

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ОТ КОЛЕСА  
НА КОНСТРУКЦИИ НАКАТНЫХ СУДОВ СОГЛАСНО ТРЕБОВАНИЯМ  
РОССИЙСКОГО РЕЧНОГО РЕГИСТРА

Д. А. Романюта

INFLUENCE OF THE CHARACTER OF LOAD DISTRIBUTION  
FROM THE WHEEL ON THE STRUCTURE OF TRAILER SHIPS ACCORDING  
TO THE REQUIREMENTS OF THE RUSSIAN RIVER REGISTER

D. A. Romanyuta

В статье выполнен анализ формы отпечатка и характера распределения давления по пятну контакта от колес на накатных судах, требуемых Правилами Российского Речного Регистра (РРР). Установлено, что предписываемая РРР прямоугольная форма пятна контакта от колеса в большинстве случаев соотносится с реальными условиями. Распределение равномерных давлений по длине отпечатка колеса не соответствует фактической картине, а в направлении ширины – допустимо. Представлена формула, описывающая некоторую параболическую функцию и отображающая форму неравномерного давления вдоль пятна контакта. С помощью специализированного программного комплекса FEMAP with NX NAS-TRAN методом конечных элементов произведена оценка напряженно-деформированного состояния перекрытий двух накатных судов от воздействия колес грузового и легкового автомобиля. Расчет выполнен с учетом двух видов нагрузок: при равномерном и параболическом характере распределения давлений вдоль пятна контакта. Пиковое значение давления при параболической форме оказалось в 1,5 раза больше, чем при равномерной. Разница в результатах прочностного анализа по максимальным перемещениям и напряжениям в балках составила около 3 %. В то же время максимальные значения напряжений в настиле при разных формах распределения давления по отпечатку колеса отличаются на 10–11 %. Использование предложенной формулы, описывающей параболический характер нагрузки по длине пятна контакта, может быть существенно при определении размеров отпечатка колеса, величины максимального напряжения в настиле и значения допускаемого остаточного прогиба настила в соответствии с требованиями РРР.

*накатное судно, пятно контакта, отпечаток колеса, распределение давления, регистр, метод конечных элементов, Femap*

The article analyzes the shape of the imprint and the nature of the pressure distribution over the contact patch from the wheels on rolling ships, required by the Rules of the Russian River Register (RRR). It has been found that the rectangular shape of the contact patch from the wheel prescribed by the RRR in most cases corresponds to real

conditions. Distribution of uniform pressures along the length of the imprint of the wheel does not correspond to the actual picture, but in the direction of the width it is permissible. A formula is presented that describes a certain parabolic function and displays the form of non-uniform pressure along the contact patch. Using the specialized software complex FEMAP with NX NASTRAN, the finite element method was used to assess the stress-strain state of the floors of two trailer ships from the impact of the wheels of a truck and a car. The calculation was carried out taking into account two types of loads: with a uniform and parabolic nature of the pressure distribution along the contact patch. The peak value of the pressure with a parabolic shape turned out to be 1.5 times higher than with a uniform one. The difference in the results of the strength analysis for the maximum displacements and stresses in the beams was about 3%. At the same time, the highest stress values in the flooring, with different forms of pressure distribution over the wheel imprint, differ by 10–11%. The use of the proposed formula, which describes the parabolic nature of the load along the length of the contact patch, can be essential in determining the dimensions of the wheel imprint, the value of the maximum stress in the flooring, and the value of the admissible residual deflection of the flooring, in accordance with the requirements of the RRR Rules.

*trailer ship, contact patch, wheel print, pressure distribution, register, finite element method, Femap*

## ВВЕДЕНИЕ

Накатные суда (ролкеры) предназначены для перевозки различной накатной техники – автомобилей, грузов на поддонах, прицепах и т. д. [1]. В процессе их проектирования особое внимание уделяется прочности палубного перекрытия в связи со специфичным характером воспринимаемых нагрузок (колес накатной техники).

Рассматривая задачу в статической постановке, можно сказать, что на палубу действует нагрузка в виде веса автомобилей, который передается через его колеса. Ввиду того, что шины машин не абсолютно жесткие, а эластичные, под действием собственного веса колесо деформируется, и в месте его контакта с палубой возникает отпечаток определенной площади [2], схожий по форме с прямоугольником, – пятно контакта. При этом нагрузка распределяется по пятну по некоторому криволинейному закону. Форма отпечатка колеса и характер распределения нагрузки в реальных условиях представлены на рис. 1 (а). Отпечаток колеса заштрихован наклонными линиями, распределение нагрузки – вертикальными.

РРР для выполнения расчетов прочности приводит некоторые указания к определению формы отпечатка и нагрузки от колеса. Так, в соответствии с п. 2.2.29, частью I [3] нагрузка считается равномерно распределенной по отпечатку колеса и равной давлению в шине. Отпечаток рассматривается в виде прямоугольника с определенными сторонами. Форма пятна контакта и характер распределения нагрузки в соответствии с требованиями РРР представлены на рис. 1 (б).

Таким образом, для выполнения расчетов в соответствии с требованиями Правил РРР необходимо ввести два допущения:

- 1) форма пятна контакта представляет собой обычный прямоугольник;
- 2) давление в шине распространяется по всему отпечатку равномерно.

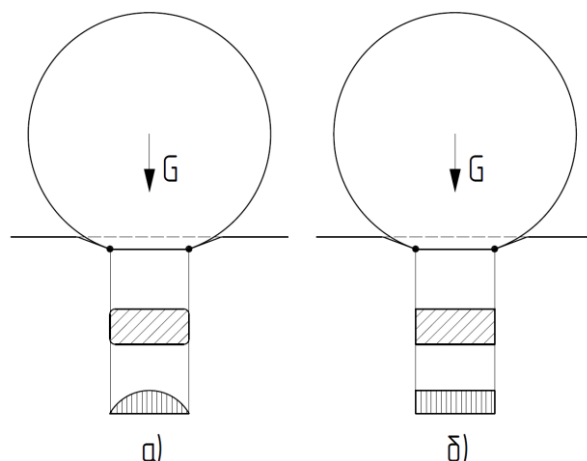


Рис. 1. Деформация колеса, форма отпечатка и характер распределения нагрузки в реальных условиях (а) и в соответствии с требованиями РРР (б)

Fig. 1. Wheel deformation, imprint shape and the nature of the pattern of distribution in real conditions (a) and in accordance with the requirements of the RRR (b)

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью данной работы является проверка возможности использования допущений, представленных выше. Для этого необходимо:

- 1) соотнести, насколько реальная форма пятна контакта колеса с твердой поверхностью похожа на обычный прямоугольник;
- 2) сравнить, как отличается фактическая форма распределения давления от колеса по отпечатку от той, что предписана Правилами РРР;
- 3) рассчитать и сопоставить максимальные напряжения и перемещения в судовом перекрытии от нагрузок, действующих на пятно контакта в соответствии с реальными условиями и согласно требованиям Правил.

### СРАВНЕНИЕ ФОРМЫ ПЯТНА КОНТАКТА, ПОЛУЧАЕМОГО В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ И ТРЕБУЕМЫХ ПРАВИЛАМИ РРР

Существует ряд работ [4, 5 и др.], в которых показано и обосновано, что пятно контакта вдоль колеса ограничивается прямыми линиями. Если принять во внимание форму реального распределения давления по пятну контакта от неподвижного колеса (см. ниже), то можно отметить, что в крайних точках пятна давление стремится к нулю. С учетом этого имеется возможность сделать два вывода-допущения:

1. Крайние области пятна контакта в направлении длины отпечатка вносят минимальный вклад в передаваемое от колеса давление.
2. Форму пятна вдоль ширины колеса допускается ограничить также прямыми линиями.

Таким образом, формируется пятно контакта в форме обычного прямоугольника. Закруглениями в углах образующегося прямоугольника можно пренебречь ввиду того, что в этих областях величина давления незначительна и стремится к нулю по краям пятна контакта.

Предлагаемые допущения (пятно контакта в форме обычного прямоугольника) используются и в других статьях [6–8 и др.], а также подтверждены экспериментально [9].

## СРАВНЕНИЕ ФОРМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПО ПЯТНУ КОНТАКТА, ПОЛУЧАЕМОЙ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ И ТРЕБУЕМОЙ ПРАВИЛАМИ РРР

Форма распределения давления по пятну контакта у неподвижного колеса в реальных условиях неравномерна и зависит от различных факторов: типа шин, давления и т. д., однако эта функция в середине отпечатка по длине должна иметь максимальное значение, а на концах отпечатка – стремиться к нулю. Под такое описание попадает множество различных форм функций: полуокружность, синус, различные параболы, треугольник, трапеция и др.

Считается [10], что для шин среднего и низкого давления подходит трапецеидальный, а для шин высокого давления – параболический закон распределения давления. Для массивных шин (например, погрузчиков) – это функция, представляющая собой нечто среднее между параболическим и эллиптическим законом [10]. Далее в работе рассматриваются шины среднего и высокого давления.

По рекомендациям [9] расчетная форма распределения давления по пятну контакта в его продольном направлении будет представлена в виде параболической функции, а в поперечном направлении – в качестве постоянной распределенной [11].

Таким образом, реальную форму распределения давления по пятну контакта можно отобразить в следующем виде: в продольном направлении – параболическая, а в поперечном – постоянная равномерная.

Функция распределения давления в продольном направлении (вдоль длины отпечатка) определяется следующей формулой [9, 10]:

$$q = \frac{3}{8} \frac{F}{(l_2/2)^3 l_1 s} \left( \frac{l_2^2}{2} - x^2 \right), \quad (1)$$

где  $F$  – нагрузка на колесо в соответствии с техническим паспортом;  $l_1$  – ширина пятна контакта колеса;  $l_2$  – длина пятна контакта колеса;  $s$  – коэффициент насыщенности.

Ввиду того, что колесо всегда имеет какой-то протектор, непосредственно взаимодействие между ним и опорой происходит не всей площадью колеса, а только соприкасающейся с поверхностью рисунком протектора. Коэффициент насыщенности представляет собой отношение между контурной площадью пятна контакта и реальной площадью соприкосновения через протектор.

Так как невозможно предусмотреть все варианты соприкосновения рисунка протектора с опорной поверхностью, величина коэффициента насыщенности в дальнейшем будет принята равной 1.

Требования Правил РРР в п. 2.2.29, части I [3] предписывают считать давление по отпечатку равномерно распределенным по всей площади. Ниже на примере легкового (Toyota Camry, 2010 г.) и грузового (Neoplan N1216HD, 2006 г.) автомобиля проиллюстрирована разница между равномерным распределением давления по отпечатку и распределением по закону (1).

Определение размеров отпечатков колес выполняется в соответствии с п. 2.2.29, частью I [3] по формулам (2) и (3):

$$l_1 = 0,7 \cdot b; \quad (2)$$

$$l_2 = \frac{10KFg}{1000(p l_1)}, \quad (3)$$

где  $b$  – ширина шины;  $p$  – давление в шине согласно технической документации;  $K$  – коэффициент, принимаемый для автомобиля равным 1,1.

Исходные данные и полученные значения представлены в табл. 1. Требуемые для расчета величины по легковому автомобилю отражены в [12–14], а по грузовому – в [15, 16].

Таблица 1. Расчет размеров отпечатка легкового и грузового автомобиля  
Table 1. Calculation of the dimensions of the wheel imprint of a car and a truck

| Наименование величины, обозначение, размерность | Легковой автомобиль | Грузовой автомобиль |
|-------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Ширина шины, $b$ , см                           | 21,5                | 29,5                |
| Нормальное давление в шине, $p$ , МПа           | 0,27                | 0,85                |
| Коэффициент, $K$                                | 1,1                 | 1,1                 |
| Нагрузка на колесо, $F$ , т                     | 0,69                | 4,0                 |
| Расчетная ширина отпечатка, $l_1$ , см          | 15,0                | 20,6                |
| Расчетная длина отпечатка, $l_2$ , см           | 18,3                | 24,6                |
| Принятая ширина отпечатка, $l_{1p}$ , см        | 15,0                | 20,6                |
| Принятая длина отпечатка, $l_{2p}$ , см         | 18,3                | 21,8                |
| Фактическая нагрузка на отпечаток, $Fp$ , т     | 0,755               | 3,89                |

Вопрос метода расчета размеров отпечатка в данной работе не рассматривается.

На рис. 2 проиллюстрирована форма распределения нагрузки по длине отпечатка в соответствии с принятыми расчетными условиями (штриховая линия) и согласно требованиям Правил РРР (сплошная линия). Для легкового и грузового автомобиля формы обеих зависимостей совпали. При этом пиковое значение нагрузки при реальном распределении ( $P_{lr_{max}}$ ) как для легковой, так и для грузовой машины оказалось на 50 % больше равномерного распределения, предлагаемого Правилами РРР ( $P_{lr_{max}}$ ).

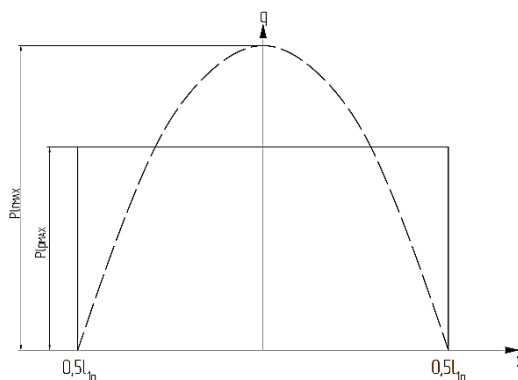


Рис. 2. Распределение давления по длине отпечатка колеса автомобиля  
Fig. 2. Distribution of pressure along the length of the car wheel imprint

# **СРАВНЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ РЕАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПО ПЯТНУ КОНТАКТА И ТРЕБУЕМОГО ПРАВИЛАМИ РРР**

Проверка влияния характера распределения давления по пятну контакта на напряженно-деформированное состояние (далее – НДС) судовых конструкций проводилась на примере перекрытий двух накатных судов. Расчет производился с помощью программного комплекса FEMAP with NX NASTRAN методом конечных элементов.

Первое судно – десантный катер пр. «А-3», шифр «Армеец», на данный момент переоборудовано для перевозки пассажиров и накатной техники. В настоящее время функционирует три подобных судна. Фотография катера «Цитрин» указанного проекта приведена на рис. 3.

Второе судно – среднемагистральный автомобильно-пассажирский экологически чистый паром на электроходе пр. «19411», шифр «ЭКО-Паром», в данное время разрабатывается в Научно-исследовательском центре судостроения Калининградского государственного технического университета (КГТУ). Изображение парома представлено на рис. 4.

Основные характеристики обоих судов отражены в табл. 2.

Таблица 2. Основные характеристики рассматриваемых судов

Table 2. Main characteristics of the vessels

| Характеристика судна            | Проект «А-3», шифр «Армеец» | Проект «19411», шифр «ЭКО-Паром» |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Длина наибольшая, м             | 15,7                        | 36,0                             |
| Ширина, м                       | 3,85                        | 9,80                             |
| Осадка в полном грузу, м        | 0,86                        | 1,76                             |
| Пассажировместимость, чел.      | Около 30                    | 80                               |
| Автомобилевместимость, шт.      | Около 2 легковых            | 15 легковых или<br>2 грузовых    |
| Водоизмещение в полном грузу, т | 32                          | 273                              |



Рис. 3. Судно «Цитрин», проект «А-3», шифр «Армеец»  
Fig. 3. Vessel "Citrine", project "A-3", code "Armeets"

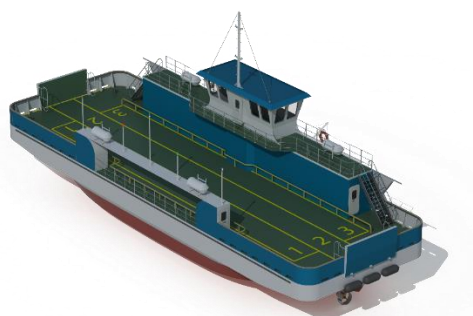


Рис. 4. Паром, проект «19411», шифр «ЭКО-Паром»  
Fig. 4. Ferry, project "19411", code "ECO-Parom"

Выполнено моделирование двух случаев:

- 1) Расчет НДС части днищевого перекрытия судна пр. «А-3» при условии размещения на нем одного легкового автомобиля Toyota Camry 2010 г.;
- 2) Расчет НДС всего палубного перекрытия судна пр. «19411» при условии размещения на нем двух автобусов Neoplan N1216HD.

Эскизы смоделированных перекрытий с указанием размещения отпечатков колес представлены на рис. 5, 6.

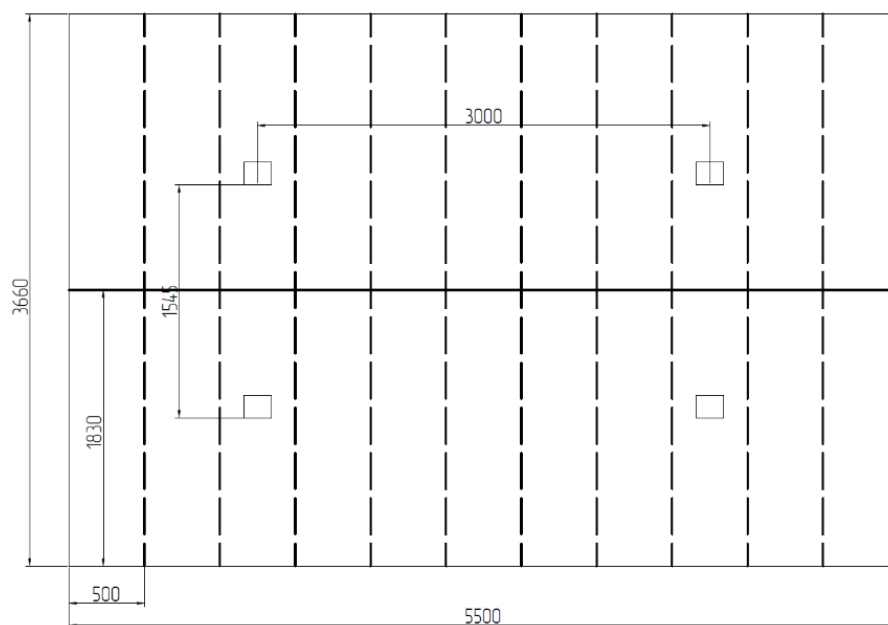


Рис. 5. Эскиз днищевого перекрытия судна пр. «А-3» с размещенными следами отпечатков колес

Fig. 5. A sketch of the bottom structure of the ship (project) «А-3» with the traces of the imprints of the wheels

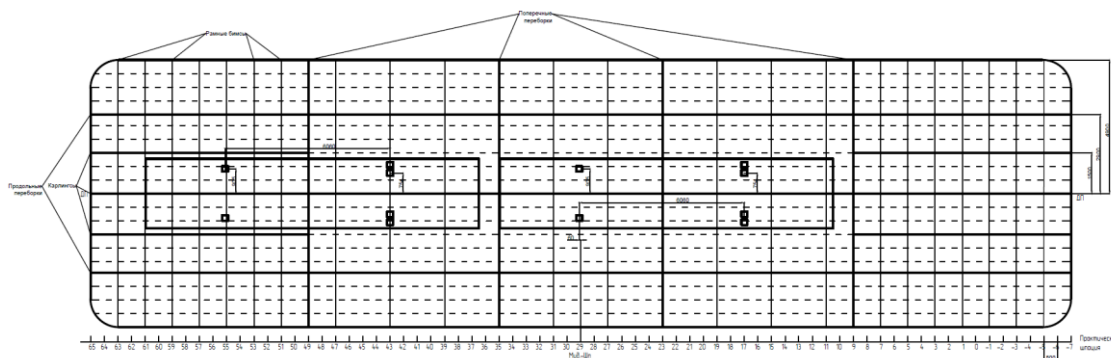


Рис. 6. Эскиз палубного перекрытия судна пр. «19411» с размещенными следами отпечатков колес

Fig. 6. A sketch of the deck structure of the ship (project "19411") with the traces of the imprints of the wheels

При моделировании рассматривались следующие элементы перекрытий:

1) для судна пр. «А-3»: толщина опорной поверхности – 6 мм; профиль поперечных балок: равнополочный уголок 80х80х6; профиль продольной балки: сварной тавр со стенкой 200х5 и полкой 100х8;

2) для судна пр. «19411»: толщина опорной поверхности – 10 мм; профиль поперечных балок: неравнополочный уголок 125х80х10; профиль продольных балок: сварной тавр со стенкой 250х8 и полкой 120х10; толщина части продольных и поперечных переборок – 6 мм.

В качестве материала применялась сталь категории А с пределом текучести 235 МПа.

Перекрытия рассчитывались из условия, что настил по периметру является жестко заделанным. Кроме того, у судна пр. «19411» использовалось дополнительное закрепление в виде жесткого защемления нижних кромок продольных и поперечных переборок.

Для расчета применялась сетка с переменным шагом. В районах пятен контактов расстояние между узлами составляло 5 мм, а на границах перекрытия – 2 см.

Расчет выполнялся в линейной упругой постановке. Результаты для судна пр. «А-3» представлены в табл. 3, для судна пр. «19411» – в табл. 4. На рис. 7 отражена картина распределения перемещений в перекрытии при параболическом распределении давления для судна пр. «А-3», для парома пр. «19411» – на рис. 8.

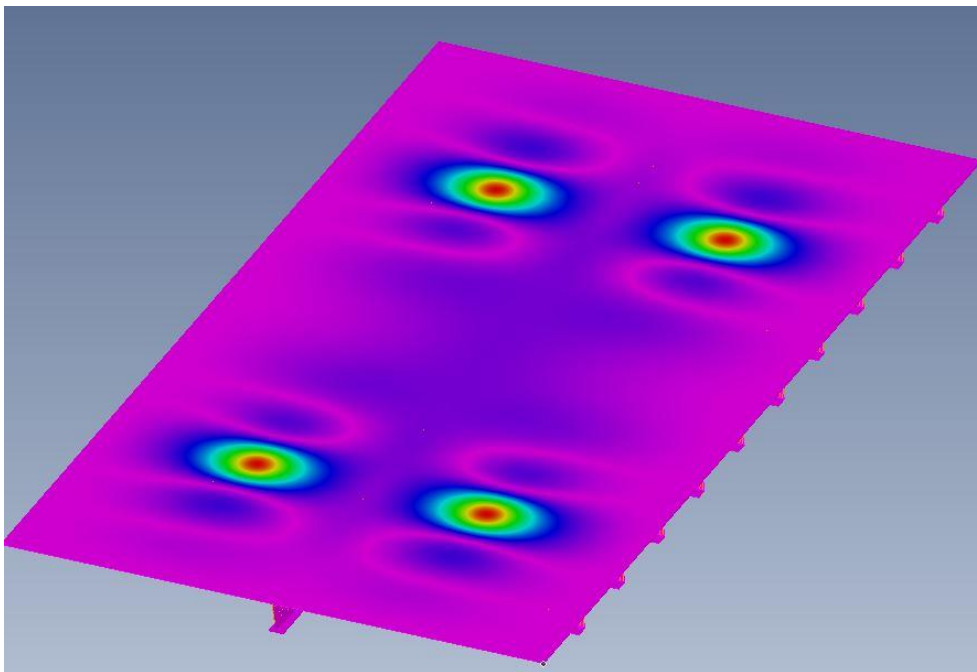


Рис. 7. Картина распределения перемещений в перекрытии судна пр. «А-3»

Fig. 7. A distribution pattern of displacements in the overlap of the ship (project "A-3")

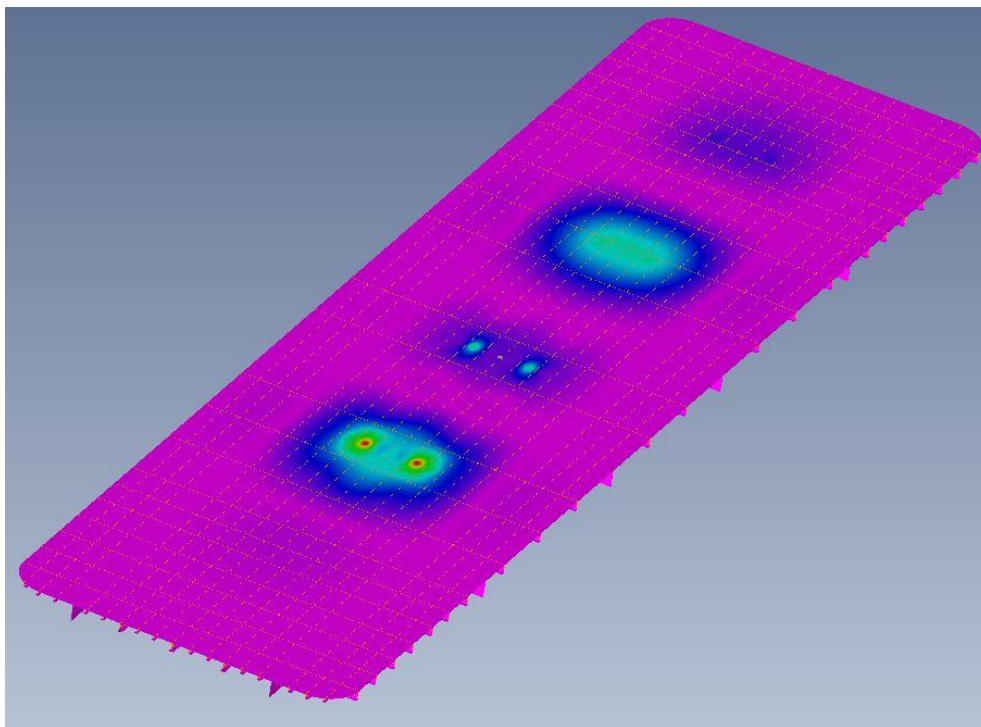


Рис. 8. Картина распределения перемещений в перекрытии судна пр. «19411»

Fig. 8. A distribution pattern of displacements in the overlap of the ship (project "19411")

Таблица 3. Результаты расчета перекрытия судна пр. «А-3»

Table 3. Calculation results of the structure of the vessel (project "A-3")

| Показатель                                        | Равномерная нагрузка (по PPP) | Нагрузка по параболе | Разница, % |
|---------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|------------|
| Максимальное перемещение, мм                      | 4,63                          | 4,78                 | -3,07      |
| Максимальное напряжение в пластине по Мизесу, МПа | 177                           | 198                  | -10,6      |
| Максимальное напряжение в балке, МПа              | 58,3                          | 58,4                 | -0,171     |

Таблица 4. Результаты расчета перекрытия судна пр. «19411»

Table 4. Calculation results of the structure of the vessel (project "19411")

| Показатель                                        | Равномерная нагрузка (по PPP) | Нагрузка по параболе | Разница, % |
|---------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|------------|
| Максимальное перемещение, мм                      | 9,77                          | 9,91                 | -1,41      |
| Максимальное напряжение в пластине по Мизесу, МПа | 291                           | 320                  | -9,06      |
| Максимальное напряжение в балке, МПа              | 246                           | 252                  | -2,38      |

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как было указано выше, основными рассматриваемыми вопросами в данной статье являлись форма пятна контакта и форма распределения нагрузки.

Использование прямоугольной формы пятна контакта колеса, требуемой Правилами РРР, для расчетов местной прочности допустимо.

Рекомендуемая Правилами РРР равномерно распределенная нагрузка по площади отпечатка не соответствует той, что возникает в реальных условиях (промежуточная между параболической и эллиптической формой). Разница в максимальных значениях нагрузки в середине отпечатка может составлять 50 %.

Выполненные расчеты показали, что если для картины перемещений в перекрытии и распределения напряжений по балкам набора такое упрощение нагрузки допустимо (погрешность до 3 %), то для оценки напряжений в опорной поверхности оно дает погрешность в 10 %. В отдельных случаях такая погрешность может привести к необходимости дополнительных расчетов с учетом пластических деформаций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. Замена реальной формы пятна контакта обычным прямоугольником допустима.
2. Использование постоянной равномерной формы распределения давления по пятну контакта дает погрешность в определении напряжений в настиле до 10 %.

Из-за данной погрешности возникает вероятность появления пластических деформаций на реальном судовом перекрытии.

Во избежание подобной ситуации рекомендуется при расчете, рассматривая форму распределения давления по отпечатку колеса, использовать формулу (1).

Влияние характера распределения давления может оказаться существенным при расчете размеров отпечатка колеса (п. 2.2.29, часть II, [3]) и определении допускаемого остаточного прогиба настила (п. 2.2.59, часть II, [3]).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Как устроены морские суда. Накатные суда [Электронный ресурс]. – URL: <https://seaships.ru/roll.htm> (дата обращения: 02.02.2021).
2. Все о пятне контакта шины [Электронный ресурс]. – URL: <https://goroshina.com.ua/blog/vse-o-pyatne-kontakta-shiny> (дата обращения: 03.02.2021).
3. Правила Российского Речного Регистра: в 5 т. – Москва: Российский Речной Регистр, 2019. – Т. 2, ч. I. Корпус и его оборудование. – Гл. 2. Конструкция и прочность стального судна. – С. 23–33.
4. Автомобильные шины (конструкция, расчет, испытания, эксплуатация) / В. Л. Бидерман [и др.]; под общ. ред. В. Л. Бидермана. – Москва: Гос. науч.-техн. изд-во химич. лит-ры, 1963. – 383 с.

5. Ларин, А. Н. Сцепление автомобильной шины с дорогой, покрытой слоем воды: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Ларин Александр Николаевич; Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. – Харьков, 1988. – 171 с.
6. Абузов, В. И. Общие вопросы взаимодействия эластичного колеса с жесткой опорной поверхностью / В. И. Абузов, Т. А. Балабина, С. И. Чепурной // Известия Московского государственного технического университета. – 2012. – № 2. – С. 392–397.
7. Влияние параметров и условия касания эластичности колес на их силовые и кинематические характеристики / Т. А. Балабина, Н. П. Баловнев, В. А. Иванов, С. И. Чепурной // Известия Московского государственного технического университета «МАМИ». – 2013. – № 1 (15), т. 1. – С. 28–32.
8. Яньков, О. С. Повышение качества контроля тормозных систем АТС на стендах с кинематически связанными опорными роликами: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Яньков Олег Сергеевич; Иркутский национальный исследовательский технический университет. – Иркутск, 2017. – 283 с.
9. Кнороз, В. И. Работа автомобильной шины / В. И. Кнороз. – Москва: Науч.-техн. изд-во мин-ва автомоб. тр-та и шоссейн. дорог РСФСР, 1960. – 229 с.
10. Мамаев, А. Н. Общие вопросы взаимодействия эластичного колеса с жесткой опорной поверхностью / А. Н. Мамаев, Р. В. Вирабов, Т. А. Балабина // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров: материалы междунар. научно-техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров России / Московский государственный технический университет «МАМИ». – Москва, 2012. – С. 71–85.
11. Смирнов, Г. А. Теория движения колесных машин / Г. А. Смирнов. – Москва: Машиностроение, 1990. – 352 с.
12. Размеры шин и дисков для Toyota Camry [Электронный ресурс]. – URL: [https://tyres.spb.ru/cars\\_toyota\\_camry](https://tyres.spb.ru/cars_toyota_camry) (дата обращения: 04.02.2021).
13. Автомобильная шина Kpatos FM316 215/60 R16 95H всесезонная [Электронный ресурс]. – URL: <https://market.yandex.ru/old/product-avtomobilnaia-shina-kpatos-fm316-215-60-r16-95h-vsesezonnaia/1824692897/spesuy> (дата обращения: 04.02.2021).
14. Размеры шин и рекомендуемое производителем давление в колесах Тойота Камри [Электронный ресурс]. – URL: <https://polomkiauto.ru/razmery-shin-i-rekomenduемое-proizvoditelem-davlenie-v-kolesah-toyota-kamri.html> (дата обращения: 04.02.2021).
15. Путешествие в мир футбола на NEOPLAN Cityliner [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gruzovikpress.ru/article/24650-neoplan-cityliner-n-1216-hd-p14-avtobus-sbornoy-rossii-po-futbolu-puteshestvie-v-mir-futbola-na-neoplan-cityliner/> (дата обращения: 04.02.2021).
16. Таблица давления грузовых шин Goodyear [Электронный ресурс]. – URL: <https://nagaevtires.ru/images/uploads/tab1-davleniya.pdf> (дата обращения: 04.02.2021).

## REFERENCES

1. *Kak ustroeny morskije suda. Nakatnye suda* [How sea vessels are arranged. Ro-ro vessels]. Available at: <https://seaships.ru/roll.htm> (Accessed 02 February 2021).
2. *Vse o pyatne kontakta shiny* [All about the tire contact patch]. Available at: <https://goroshina.com.ua/blog/vse-o-pyatne-kontakta-shiny> (Accessed 03 February 2021).
3. *Pravila Rossiyskogo Rechnogo Registra* [Russian River Register Rules]. Moscow, 2019, vol. 2, pp. 23–33.
4. Biderman V. L. *Avtomobil'nye shiny (konstruktsiya, raschet, ispytaniya, eksploataciya)* [Car tires (design, calculation, testing, operation)]. Moscow, Gos-e nauch.-tekhn. izd-vo khimich. lit-ry, 1963, 383 p.
5. Larin A. N. *Stseplenie avtomobil'noy shiny s dorogoy, pokrytoy sloem vody. Diss. kand. tekhn. nauk* [Adhesion of a car tire to a road covered with a layer of water. Diss. cand. tech. sciences]. Khar'kov, 1988, 171 p.
6. Abuzov V. I., Balabina T. A., Chepurnoy S. I. Obshchie voprosy vzaimodeystviya elastichnogo koleasa s zhestkoy opornoj poverkhnost'yu [General issues of the interaction of an elastic wheel with a rigid support surface]. *Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, no. 2, pp 392–397.
7. Balabina T. A., Chepurnoy S. I., Balovnev N. P., Ivanov V. A. Vliyanie parametrov i usloviya kasaniya elastichnosti kolyos na ikh silovye i kinematicheskie kharakteristiki [Influence of parameters and conditions of contact of elasticity of wheels on their power and kinematic characteristics]. *Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta "MAMI"*, 2013, no. 1, pp. 28–32.
8. Yan'kov O. S. *Povyshenie kachestva kontrolya tormoznykh sistem ATS na stendakh s kinematicheski svyazannymi opornymi rolikami. Diss. kand. tekhn. nauk* [Improving the quality of control of vehicle brake systems on stands with kinematically connected support rollers. Diss. cand. tech. sciences]. Irkutsk, 2017, 283 p.
9. Knoroz V. I. *Rabota avtomobil'noy shiny* [Car tire operation]. Moscow, Nauch.-tekhn. izd-vo min-va avtomob. tr-ta i shosseyn. dorog RSFSR., 1960, 229 p.
10. Mamaev A. N., Virabov R. V., Balabina T. A. Obshchie voprosy vzaimodeystviya elastichnogo koleasa s zhestkoy opornoj poverkhnost'yu [General issues of the interaction of an elastic wheel with a rigid support surface]. *Avtomobile- i traktorostroenie v Rossii: priority razvitiya i podgotovka kadrov: materialy mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. Assotciatsii avtomobilnykh inzhenerov Rossii. Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet "MAMI"*. Moscow, 2012, pp. 71–85.
11. Smirnov G. A. *Teoriya dvizheniya kolesnykh mashin* [Theory of motion of wheeled vehicles]. Moscow, Mashinostroenie, 1990, 352 p.
12. *Razmery shin i diskov dlya Toyota Camry* [Tire and wheel sizes for Toyota Camry]. Available at: [https://tyres.spb.ru/cars\\_toyota\\_camry](https://tyres.spb.ru/cars_toyota_camry) (Accessed 04 February 2021).
13. *Avtomobil'naya shina Kpatos FM316 215/60 R16 95H vsesezonnaya* [Car tire Kpatos FM316 215/60 R16 95H all season]. Available at: <https://market.yandex.ru/old/product--avtomobilnaia-shina-kpatos-fm316-215-60-r16-95h-vsesezonnaia/1824692897/specy> (Accessed 04 February 2021).
14. *Razmery shin i rekomenduemoje proizvoдителем davlenie v kolesakh Toyota Kamri* [Tire sizes and manufacturer's recommended tire pressure for Toyota Camry].

Available at: <https://polomkiauto.ru/razmery-shin-i-rekomenduemoe-proizvoditelem-davlenie-v-kolesah-toyota-kamri.html> (Accessed 04 February 2021).

15. *Puteshestvie v mir futbola na NEOPLAN Cityliner* [Journey to the world of football on NEOPLAN Cityliner]. Available at: <http://www.gruzovikpress.ru/article/24650-neoplan-cityliner-n-1216-hd-p14-avtobus-sbornoy-rossii-po-futbolu-puteshestvie-v-mir-futbola-na-neoplan-cityliner/> (Accessed 04 February 2021).

16. *Tablitsa davleniya gruzovykh shin Goodyear* [Goodyear Truck Tire Pressure Table]. Available at: <https://nagaevtires.ru/images/uploads/tabl-davleniya.pdf> (Accessed 04 February 2021).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Романюта Дмитрий Александрович* – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры кораблестроения;  
E-mail: [dmitrij.romanyuta@klgtu.ru](mailto:dmitrij.romanyuta@klgtu.ru)

*Romanyuta Dmitriy Alexandrovich* – Kaliningrad State Technical University;  
Post-graduate student of the Department of Shipbuilding;  
E-mail: [dmitrij.romanyuta@klgtu.ru](mailto:dmitrij.romanyuta@klgtu.ru)