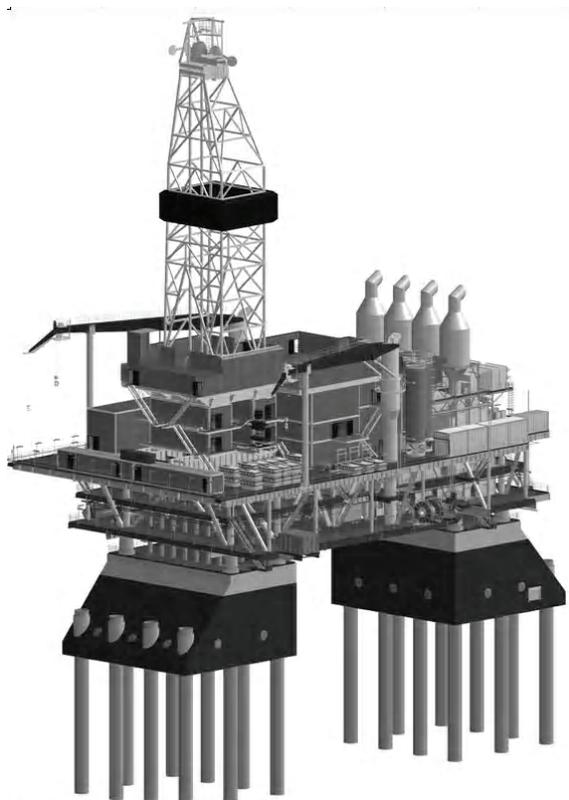


Рисунок 1. Общий вид платформы.

«Лукойл» планирует ввод в эксплуатацию данного месторождения углеводородного сырья на Северном Каспии в 2013–2014 гг. Это уникальное месторождение находится на мелководье в 115–118 км от берега. В 2013 году планируется запустить первую очередь с четырьмя гидротехническими сооружениями, начать бурение и ввести в эксплуатацию, на следующий год – проведение газо- и нефтепроводов к береговым сооружениям и далее на газоперерабатывающий комплекс [3, 4].

Одним из гидротехнических сооружений является ледостойкая стальная платформа (ЛСП), представленная на рис. 1. Данное сооружение представляет собой два стальных опорных блока, объединенных между собой многоярусной стальной палубой. На палубе располагаются технологические кубрики, обсадные трубы, буровой станок.

При транспортировке на точку обустройства для сохранения конфигурации опорные блоки платформы объединяются транспортной рамой. Транспортировку планируется проводить на плаву буксировкой при положительной плавучести опорных блоков, которые представляют собой металлические резервуары, усиленные системой стрингеров и шпангоутов и внутренних жестких переборок [5, 6, 7].

### Цель расчета

Проверка прочности элементов транспортной рамы и соответствие их конструкций требованиям норм [5, 8] в режиме транспортирования опорных блоков ледостойкой стационарной платформы ЛСП [7].

Расположение транспортной рамы – в уровне верха опорных блоков, выше ватерлинии, в местах расположения трубчатых стоек усиленных шпангоутов (рис. 2).

Условия расчета: высота волны – 2,0 м; длина волны до 70 м; уровень ответственности сооружения – I.

Расчет прочности и определение возникающих усилий в элементах транспортной рамы в процессе транспортировки проводится методом конечных элементов с реализацией в программном комплексе «Ли́ра 9.6» (ПК «Ли́ра») [9].

Для проведения исследований разработана пространственная модель опорных блоков

ледостойкой стационарной платформы, объединенных между собой транспортной рамой. При создании расчетной модели приняты жесткостные характеристики несущих элементов опорных блоков, полученные при расчете ледостойкой стационарной платформы на эксплуатационные нагрузки. Транспортная рама представляет собой пространственную стержневую конструкцию. Пояса транспортной рамы – составные стальные двутавры, решетка и связевые элементы – круглые бесшовные трубы (рис. 2).

### Определение нагрузок при транспортировке опорных блоков

Определение нагрузок при транспортировке опорных блоков выполнялось в соответствии с положениями методики «Расчет прочности соединительных конструкций корпусов катамаранов» [5, 6, 7].

В расчетах прочности соединительной транспортной рамы рассмотрены три его основные деформации: поперечный изгиб, поперечное скручивание и антисимметричная деформация, вызванная вертикальным изгибом корпусов в противоположных направлениях.

Для проверки прочности элементов транспортной рамы рассматривались следующие положения опорных блоков ЛСП при транспортировке относительно волны:

- при «тихой» воде (рис. 3);
- лагом на волне (курсовой угол  $\varphi = 90^\circ$ ), когда поперечный изгибающий момент максимален (рис. 4);
- при косом курсе к волне, при котором одновременно с поперечным изгибом наблюдается поперечное скручивание (рис. 5);
- при косом угле к волне, при котором корпуса изгибаются в противоположных направлениях (рис. 5).

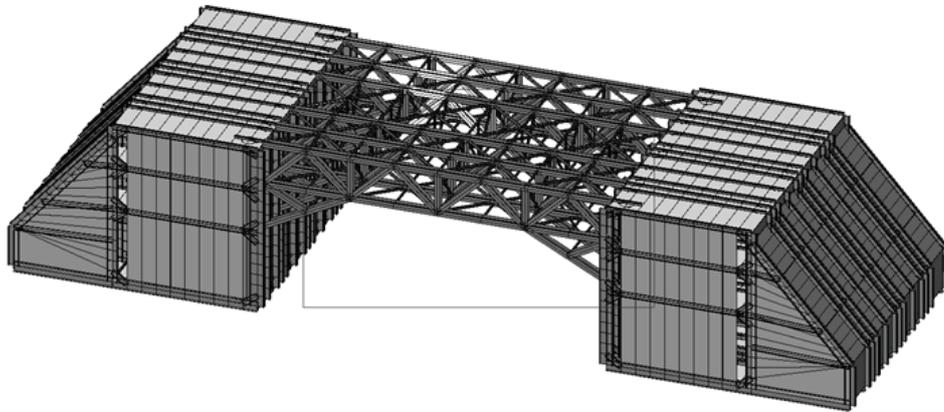


Рисунок 2. Общий вид пространственной модели ЛСП.

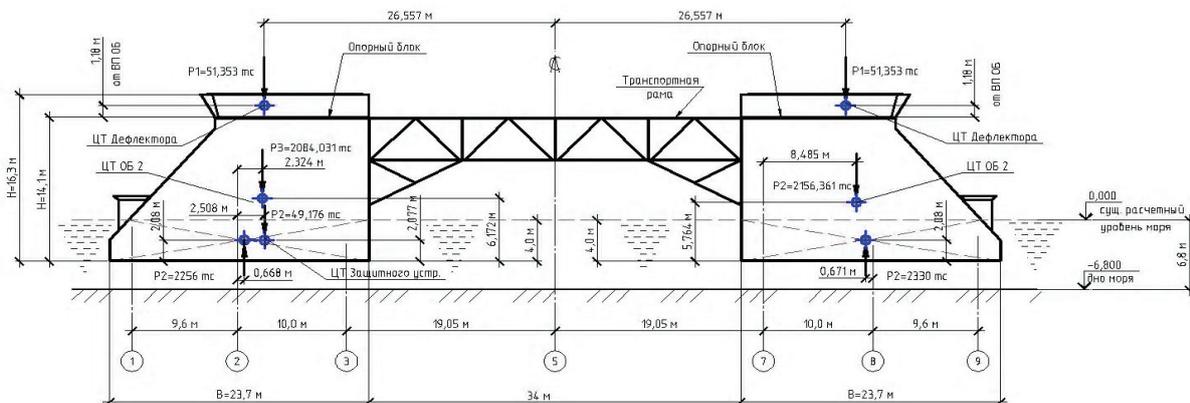


Рисунок 3. Схема приложения нагрузок при «тихой» воде.

В качестве основного элемента для создания расчетной модели принят конечный элемент 41 – элемент для создания оболочки, и прочих пластинчатых конструкций, а для балок, стоек принят конечный элемент 10 с соответствующими жесткостными характеристиками.

Определение возникающих усилий в элементах транспортной рамы в процессе транспортировки выполнен методом конечных элементов с реализацией в программном комплексе «Лири 9.6». Результаты в виде мозаик про-

должных усилий в элементах транспортной рамы приведены на рис. 6–8.

### Результаты расчета

По результатам статического расчета была составлена таблица расчетных сочетаний усилий РСУ. Далее в подпрограмме «ЛИР-СТК» на основе данных РСУ выполнена проверка сечений элементов транспортной рамы при транспортировке опорных блоков на точку установки.

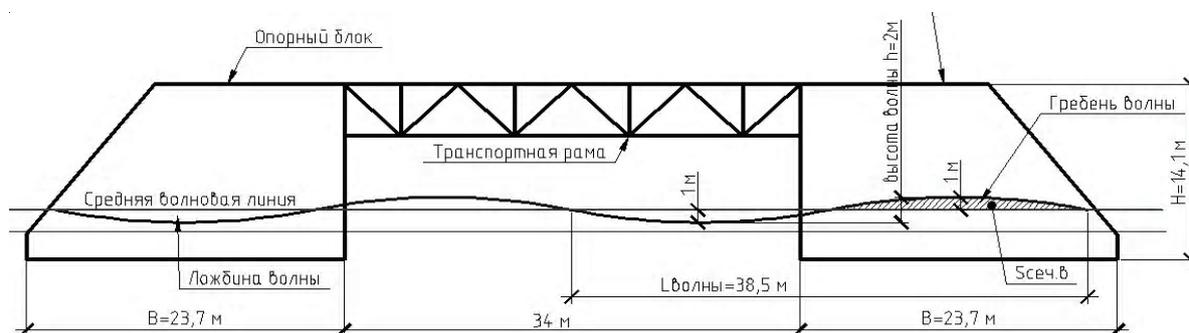


Рисунок 4. Схема приложения нагрузок лагом на волне (курсовой угол  $\varphi = 90^\circ$ ).

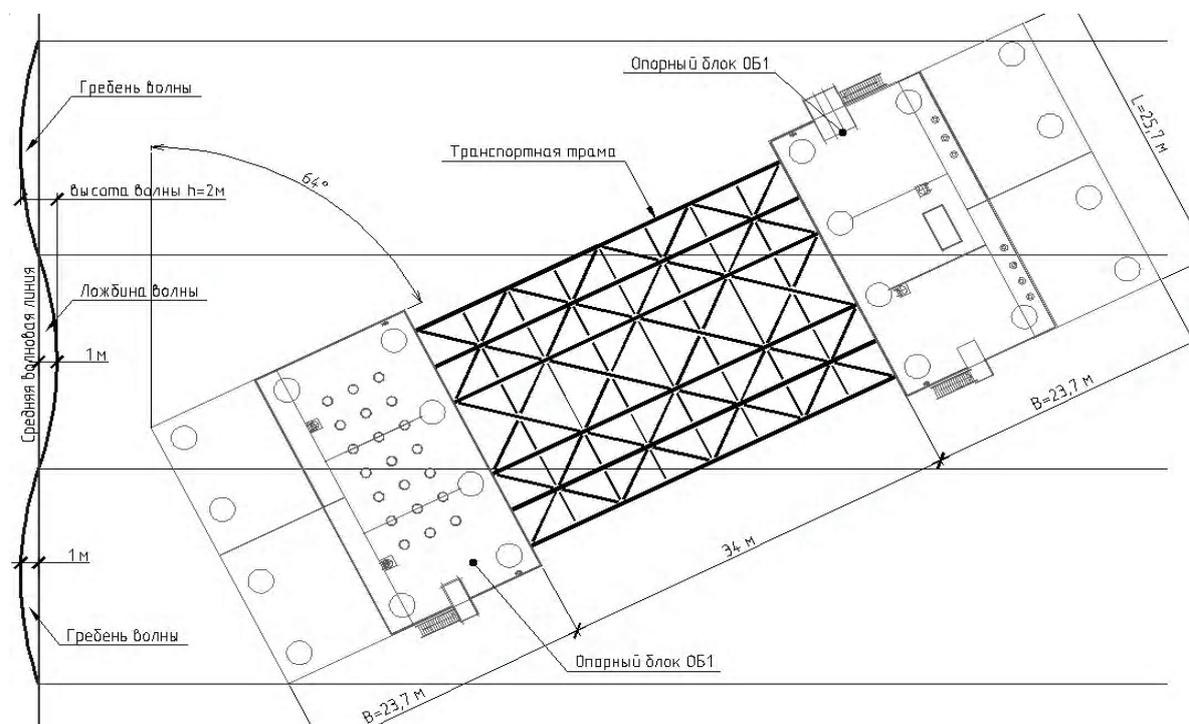
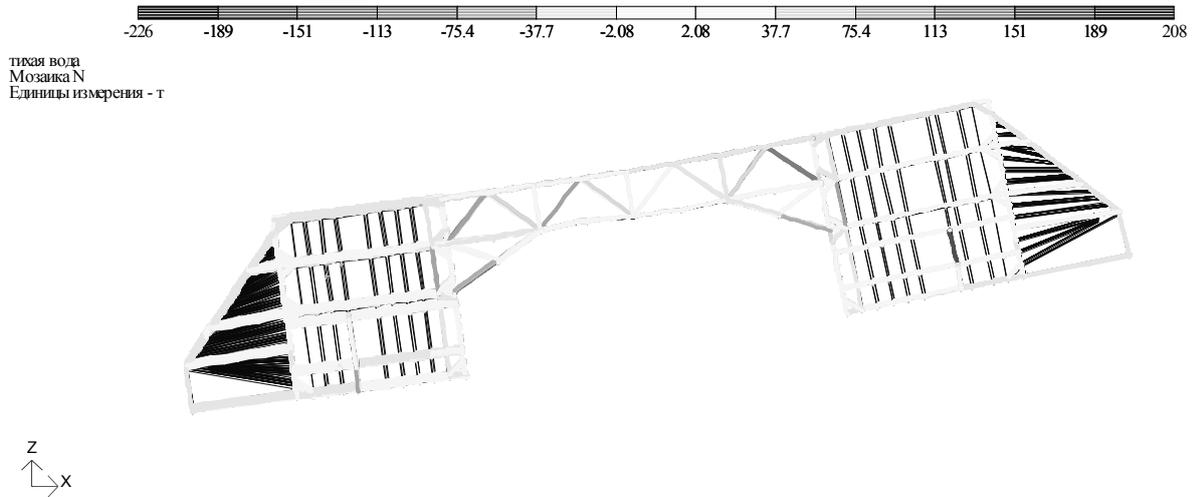
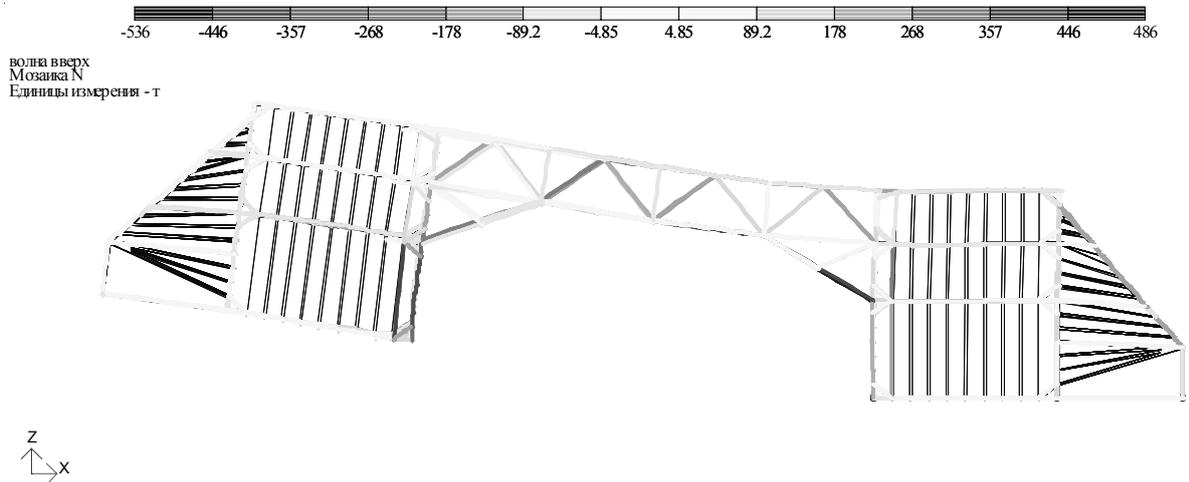


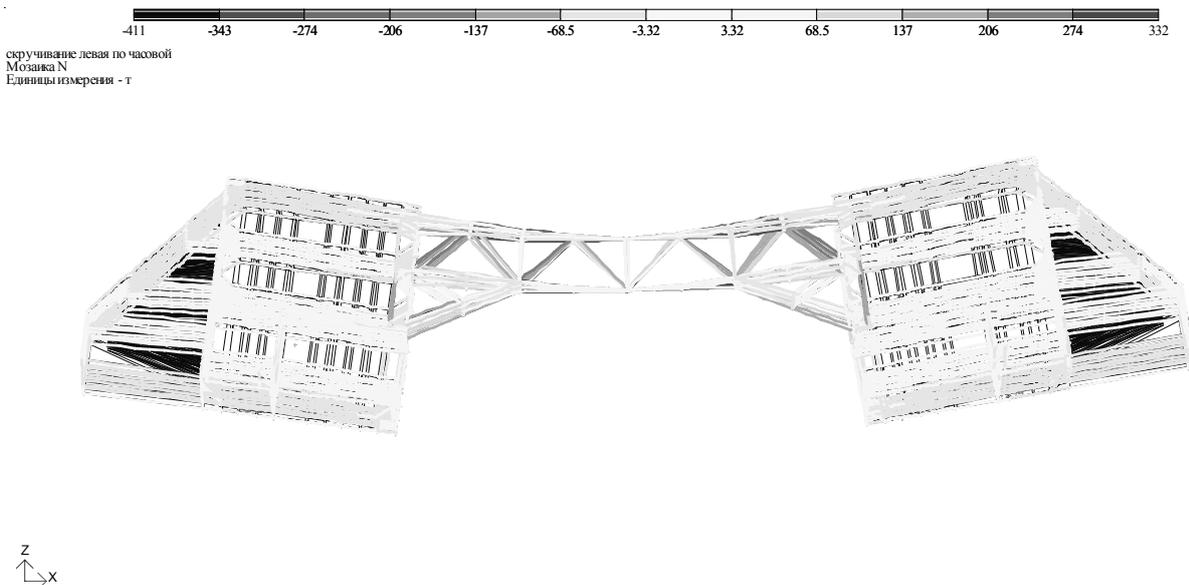
Рисунок 5. При косом курсе к волне, при котором одновременно с поперечным изгибом наблюдается поперечное скручивание.



**Рисунок 6.** Продольные усилия в стержневых элементах транспортной рамы при «тихой» воде.



**Рисунок 7.** Продольные усилия в стержневых элементах транспортной рамы при волне вверх.



**Рисунок 8.** Продольные усилия в стержневых элементах транспортной рамы при скручивании.

Расчет прочности выполнен в соответствии с п. 2.4 «Критерии прочности» и п. 2.5 «Положения по расчетам прочности» [5]. Класс стали С 345 элементов транспортной рамы определен заказчиком проекта, в расчете данному классу стали соответствует марка стали 09Г2С по ГОСТ 19281-73\*.

Результаты проверки сечений элементов транспортной рамы по предельным состояниям [5, 8] представлены на рис. 9, 10 и отдельно элемента в табличной форме на рис. 11.

Данная версия ЛИР-СТК создает таблицы результатов в зависимости от вида элемента. Для каждого из видов элементов таблицы имеют свою шапку. То есть, существуют таблицы

для ФЕРМ, БАЛОК, КОЛОНН и др. При конструировании элементов транспортной рамы учтены результаты конструктивного расчета.

### Вывод

Созданная пространственная модель опорных блоков, объединенных транспортной рамой, позволила определить сечения элементов и их напряженно-деформированное состояние. По результатам расчета была запроектирована конструкция транспортной рамы, необходимой для транспортировки ЛСП на точку установки.

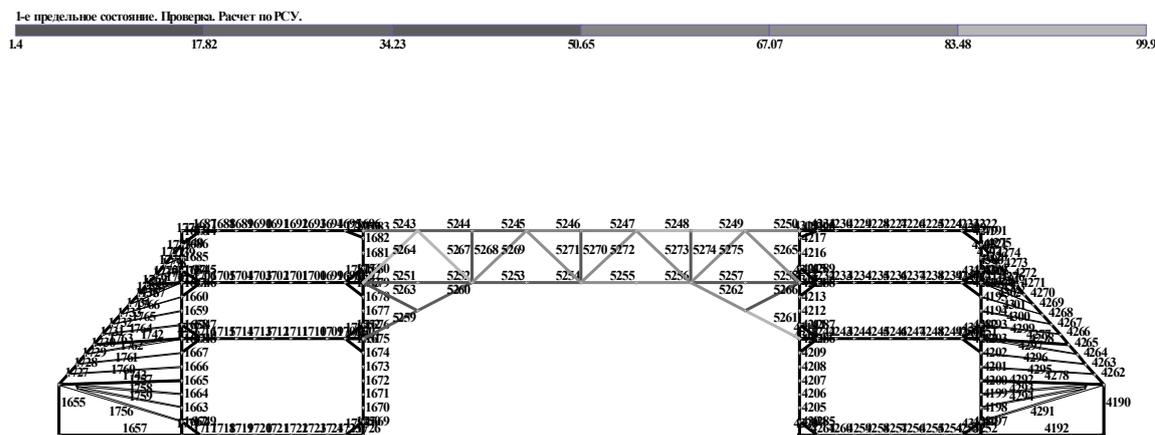


Рисунок 9. Результаты проверки элементов по 1-ому предельному состоянию.

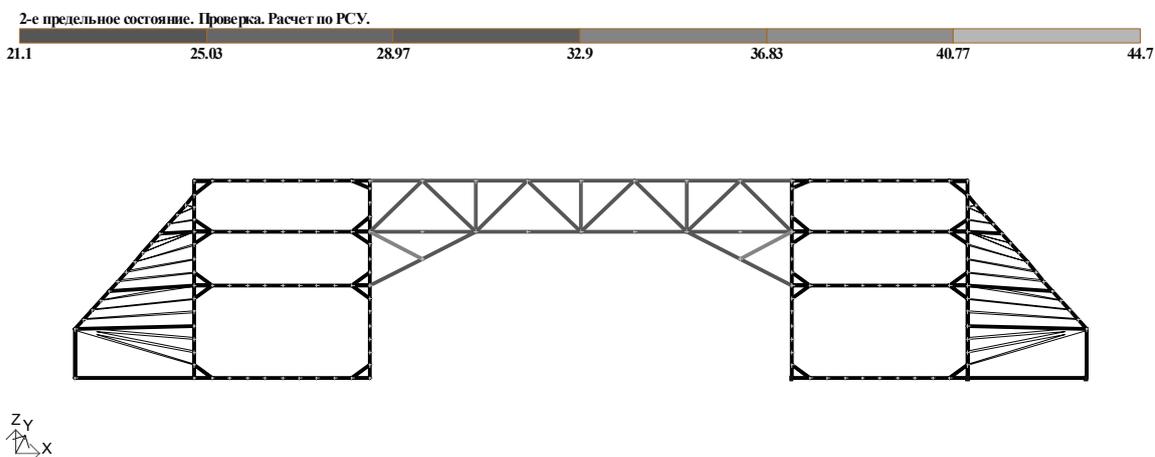


Рисунок 10. Результаты проверки элементов по 2-ому предельному состоянию.

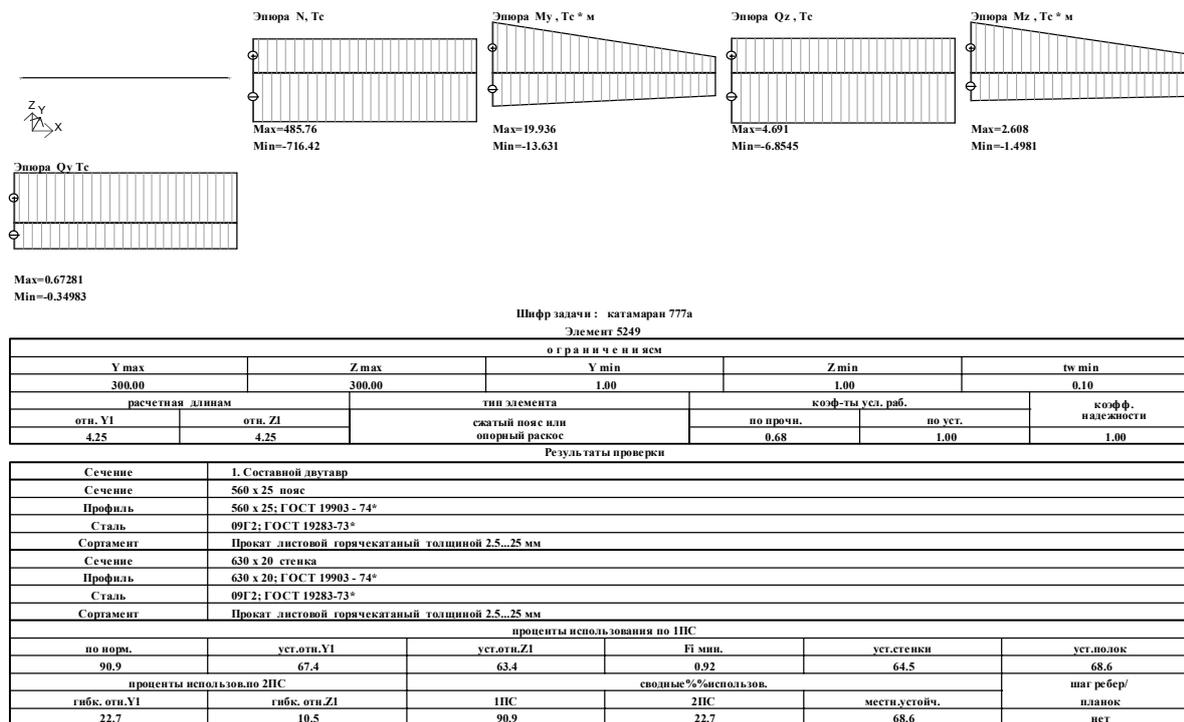


Рисунок 11. Результаты проверки элемента пояса № 5249 по предельным состояниям.

## Литература

1. Бочкарев, А. В. Катагенез и прогноз нефтегазоносности недр [Текст] / А. В. Бочкарев, В. А. Бочкарев. – М. : ВНИИОЭНГ, 2006. – 324 с.
2. Бочкарев, В. А. Направленные поиски нефтяных, нефтегазовых и газоконденсатных месторождений в российском секторе Каспия [Текст] / В. А. Бочкарев, Е. В. Сербина // Геология, бурение и разработка нефтяных месторождений Прикаспия и Каспийского моря и нефтегазоносности Волгоградского Поволжья. – Волгоград : ООО «ЛУКОЙЛ-ВолгоградНИПИморнефть», 2003. – Вып. 61. – С. 12–21.
3. Бочкарев, В. А. Прогноз фазового состояния УВ в залежах Самурско-Центрально-Каспийской системы поднятий [Текст] / В. А. Бочкарев, П. А. Карпов, Е. В. Сербина // Вопросы геологии и нефтегазоносности Волгоградского Поволжья. – Волгоград : ООО «ЛУКОЙЛ-ВолгоградНИПИморнефть», 2002. – Вып. 59. – С. 12–21.
4. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок (ПБУ) и морских стационарных платформ (МСП) по состоянию на 30.06.2008 [Текст] / Российский Морской Регистр Судоходства (РМРС). – НД № 2-020201-008. – Офиц. изд. – Санкт-Петербург, 2008. – 502 с. – (Библиотека официальных изданий). – ISBN 5-89331-116-7.
5. Правила классификации, постройки и оборудования морских судов, по состоянию на 30.04.2008

## References

1. Bochkarev, A. V.; Bochkarev, V. A. Katagenesis and forecast of oil and goes content of resources. Moscow: VNIIOENG, 2006. 324 p. (in Russian)
2. Bochkarev, V. A.; Serbina, E. V. Directed search of oil, oil and goes and goes-condensate deposit in Caspian Sea Russian sector. In *Geology, drilling and development of oil deposit of Caspian Sea region and oil and goes content of Volga region*. Volgograd: LUKOIL-VolgogradNIPImorneft, 2003, Vol. 61, p. 12–21. (in Russian)
3. Bochkarev, V. A.; Karpov, P. A.; Serbina, E. V. Forecast of phase state in deposit of Samursk Central Caspian System of lifting. In *Problem of geology and oil and gas content of Volga region*. Volgograd: LUKOIL-VolgogradNIPImorneft, 2002, Vol. 59, p. 12–21. (in Russian)
4. Russian register of shipping of navigation, Rules of classifying, construction and equipment of floating drilling rig and offshore fixed platform in effect on 30.06.2008. ND № 2-020201-008. St. Petersburg, 2008. 502 p. ISBN 5-89331-116-7. (in Russian)
5. Russian register of shipping of navigation. Rules of classifying, construction and equipment of sea crafts in effect on 30.06.2008. ND № 2-020101-052. St. Petersburg, 2008. 480 p. ISBN 5-89331-120-5. (in Russian)
6. Departmental building norms, Design of the offshore fixed platform: VSN 51.3-85. Moscow: Mingazprom, 1985. 66 p. (in Russian)

- [Текст] / Российский Морской Регистр Судоходства (РМРС). – НД № 2-020101-052. – Офиц. изд. – Санкт-Петербург, 2008. – 480 с. – (Библиотека официальных изданий). – ISBN 5-89331-120-5.
6. Ведомственные строительные нормы. Проектирование морских стационарных платформ [Текст] : ВСН 51.3-85. – Взамен ВСН 51.1-81. – М. : Мингазпром, 1985. – 66 с.
  7. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия [Текст] : СНиП 2.01.07-85\*. – Взамен главы СНиП II-6-74 ; введ. 1987-01-01. – М. : ФГУП ЦПП, 2005. – 44 с.
  8. Строительные нормы и правила. Стальные конструкции [Текст] : СНиП II-23-81\*. – Взамен СНиП II-В.3-72; СНиП II-И.9-62; СН 376-67 ; введ. 1982-01-01. – М. : ФГУП ЦПП, 2005. – 90 с.
  9. Кулагин, В. Д. Теория и устройство промысловых судов [Текст] : Учебник для вузов / В. Д. Кулагин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Судостроение, 1986. – 392 с.
  10. Гуральник, Б. С. Оценка посадки, остойчивости и поведения судна в процессе эксплуатации [Текст] / Б. С. Гуральник, Л. Е. Мейлер. – Калининград : БГА РФ, 2003. – 28 с.
  11. Смирнов, Н. Г. Теория и устройство судна [Текст] : Учебник / Н. Г. Смирнов. – М. : Транспорт, 1992. – 248 с.
  12. Барабанов, Н. В. Конструкция корпуса морских судов [Текст] / Н. В. Барабанов. – Л. : Судостроение, 1981. – 551 с.
  13. Бородавкин, П. П. Морские нефтегазовые сооружения. Часть 1. Конструирование [Текст] / П. П. Бородавкин. – М. : Недра-Бизнесцентр, 2006. – 560 с. – ISBN 5-8365-0260-9.
  14. Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе [Текст] : Учебник для вузов / Г. В. Симаков, К. Н. Шхинек, В. А. Смелов [и др.]. – Л. : Судостроение, 1989. – 328 с. : ил. – ISBN 5-7355-0071-6.
  15. Пакеты прикладных программ для автоматизированного проектирования конструкций [Текст] / М. С. Барабаш, Ю. Д. Гераймович, А. Н. Кекух [и др.] ; Под ред. Академика РААСН А. С. Городецкого. – К. : Факт, 2006. – 112 с.
  7. Building Norms and Regulations. Loads and actions: SNiP 2.01.07-85\*. Moscow: FGUP TsPP, 2005. 44 p. (in Russian)
  8. Structural Rules and Regulations. Steel structures: SNiP II-23-81\*. Moscow: FGUP TsPP, 2005. 90 p. (in Russian)
  9. Kulagin, V. D. Analysis and arrangement of catching vessel. Textbook, the second edition, processing and add. Leningrad: Sudostroenie, 1986. 392 p. (in Russian)
  10. Guralnik, B. S.; Meiler, L. E. Estimation of ship sitting, stiffness and movement during maintenance. Kaliningrad: BGA RF, 2003. 28 p. (in Russian)
  11. Smirnov, N. G. Analysis and arrangement of vessel. Textbook. Moscow: Transport, 1992. 248 p. (in Russian)
  12. Barabanov, N. V. Body design of ships. Leningrad: Sudostroenie, 1981. 551 p. (in Russian)
  13. Borodavkin, P. P. Sea oil and gas structures the first part. Design engineering. Moscow: Nedra-Biznessentr, 2006. 560 p. ISBN 5-8365-0260-9. (in Russian)
  14. Simakov, G. V.; Shhinek, K. N.; Smelov, V. A. et al. Sea hydraulic engineering structures on the continental shelf. Textbook. Leningrad: Sudostroenie, 1989. 328 p. ISBN 5-7355-0071-6. (in Russian)
  15. Barabash, M. S.; Geraimovich, Yu. D.; Kekuh, A. N. et al. Ed. A. S. Gorodetskii. Application programs for automated engineering of constructions. Kyiv: Fakt, 2006. 112 p. (in Russian)

**Сінцов Володимир Петрович** — к. т. н., доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій Кримської академії природоохоронного та курортного будівництва. Наукові інтереси: металеві конструкції висотних споруд зв'язку і нетрадиційних джерел енергії (вежі й щогли), металеві каркаси багатопверхових будівель при сейсмостійкому будівництві, опорні конструкції морських сталевих стаціонарних платформ.

**Мітрофанов Володимир Олексійович** — к. т. н., доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій Кримської академії природоохоронного та курортного будівництва. Наукові інтереси: металеві конструкції висотних споруд зв'язку і нетрадиційних джерел енергії (вежі й щогли), металеві каркаси багатопверхових будівель при сейсмостійкому будівництві, опорні конструкції морських сталевих стаціонарних платформ.

**Сінцов Олександр Володимирович** — асистент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій Кримської академії природоохоронного та курортного будівництва. Наукові інтереси: складові балки, металеві каркаси багатопверхових будівель при сейсмостійкому будівництві.

**Синцов Владимир Петрович** – к. т. н., доцент кафедры металлических и деревянных конструкций Крымской академии природоохранного и курортного строительства. Научные интересы: металлические конструкции высотных сооружений связи и нетрадиционных источников энергии (башни и мачты), металлические каркасы многоэтажных зданий при сейсмостойком строительстве, опорные конструкции морских стальных стационарных платформ.

**Митрофанов Владимир Алексеевич** – к. т. н., доцент кафедры металлических и деревянных конструкций Крымской академии природоохранного и курортного строительства. Научные интересы: металлические конструкции высотных сооружений связи и нетрадиционных источников энергии (башни и мачты), металлические каркасы многоэтажных зданий при сейсмостойком строительстве, опорные конструкции морских стальных стационарных платформ.

**Синцов Александр Владимирович** – ассистент кафедры металлических и деревянных конструкций Крымской академии природоохранного и курортного строительства. Научные интересы: составные балки, металлические каркасы многоэтажных зданий при сейсмостойком строительстве.

**Vladimir Sintsov** – PhD (Eng), an Associate Professor of the Metallic and Wooden Constructions Department of the National Academy of Environmental Protection and Resort Development. Scientific interests: metallic constructions of high structures of connection and untraditional energy sources (towers and masts); metallic frameworks of multi-storey buildings at seismic resistant building; entablatures of marine steel stationary platforms.

**Vladimir Mitrofanov** – PhD (Eng), an Associate Professor of the Metallic and Wooden Constructions Department of the National Academy of Environmental Protection and Resort Development. Scientific interests: metallic constructions of high structures of connection and untraditional energy sources (towers and masts); metallic frameworks of multi-storey buildings at seismic resistant building; entablatures of marine steel stationary platforms.

**Alexander Sintsov** – an assistant of Metallic and the Wooden Constructions Department of the National Academy of Environmental Protection and Resort Development. Scientific interests: component beams; metallic frameworks of multi-storey buildings at seismic resistant building.