

УДК 629.5.065+539.4.014  
EDN: KBYNEC

А.С. Морозов, М.Н. Художиллов  
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСА ФРИКЦИОННОГО ГРУЗОЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА

**Объект и цель научной работы.** Целью исследования является определение расчетной модели, позволяющей наиболее достоверно производить оценку напряженно-деформированного состояния корпуса фрикционного грузозахватного устройства (ГЗУ).

**Материалы и методы.** Для численного анализа напряженно-деформируемого состояния расчетной модели используется метод конечных элементов.

**Основные результаты.** Произведен численный анализ четырех расчетных моделей корпуса фрикционного грузозахватного устройства. Выполнен сравнительный анализ результатов численного моделирования и определена расчетная модель, учитывающая приемлемые результаты расчета и требующая наименьшую трудоемкость при ее подготовке.

**Заключение.** Выполненное исследование позволяет определить параметры, которые необходимо выбрать для создания расчетной модели при выполнении численного исследования напряженно-деформированного состояния корпуса фрикционного грузозахватного устройства.

**Ключевые слова:** съемное фрикционное грузозахватное устройство, напряженно-деформированное состояние, эквивалентные напряжения, прочность и жесткость конструкции, метод конечных элементов.

*Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.*

UDC 629.5.065+539.4.014  
EDN: KBYNEC

A.S. Morozov, M.N. Khudozhilov  
M.V. Lomonosov Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

## NUMERICAL STUDY ON STRESS-STRAIN STATE OF FRICTION-TYPE LOAD GRIPPER BODY

**Object and purpose of research.** The purpose of study is to define the calculation model to estimate stress-strain state of the friction-type load gripper body in the most reliable way.

**Materials and methods.** The finite element method is used for numerical analysis of stress-strain state in the calculation model.

**Main results.** Numerical analysis of friction-type load gripper is performed for four calculation model options. Results of numerical simulations are compared and the calculation model is determined, which takes into account acceptable calculation results and requires the least preparation before application.

**Conclusion.** The study allows us to determine parameters, which have to be selected for the calculation model to carry out numerical analysis of the friction-type load gripper body stress-strain state.

**Keywords:** removable friction-type load gripper, stress-strain state, equivalent stresses, strength and stiffness of structure, finite element method.

*The authors declare no conflicts of interest.*

*Для цитирования:* Морозов А.С., Художиллов М.Н. Численное исследование напряженно-деформированного состояния корпуса фрикционного грузозахватного устройства. Труды Крыловского государственного научного центра. 2023; 4(406): 74–76.

*For citations:* Morozov A.S., Khudozhilov M.N. Numerical study on stress-strain state of friction-type load gripper body. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2023; 4(406): 74–76 (in Russian).

Интенсификация судостроительного производства невозможна без применения технологий с использованием современного грузоподъемного оборудования [2]. Применение съемных фрикционных грузозахватных устройств (рис., см. вклейку) позволяет минимизировать использование приварных обухов для грузоподъемных операций крупногабаритных судовых конструкций, что способствует снижению себестоимости транспортировочных операций [3]. Фрикционные эксцентрикковые ГЗУ, к сожалению, не имеют отечественных аналогов, поэтому их проектирование и производство являются актуальными задачами.

Корпус ГЗУ является основным несущим элементом его конструкции. Сложность геометрической формы, наличие конструктивных элементов с резко изменяемой геометрией сечения вызывают концентрацию напряжений, трудно определяемую традиционными методами сопротивления материалов и строительной механики [1]. Это позволяет дать лишь приблизительное значение расчетных напряжений, поэтому при проектировании традиционными методами конструкторы вносят большие запасы прочности, что делает конструкцию корпуса излишне металлоемкой.

Использование численных методов расчетов, основанных на анализе конечных элементов, позволяет производить более полную оценку жесткости и прочности проектируемых изделий [4]. Однако методики исследования напряженно-деформированного состояния корпусов съемных грузозахватных приспособлений не разработаны, поэтому существует проблема разработки расчетной модели, которая может иметь большое количество вариантов ее реализации. Особенности метода конечных элементов являются большой объем вычислений и значительное время на подготовку рас-

четной модели, что делает исследование трудоемким при наличии большого количества расчетных схем.

Целью исследования является определение таковой расчетной модели, которая позволит быстро и точно производить оценку напряженно-деформированного состояния.

Рассмотрим общую расчетную схему (табл. 1, см. вклейку), в которой определены значения основных нагрузок, действующих на корпус захвата, и точки их приложения [2].

В качестве расчетных моделей рассмотрим следующие варианты, условия которых сведены в табл. 2.

Для обеспечения качества результатов исследуемых величин во всех рассматриваемых вариантах используем сетку конечных элементов с одинаковой частотой аппроксимации. Для упругой и упругопластической модели материалов были использованы механические характеристики стали 10ХСНД [5]. После произведенных расчетов выполнен сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния, рассматриваемых расчетных схем, определены места наибольшей концентрации напряжения. В качестве контролируемого концентратора напряжения определен участок  $G$  в табл. 1. Проверка жесткости проводилась по замерам суммарной деформации в точках  $E$  и  $F$ . Результаты анализа приведены в табл. 3 (см. вклейку).

Как видно из полученных результатов, среднее значение эквивалентных напряжений в вариантах моделей, имеющих возможность определения упругопластических деформаций, увеличивается на 12,5 %. Это можно объяснить небольшим увеличением деформации корпуса ГЗУ при его нагружении, за счет незначительного пластического течения материала в зоне геометрических концентраторов напряжения.

**Таблица 2.** Варианты расчетных моделей

**Table 2.** Calculation model options

Особенности расчетной модели	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Твердотельная конструкция, состоящая из одной детали	V	×	V	×
Составная твердотельная конструкция с моделированием условия неразрывного контакта между деталями	×	V	×	V
Модель материала, определяющая только упругие деформации	V	V	×	×
Модель материала, определяющая упругие и пластические деформации	×	×	V	V

В целом проанализировав напряженно-деформированное состояние корпуса ГЗУ по всем вариантам расчетных моделей, можно сделать вывод, что полученные результаты изменяются незначительно. Поэтому для инженерных расчетов следует использовать модель, которая имеет наименьшую трудоемкость при ее создании, обеспечивает более качественную сетку конечных элементов и занимает минимальное машинное время при вычислениях [6]. Этим требованиям наиболее соответствует расчетная схема В, имеющая составную конструкцию корпуса ГЗУ и модель материала, учитывающую только его упругие свойства.

## Список использованной литературы

1. *Вайнсон А.А., Андреев А.Ф.* Крановые грузозахватные устройства: справочник. Москва: Машиностроение, 1982. 303 с.
2. *Морозов А.С.* Повышение эффективности технологического оснащения погрузочных и монтажных работ в судостроении и судоремонте: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.04 / А.С. Морозов; Санкт-Петербургский государственный морской технический университет. Санкт-Петербург, 2009. 151 с.
3. *Руденко А.В.* Рычажно-эксцентриковые грузозахватные устройства // Судостроение. 1992. № 6. С. 37–38.
4. *Сегерлинд Л.* Применение метода конечных элементов. Москва: Мир, 1979. 392 с.
5. Свойства стали 10XCHД // [metallicheckiy-portal.ru](https://metallicheckiy-portal.ru): [сайт]. URL: [https://metallicheckiy-portal.ru/marki\\_metallov/stk/10XSHD](https://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stk/10XSHD) (дата обращения 01.11.2022).
6. *Stolarski T., Nakasone Y., Yoshimoto S.* Engineering Analysis with ANSYS Software. Amsterdam; Boston: Butterworth-Heinemann, 2006. XV, 456 p.

## References

1. *Vainson A.A., Andreev A.F.* Crane load grippers: handbook. Moscow: Machine Engineering, 1982. 303 p. (*in Russian*).
2. *Morozov A.S.* Efficiency improvement of tooling for loading & assembly jobs in shipbuilding and repair: Cand. Sci. Thesis: 05.08.04 / A.S. Morozov; St. Peters-

burg Marine Technical University. St. Petersburg, 2009. 151 p. (*in Russian*).

3. *Rudenko A.V.* Arm-eccentric load grippers // *Sudostroenie*. 1992. No. 6. P. 37–38 (*in Russian*).
4. *Segerlind L.* Applied Finite Element Analysis. Moscow: Mir, 1979. 392 p. (*in Russian*).
5. Properties of steel 10XSHД // [metallicheckiy-portal.ru](https://metallicheckiy-portal.ru): [site]. URL: [https://metallicheckiy-portal.ru/marki\\_metallov/stk/10XSHD](https://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stk/10XSHD) (Accessed: 01.11.2022) (*in Russian*).
6. *Stolarski T., Nakasone Y., Yoshimoto S.* Engineering Analysis with ANSYS Software. Amsterdam; Boston: Butterworth-Heinemann, 2006. XV, 456 p.

## Сведения об авторах

*Морозов Алексей Сергеевич*, к.т.н., доцент кафедры проектирования подъемно-транспортного и технологического оборудования Института судостроения и морской арктической техники Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова. Адрес: 163002, Россия, Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17. Тел.: +7 (8184) 539-569, вн. 3463. E-mail: a.morozov@narfu.ru.

*Художиллов Матвей Николаевич*, студент 5-го курса (направление подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства») Института судостроения и морской арктической техники Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова. Адрес: 163002, Россия, Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17. E-mail: hudozhilov.m@edu.narfu.ru.

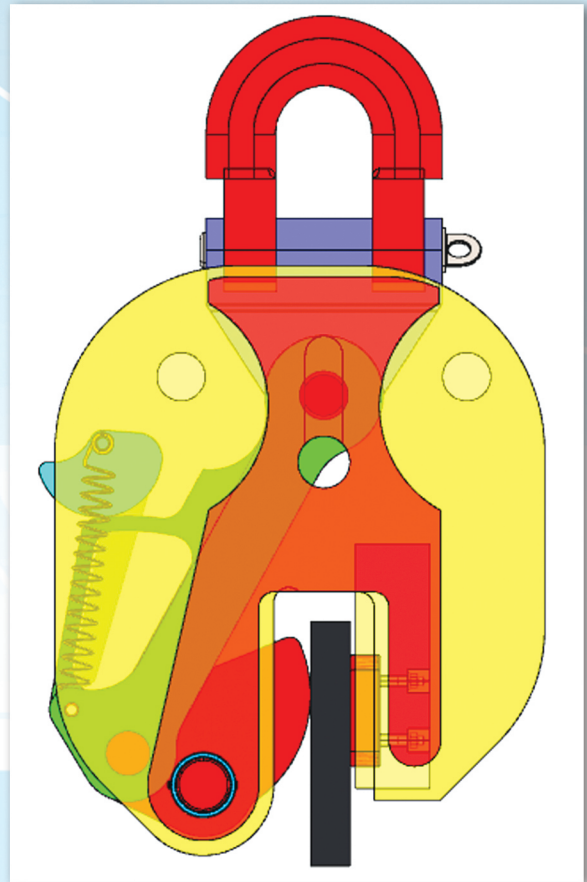
## About the authors

*Aleksei S. Morozov*, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of Chair for Design of lifting, handling and auxiliary equipment, Institute of Shipbuilding and Marine Arctic Technologies of Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. Address: 17, nab. Severnoi Dviny, Archangelsk, Russia, post code 163002. Tel.: +7 (8184) 539-569, ext. 3463. E-mail: a.morozov@narfu.ru.

*Matvei N. Khudozhilov*, 5<sup>th</sup> year student (major: 23.05.01 Land-based transport and auxiliary systems) of Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. Address: 17, nab. Severnoi Dviny, Archangelsk, Russia, post code 163002. E-mail: hudozhilov.m@edu.narfu.ru.

Поступила / Received: 26.05.23  
Принята в печать / Accepted: 29.11.23  
© Морозов А.С., Художиллов М.Н., 2023

**Рис.** Съемное фрикционное грузозахватное устройство  
**Fig.** Removable friction-type load gripper



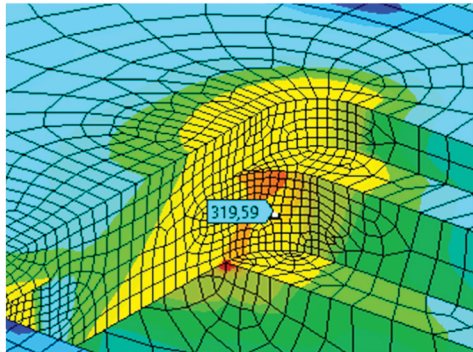
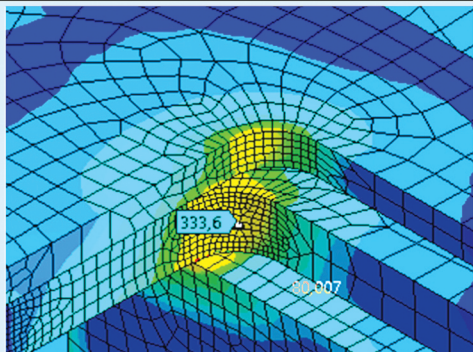
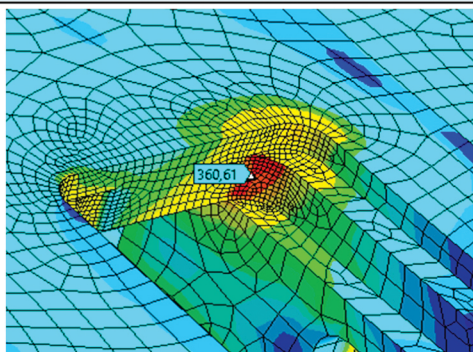
**Таблица 1.** Вид расчетной модели и действующие нагрузки  
**Table 1.** Calculation model and acting loads

Расчетная модель	Нагрузка	Величина нагрузки, Н
	$N_1^a$	98 694
	$N_{16}$	97 322
	$F_1^a$	3276,4
	$F_1^b$	2845,7
	$Q_x$	217 540
	$Q_y$	297 850
	$N_2$	391 480
	$F_2$	306 140



**Таблица 3.** Результаты анализа напряженно-деформированного состояния

**Table 3.** Results of stress-strain state analysis

Вариант модели	Среднее значение эквивалентных напряжений $\sigma$ на концентраторе, МПа	Значение суммарной деформации в контрольных точках $\delta$ , мм	Картина НДС
<i>A</i>	320	0,721	
<i>B</i>	330	0,712	
<i>C</i>	360	0,722	
<i>D</i>	360	0,727	