

Украинский государственный морской технический университет имени
адмирала Макарова
Министерства образования и науки Украины

Специализированный ученый совет Д 38.060.01

Коршиков Роман Юрьевич

УДК 629.5.02:678.4

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛАСТИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, СПОСОБНЫХ ЗАМЕНИТЬ
ДРЕВЕСИНУ СУДОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Специальность 05.08.03 - механика и конструирование судов

Автореферат диссертации на соискание научной степени кандидата
технических наук

Диссертация написана в виде рукописи.

Диссертация выполнена в Украинском государственном морском техническом университете имени адмирала Макарова Министерства образования и науки Украины.

Научный руководитель - доктор технических наук, доцент Коробанов Юрий Николаевич, Украинский государственный морской технический университет имени адмирала Макарова, заведующий кафедрой «Конструкция корпуса морских судов».

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, профессор Кочанов Юрий Петрович, Украинский государственный морской технический университет имени адмирала Макарова, заведующий кафедрой «Строительная механика корабля»;
- кандидат технических наук Егоров Геннадий Вячеславович, Морское инженерное бюро (г. Одесса), генеральный директор.

Ведущая организация - Одесский государственный морской университет Министерства образования и науки Украины.

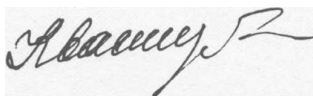
Защита состоится « 28 » мая 2001 года в 13 часов на заседании специализированного ученого совета Д 38.060.01 Украинского государственного морского технического университета имени адмирала Макарова по адресу 54025, г. Николаев, проспект Героев Сталинграда, 9, ауд. 360.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Украинского государственного морского технического университета имени адмирала Макарова по адресу 54025, г. Николаев, проспект Героев Сталинграда, 9.

Автореферат разослан « 25 » апреля 2001 года.

Ученый секретарь специализи-

рованного ученого совета доктор
технических наук, профессор



Квасницкий В.Ф.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. На судах, плавучих сооружениях, в судостроении и судоремонте традиционно в больших количествах используется древесина. Это связано с особенностями механических свойств такого материала и до недавнего времени с относительно небольшой стоимостью древесины, в настоящее время ситуация резко изменилась. Цена на древесину, импортируемую Украиной, возросла, а собственные запасы древесного сырья невелики. Кроме того, интенсивная вырубка леса может нанести урон экологии. Тем самым становится актуальной замена древесины другими материалами, соответствующими древесине по своим механическим характеристикам.

Обычно, конструкции, выполненные из древесины, сравнительно недолговечны, в судовых условиях, в судостроении и судоремонте добавляются факторы, способствующие ускоренному износу древесных конструкций, что ограничивает возможность использования древесины многократно. Эластомеры - это полимеры с ярко выраженными эластичными свойствами. Эластомеры не подвержены гниению, устойчивы к воздействию влаги, солнечных лучей, холода. Эти качества эластомеров позволяют исследовать возможность замены древесины судового назначения на эластомерные конструкции. Отсутствие методики такой замены, а также методов проектирования эластомерных конструкций также свидетельствует об актуальности данной темы.

Цель работы. Решение научных задач по замене древесины судового назначения на эластомерные конструкции, по созданию методов проектирования и расчета эластичных элементов из эластомеров, входящих в состав судовых устройств плавучих сооружений, а также экспериментальное исследование устойчивости судовых эластомерных конструкций.

В соответствии с поставленной целью решены такие основные задачи:

- Сформулированы условия замены древесины судового назначения эластомерными конструкциями, и обоснована возможность такой замены на основе моделирования упругих свойств древесины эластомерными конструкциями.
- Разработан метод проектирования и оптимизации упругих оснований на основе эластомерных элементов, покрывающих большую площадь.
- Произведен анализ методов расчета эластомерных конструкций и методов расчета совместного деформирования корпуса судна, элементов опорного устройства и плавдока, а также выбраны критерии, являющиеся исходными для расчета совместного деформирования упругих эластомерных элементов и корпусных конструкций судна.
- Разработан метод проектирования судовых конструкций, в состав которых входят эластомерные упругие элементы, и даны практические рекомендации по их проектированию.
- Предложен метод моделирования текучести древесины посредством конструктивной нелинейности эластомерных конструкций и получены аналитические формулы, подтвержденные экспериментально, для определения реакций эластомерных пластин и эластомерных сминающихся прокладок.
- Создан метод проектирования эластомерных сминающихся прокладок и предложены их конструктивные типы.

Методы исследования. Для достижения поставленных целей использовались аналитические методы в сочетании с данными, полученными экспериментальным путем, а также специально разработанные методы проектирования и компьютерно-ориентированные методы оптимизации. Аналитические результаты основываются на использовании вариационных методов решения задач о деформировании эластичных конструкций, одним из которых является метод конечных элементов, а также специальных методов расчета, применяемых при проектировании судов и плавучих сооружений.

Научная новизна. Впервые разработан и обоснован метод замены древесины судового и судостроительного назначений на эластомеры по упругим показателям, и разработан метод проектирования и оптимизации упругих оснований, покрывающих большую площадь, в состав которых входят эластомерные упругие элементы.

Впервые предложен метод моделирования текучести древесины посредством конструктивной нелинейности эластомерных конструкций, и получены аналитические формулы для определения реакций эластомерных пластин и эластомерных сминающихся прокладок.

Впервые создан метод проектирования эластомерных сминающихся прокладок и предложены их конструктивные типы.

Для расчета эластомерных конструкций адаптированы математические модели их совместного деформирования с корпусными конструкциями с учетом несжимаемости эластомерных материалов. Усовершенствованы методы расчета эластомерных конструкций на основе метода конечных элементов.

Основные научные результаты, выносимые на защиту:

1. Метод замены древесины судового и судостроительного назначений на эластомеры по упругим показателям.
2. Метод проектирования и оптимизации упругих оснований, созданных на основе эластомерных элементов, покрывающих большую опорную площадь.
3. Метод моделирования текучести древесины эластомерными конструкциями.
4. Метод проектирования эластомерных сминающихся прокладок.
5. Формулы для расчета реакций эластомерных пластин и эластомерных сминающихся прокладок.
6. Обоснование конструктивных типов эластомерных сминающихся прокладок и конструкции спусковых дорожек продольного стапеля, созданных на основе эластомерных упругих элементов.
7. Реализация метода конечных элементов применительно к расчетам эластичных конструкций судового назначения.

Основные практические результаты состоят в обосновании возможности замены древесины судового назначения на эластомерные конструкции, в создании рекомендаций по проектированию эластичных конструкций судового и судостроительного назначений, а также в реализации конструкций эластомерных сминающихся прокладок и спусковых дорожек продольного стапеля, созданных на основе эластомерных упругих элементов.

Реализация результатов работы. На основе результатов работы были изготовлены опытные образцы эластомерных упругих прокладок спусковых дорожек продольного стапеля, которые были опробованы на ГП Судостроительный завод им. 61 коммунара (Николаев).

Результаты диссертации использованы в следующих хозяйственных работах: «Разработка технической документации на переоборудование ремонтного плавдока в качестве передаточного», «Исследование напряженного состояния, разработка и изготовление опытного образца эластичных прокладок спусковых дорожек», проводившихся на ГП «Судостроительный завод им. 61 Коммунара»; в госбюджетной работе по теме № 1163 «Проектирование эластичных конструкций судовых устройств», гос. рег. № 0195U029346, УГМТУ, 1997 г.

Результаты исследований, проведенных в данной диссертационной работе, использованы при подготовке учебного пособия «Розрахунок еластичних конструкцій суднових пристроїв».

Апробация работы. Основные положения и результаты работы доложены:

1. На Международном научно-практическом симпозиуме. «Проблемы судостроения: положение, идеи, решения» (г. Николаев, 8-10 октября 1997 г.);
2. На научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава УГМТУ (г. Николаев, 1998г.);
3. На Международной научной конференции по математическому моделированию (Херсон, 3 - 6 сентября 1998 г.); 4. На научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава УГМТУ (г. Николаев, 24 - 28 апреля 2000 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из вступления, шести глав, заключения и приложений. В диссертацию входят 219 машинописных страниц, 81 иллюстрация, 15 таблиц, 3 приложения, 51 использованный литературный источник.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Вступление. Содержит обоснование актуальности диссертационной работы, ее общую цель и задачи, а также полученные научные результаты, выносимые на защиту.

В первой главе рассматривается назначение и область применения деревянных конструкций судового и судостроительного назначений. Дается краткая классификация деревянных конструкций, входящих в судовые, судостроительные и судоремонтные опорные и опорно-транспортные устройства, а также входящие в состав плавучих сооружений. Проводится анализ деформирования деревянных конструкций в составе опорных устройств. Установлено, что древесина используется в качестве упругих и сминающихся элементов, а также в виде их комбинации. На основе рассмотрения множества деревянных опорных конструкций выделены основные типовые узлы и схемы укладки деревянных элементов. Для таких узлов, на основе анализа работ других авторов, систематизированы формулы для определения податливости деревянных опор. Проведено обоснование целесообразности замены деревянных упругих элементов эластомерными конструкциями. Рассмотрены состояние проблемы и задачи, возникающие при проектировании эластомерных конструкций. Приведена методика исследования. Сделан краткий экономический анализ эффективности замены древесины эластомерными конструкциями.

Вторая глава посвящена экспериментальному исследованию эластичных свойств и упругих характеристик эластомерных материалов. Проведен также сравнительный анализ упругих характеристик древесины и эластомеров, и намечены пути замены древесины на эластомерные материалы.

Замена древесины требует обеспечения соответствия древесине следующих свойств и параметров конструкций из эластомеров:

- соответствие по деформативной податливости;-
- соответствие по упругим характеристикам;

- соответствие по допускаемым напряжениям и контактным давлениям, возникающим в результате нагружения;
- отсутствие релаксации при длительном нагружении.

Специально для испытания на сжатие были изготовлены образцы эластомерных прокладок, рис. 1.а. Все они формируются из отдельных плиток, склеиваемых между собой. Так как в дальнейшем эластомерные прокладки предполагается крепить на специальной тканевой полосе, пропитанной эластомерным покрытием, то фрагменты такой полосы также присутствуют в образцах. Все шесть образцов нагружались до нагрузки, соответствующей 50 кН. По результатам испытаний можно заключить, что все образцы не были разрушены и не имели каких-либо видимых повреждений.

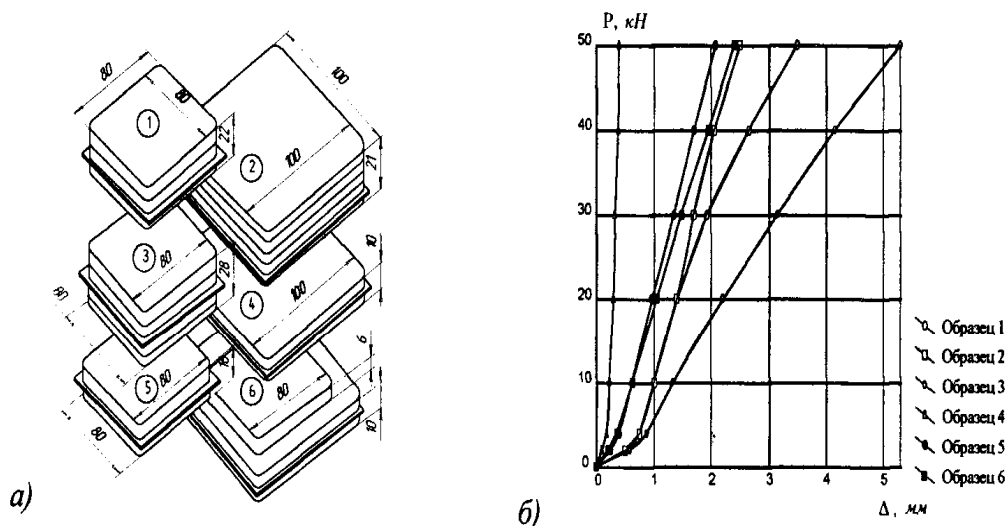


Рис. 1. Образцы эластомерных прокладок и их упругие характеристики:
а – эластомерные прокладки; б – диаграммы сжатия эластомерных прокладок.

После снятия нагрузки, образцы имели такую же форму и размеры, как и до начала испытаний. Деформации, которые получили образцы эластомерных прокладок, составили в основном 12 - 19%. Учитывая, что эластомеры способны выдерживать деформации на сжатие до 50% а на растяжение до 200%, можно заметить, что нагружение производилось в диапазоне начальной стадии деформирования эластомерных прокладок. Диаграммы сжатия эластомерных упругих прокладок представлены на рис. 1.б (номера кривых соответствуют номерам образцов на рис. 1.а). Сравнение упругих показателей древесины и эластомеров показало, что между ними существуют значительные отличия. Поэтому для замены древесины необходимо разработать такие эластомерные конструкции, которые позволят моделировать необходимые свойства древесины.

Третья глава посвящена вопросам расчета конструкций, включающих в себя упругие деревянные или эластомерные элементы. Приведен обзор методов расчета эластичных конструкций и совместного деформирования упругих опор и корпусных

конструкций судна. Сделан выбор критериев, являющихся исходными для расчета совместного деформирования упругих эластомерных элементов и корпусных конструкций судна.

Метод конечных элементов как для сжимаемых, так и для несжимаемых сред основан на линейной теории упругости. Однако зависимости линейной теории упругости для несжимаемого материала имеют некоторые отличительные особенности, что накладывает свой отпечаток и на методе. В расчете принято, что материал является несжимаемым, статически деформируемым, однородным, изотропным, линейно-упругим. Решая задачу о напряженно-деформированном состоянии несжимаемого тела в перемещениях, можно получить систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \nabla^2 u + \frac{\partial s}{\partial x} + \frac{R_x}{G} &= 0; \\ \nabla^2 v + \frac{\partial s}{\partial y} + \frac{R_y}{G} &= 0; \\ \nabla^2 w + \frac{\partial s}{\partial z} + \frac{R_z}{G} &= 0; \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В большинстве задач для судовых эластичных конструкций можно воспользоваться допущением о том, что перемещения вдоль какой-то оси постоянны или вообще отсутствуют (плоские деформации), в таком случае система (1) примет вид:

$$\left. \begin{aligned} \nabla^2 u + \frac{\partial s}{\partial x} + \frac{R_x}{G} &= 0; \\ \nabla^2 v + \frac{\partial s}{\partial y} + \frac{R_y}{G} &= 0; \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Трудности, связанные с точным решением системы дифференциальных уравнений в частных производных, заставляют применять вариационные методы решения.

Вариационная формулировка задачи, соответствующая системе (2) имеет вид:

$$\delta \Pi = 0. \quad (3)$$

Функционал Π принимает стационарное значение только тогда, когда искомые функции имеют истинные значения. Наиболее часто применяется функционал потенциальной энергии:

$$\Pi = G \int \left[\frac{1}{4} (u_{i,j} + u_{j,i})(u_{i,j} + u_{j,i}) + s u_{i,i} \right] dV - \int_{\Omega} p_i u_i d\Omega. \quad (4)$$

При истинных значениях неизвестных функций выражение (4) принимает не только стационарное значение, но и минимальное.

Метод конечных элементов (МКЭ) является прямым вариационным методом. Алгоритм МКЭ может быть кратко описан следующим образом:

1) весь эластичный деформируемый элемент делят на однотипные конечные элементы простейшей формы (треугольники, четырехугольники для плоской конфигурации);

2) для всех конечных элементов принимают одинаковую аппроксимацию неизвестных функций:

$$u(x, y) = \sum_{k=1}^N c_k f_k(x, y), k = 1, 2, \dots, N, \quad (5)$$

где $f_k(x, y)$ – простейшие полиномы; N – число вершин конечного элемента;

3) условие стыковки элементов (граничные условия на стыке элементов) обеспечивают введением в качестве неизвестных параметров значений, определяемых функцией $u(x, y)$ в вершинах конечного элемента u_r . Стыковка по u считается выполненной, если у стыкующихся конечных элементов в общей вершине значения искомой функции одинаковы (равны u_r). Выразив значение u_r через c_k , получают:

$$u_r = \sum_{k=1}^N c_k f_k(x_r, y_r), r, k = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

откуда выражают c_k и подставляют в (4):

$$u(x, y) = \sum_{k=1}^N C_k F_k(x_r, y_r); \quad (7)$$

4) минимизация функционала потенциальной энергии по возможным перемещениям узловых точек приводит к условиям равновесия, а по возможным значениям функции гидростатического давления – к условию несжимаемости, таким образом, получается разрешающая система алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi}{\partial u_i} &= 0, \frac{\partial \Pi}{\partial v_i} = 0, i = 1, 2, \dots, N_p; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial s_j} &= 0, j = 1, 2, \dots, N_e; \end{aligned}$$

5) граничные условия в общую систему алгебраических уравнений (составленную по числу конечных элементов) вводятся вычеркиванием того уравнения, в котором u_r задано. Вместо этого уравнения используется условие для u_r на границе области;

6) решают составленную систему алгебраических уравнений, получая на выходе все u_r и, следовательно, все u .

Рассмотренный алгоритм метода конечных элементов был применен при разработке блока программ на алгоритмическом языке "Фортран" для расчета эластичных судовых конструкций из несжимаемого материала.

В четвертой главе сформулированы основные принципы проектирования упругих оснований из эластомерных элементов, а также предложен метод проектирования, и даны рекомендации по проектированию опорных устройств плавдоков и судостроительных опорных устройств на основе эластомерных упругих элементов. Рассмотрено применение декларативного метода оптимизации размещения упругих элементов на плоскости.

Проектирование упругого основания, покрывающего большую площадь, условно можно разделить на проектирование на макро- и микроуровнях. Проектирование на макроуровне предполагает выбор числа опор, их типов, механических характеристик каждой опоры. Проектирование на микроуровне предполагает разработку конструкции каждого макроэлемента, выбор числа упругих элементов, размещаемых на его опорной поверхности, а также типов упругих микроэлементов. То есть задача проектирования сводится к проектированию упругого основания макроуровня и проектированию упругого основания микроуровня. Такое разделение может выполняться не всегда и носит условный характер. Так, например, при проектировании конструкции спусковых дорожек можно говорить лишь о проектировании на микроуровне.

Одной из задач, которую приходится решать при проектировании упругого основания, является размещение упругих элементов на плоскости опорного контура. От правильного размещения таких элементов зависят характеристики упругого основания в целом. Не менее важной задачей является также обеспечение наиболее рационального размещения упругих элементов при выполнении условий соответствия характеристик проектируемого упругого основания заданному. Однако не всегда для реализации решения подобных задач на компьютере удастся составить четкий алгоритм решения, либо его практическое составление затруднительно. Поэтому применение процедурной или объектно-ориентированной парадигмы программирования может оказаться неэффективным. В данной диссертационной работе был применен декларативный метод в реализации программы оптимального размещения эластомерных упругих элементов на плоскости. На основе данного метода на языке «Пролог» была составлена программа оптимального размещения эластомерных прокладок на тканевой или арматурной ленте.

В качестве примера такого подхода при проектировании была произведена замена деревянной подушки элементов опорного устройства на эластомеры. Схемы размещения деревянных упругих элементов на кильблоках двух типов и тележке и соответствующие им схемы размещения эластомерных элементов размером 16х80х80 мм приведены на рис. 2.

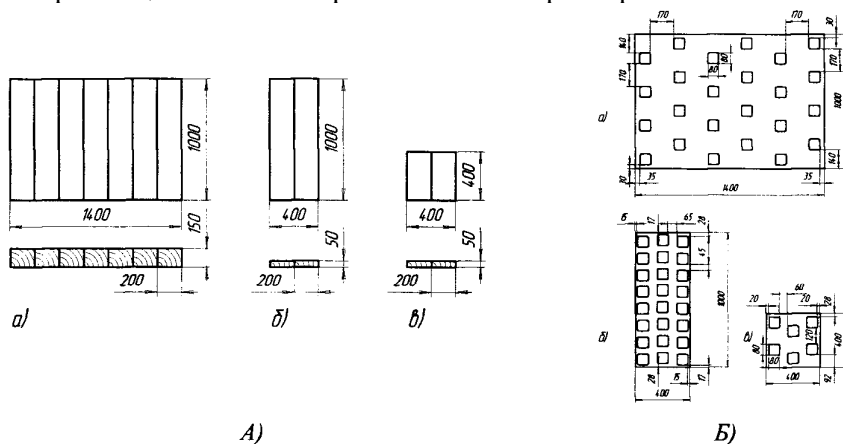


Рис. 2. Схемы размещения сосновых (А) и соответствующих им эластомерных (Б) прокладок:

а – на тележке; б – на кильблоке типа 1; в – на кильблоке типа 2.

Пятая глава посвящена моделированию текучести древесины посредством конструктивной нелинейности эластомерных элементов и проектированию эластомерных сминающихся прокладок. Рассматривается возможность моделирования текучести древесины за счет потери устойчивости отдельными элементами эластомерных конструкций (базовыми элементами). Описываются результаты проведенных экспериментальных исследований по продольному изгибу эластомерных пластин. Предложены конструктивные

типы эластомерных сминающихся прокладок (ЭСП), а также метод их проектирования. Проведен расчет устойчивости эластомерных пластин по формулам Эйлера. Сделан сравнительный анализ соответствия результатов расчета результатам эксперимента. Установлены границы применимости формул Эйлера для эластомерных пластин. Аналитически получены приближенные формулы для построения диаграмм сжатия при продольном изгибе эластомерных пластин. Проведен расчет упругих характеристик и деформативной податливости ЭСП по методу конечных элементов (МКЭ). Аналитически получены формулы для определения реакций ЭСП при продольном изгибе.

Для того чтобы эластомеры могли полноценно заменить древесину судового и судостроительного назначений, необходимо, чтобы из них можно было изготавливать сминающиеся прокладки. Однако эластомеры не обладают свойством текучести. Текучесть у эластомеров можно получить искусственно, за счет конструктивной нелинейности. Если в конструкции эластомерной сминающейся прокладки применить элементы,

теряющие устойчивость при определенных нагрузках, то это может привести к образованию горизонтального участка на диаграмме сжатия ЭСП, что и будет моделировать текучесть древесины. Конструктивно простейшей ЭСП является эластомерная пластина, жестко закрепленная по концам, к одному из которых прикладывается сжимающая нагрузка. Экспериментальному сжатию подвергались пластины $7 \times 80 \times 80$ мм, для которых устанавливалась высота стенки Л, равная соответственно 15, 20, 30, 40 мм. На рис. 3 изображены диаграммы сжатия образцов с высотой стенки 15, 20, 30, 40 мм. Характерным для этих диаграмм является наличие протяженного горизонтального участка, который является искусственно смоделированной площадкой текучести. Полученные диаграммы являются практически идеальными для сминающихся прокладок, которые можно использовать на судах, плавучих сооружениях, в судостроении и судоремонте. Каждую диаграмму можно условно разбить на три участка. Начальный участок - это упругое сжатие прокладки, горизонтальный участок - «площадка текучести», заключительный участок - упругое сжатие прокладки («процесс прессования»). При проектировании ЭСП можно использовать диаграммы, представленные на рис. 3 или аналогичные, построенные для образцов других типоразмеров. При замене деревянной подушки со сминающимися прокладками на ЭСП необходимо обеспечить соответствие основных параметров диаграмм сжатия деревянных сминающихся прокладок и базовых элементов ЭСП.

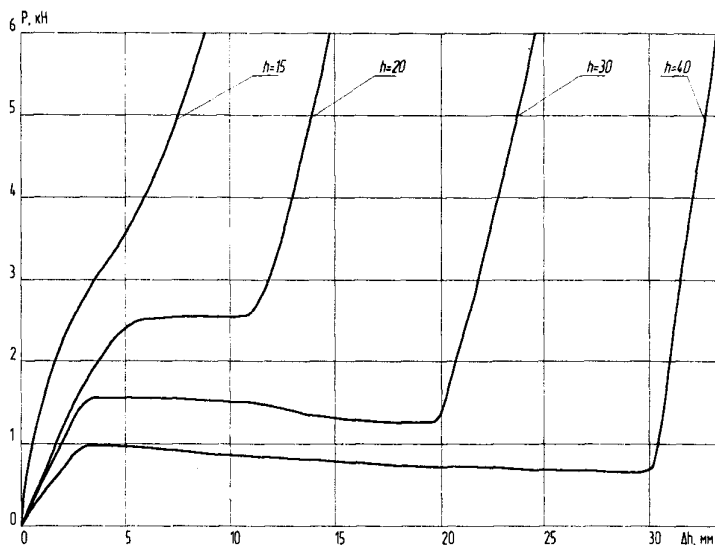


Рис.3.
Диаграммы
продольного
изгиба
эластомерных
пластин (А - высота стенки, мм).

Профили ЭСП могут иметь различные конфигурации, рис. 4. Условия, которые необходимо выполнить при проектировании профиля следующие: в состав профиля должны входить элементы, теряющие устойчивость; при потере устойчивости базовые

элементы не должны «мешать» друг другу; при нагружении профиль не должен складываться в одну какую-либо сторону.

При гибкости λ , меньшей, чем 4,0, потеря устойчивости эластомерной пластины не наблюдается. При значении гибкости, превышающем 7,5, расчет критических сил по формуле Эйлера дает удовлетворительный результат. При гибкости меньшей, чем 7,5, критические силы можно определять по диаграммам, аналогичным тем, которые представлены на рис. 3.

Если отношение высоты h к толщине эластомерных пластин δ превышает 4,5, то диаграммы сжатия таких пластин шириной b можно построить аналитически, используя приближенные формулы:

$$P(\Delta) \Big|_{\frac{h}{\delta} \geq 4,5} = \begin{cases} \frac{b\delta E}{h} \Delta, & \text{при } \Delta < \Delta_1; \\ 3,29 \frac{b\delta^3 E}{h^2}, & \text{при } \Delta_1 \leq \Delta \leq \Delta_2; \\ P = \frac{bhE}{4\delta} \Delta + \frac{bhE}{4\delta} \left(1,5\delta - h + 13,1 \frac{\delta^4}{h^3} \right), & \text{при } \Delta > \Delta_2, \text{ где} \end{cases} \quad (8)$$

$$\Delta_1 = 3,29 \frac{\delta^2}{h};$$

$$\Delta_2 = h - 1,5\delta$$

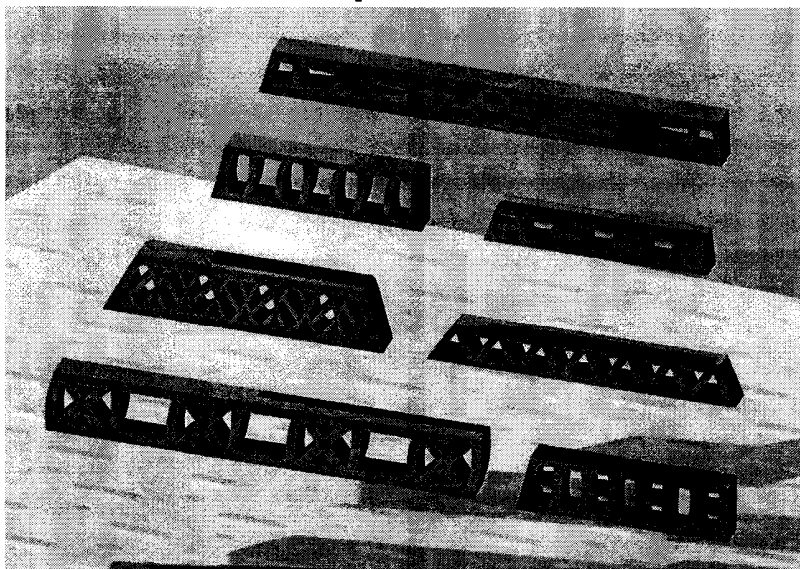


Рис. 4. Конструктивные типы эластомерных сминающихся прокладок.

Реакция ЭСП может быть определена по формуле:

$$P = \frac{b}{b'} P' \cdot k_k \cdot A, \text{ кН}, \text{ где} \quad (9)$$

$\frac{b}{b'}$ - отношение ширины базового элемента ЭСП к ширине соответствующей пластины (прототипа), для которой построена диаграмма сжатия;

P' - критическая сила, при которой прототип теряет устойчивость, кН;

k_k - коэффициент начальной кривизны базового элемента ЭСП, принимаемый равный 1, если кривизны нет, и равный 0,56, если кривизна есть;

A - число базовых элементов ЭСП.

В формуле (9) усилие P' может быть рассчитано по формуле (8) в том случае, если отношение высоты базового элемента к его толщине больше, чем 4,5.

Расчет прочности ЭСП, и определения ее реакции при нагружении были проведены по МКЭ с помощью специальной программы для персонального компьютера. Результаты расчета приведены на рис. 5. Сравнение значений реакций, полученных путем расчета по МКЭ и по формулам (9) показало, что погрешность не превышает 11%.

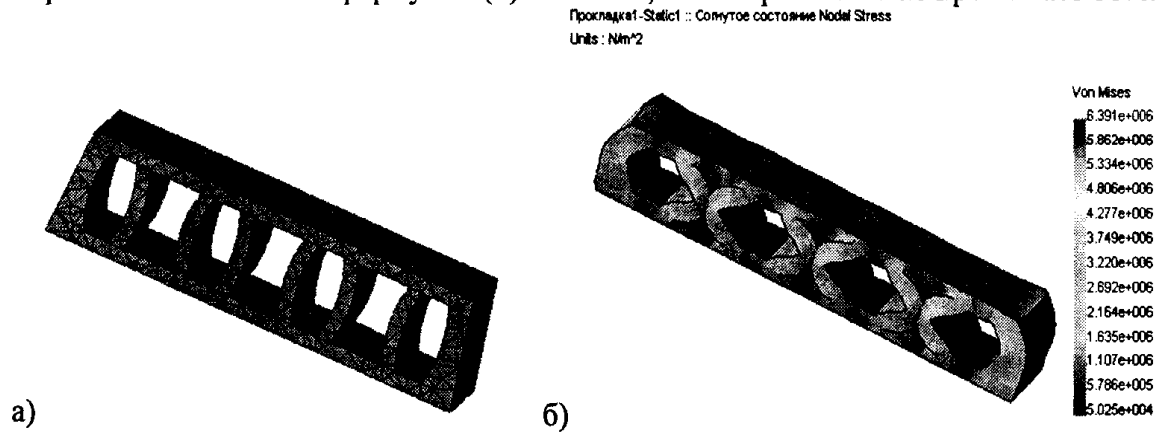


Рис. 5. Результаты расчета ЭСП по МКЭ:

а – конечно-элементная модель; б – поле напряжений.

Исходными данными для проектирования являются размеры опорной поверхности, на которой должны размещаться ЭСП; нагрузка на всю опору P , максимальная просадка опоры u . Максимальная просадка опоры u , может быть определена по диаграммам сжатия древесины, которую предполагается заменить ЭСП, или по соответствующим нормативным документам. При приложении расчетной нагрузки P на опору базовые элементы ЭСП должны потерять устойчивость. Согласно формуле (8) минимальная деформация базовых элементов при этом должна составить $\Delta_1 = 3,29 \frac{\delta^2}{h}$.

Нагрузка, приложенная к каждому базовому элементу, определится по формуле $P_1 = \frac{P}{n}$, где P – вся нагрузка на опору, n – число базовых элементов. Подставляя значение P_1 , выраженное через P , в формулу (8), можно записать уравнение:

$$\frac{P}{n} = 3,29 \frac{b\delta^3 E}{h^2}. \quad (10)$$

В уравнении (10) неизвестными являются n , b , δ , h . Недостающие уравнения могут быть получены из геометрических условий и условия минимального расхода эластомерного материала. Решая полученную таким образом систему уравнений, можно найти число базовых элементов и их размеры. После этого могут быть сформированы профили ЭСП с учетом предъявляемым к ним конструктивным требованиям. В завершение должна быть разработана схема размещения спроектированных ЭСП на опорном контуре.

Шестая глава посвящена проектированию судостроительных конструкций, в состав которых входят эластомерные элементы. Проведен анализ спусковых продольных стапелей, исследованы пути замены деревянного настила спусковых дорожек. Спроектированы спусковые дорожки с эластомерными прокладками.

В результате анализа существующих конструкций спусковых дорожек с деревянным упругим настилом можно заключить, что металлоконструкции, входящие в их состав, могут быть использованы и в спусковых дорожках, созданных на основе эластомерных упругих элементов.

Один из вариантов спусковой дорожки продольного стапеля с эластомерными прокладками показан на рис. 6.

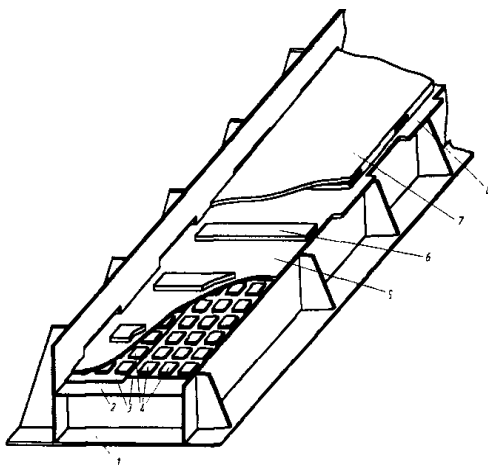


Рис. 6. Спусковая дорожка продольного стапеля с эластомерными прокладками.

1 – металлоконструкция; 2 – сплошной настил; 3 – тканевая лента, пропитанная эластомером; 4 – эластомерные прокладки; 5 – стальной лист; 6 – крепежные полосы; 7 – пластмассовые щиты; 8 – замки.

В заключении подведен итог диссертационной работе, перечислены основные результаты, сделаны выводы.

ВЫВОДЫ

В диссертации обоснованы и решены новые научные задачи по замене древесины судового назначения на эластомерные материалы, разработаны научные методы проектирования эластомерных конструкций. Предлагаемые методы проектирования строятся на использовании экспериментальных данных, а также формул и зависимостей, полученных аналитически. В основу проектирования эластомерных сминающихся прокладок положен разработанный метод моделирования текучести древесины за счет конструктивной нелинейности эластомерных элементов.

В результате исследований в диссертационной работе были получены следующие научные и практические результаты:

1. На основании анализа отечественных и зарубежных источников, в которых рассмотрено применение древесины на судах, в судостроении и судоремонте, установлена актуальность исследования возможности замены древесины судового назначения на эластомерные материалы. Выполнен также анализ элементов опорных и опорно-транспортных устройств, применяемых в плавдоках, судостроении и судоремонте, в состав которых входят деревянные конструкции. На основании этого анализа сформулированы условия замены древесины судового назначения на эластомерные материалы.
2. Разработаны: метод замены древесины судового назначения на эластомеры по упругим показателям; метод моделирования упругих свойств древесины эластомерными конструкциями; метод проектирования и оптимизации упругих оснований с заданными характеристиками на основе эластомерных элементов, покрывающих большую площадь; метод проектирования эластомерных сминающихся прокладок.
3. Для расчета эластомерных конструкций адаптированы математические модели их совместного деформирования с корпусными конструкциями с учетом несжимаемости эластомерных материалов. Усовершенствованы методы расчета эластомерных конструкций на основе метода конечных элементов.
4. Обоснованы конструктивные типы эластомерных сминающихся прокладок и конструкции спусковых дорожек продольного стапеля, созданных на основе эластомерных упругих элементов.
5. Аналитически получены формулы для определения реакций эластомерных пластин и сминающихся прокладок. Определены границы и сформулированы условия применимости этих формул.
6. Путем сопоставления проверена достоверность результатов, полученных расчетом по МКЭ, по аналитически полученным формулам и на основе эксперимента.
7. Результаты диссертации использованы в хозяйственных работах «Разработка технической документации на переоборудование ремонтного плавдока в качестве передаточного», «Исследование напряженного состояния, разработка и изготовление опытного образца эластичных прокладок спусковых дорожек», проводившихся на ГП «Судостроительный завод им. 61 Коммунара»; в госбюджетной работе по теме № 1163 «Проектирование эластичных конструкций судовых устройств», гос. рег. № 0195U029346, УГМТУ, 1997 г.

***Основное содержание диссертации отражено в
следующих работах:***

1. Коробанов Ю.Н., Коршиков Р.Ю. Основы выбора эластичных прокладок по упругим показателям. //Вестник Херсонского государственного технического университета № 1(3) - 1998 г. - Херсон: Херсонский государственный технический университет, 1998 г. - с. 149 - 152.
Лично Коршиковым Р.Ю. сформулированы критерии выбора эластичных прокладок.
2. Коробанов Ю.Н., Коршиков Р.Ю. Применение декларативной парадигмы в программировании задач оптимизации размещения однородных объектов на плоскости. //Межвузовский журнал «Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы» № 2 - 1998 г. - Херсон: Херсонский государственный технический университет, 1998 г. - с. 123 - 128.
Лично Коршиковым Р.Ю. разработаны основы решения задач оптимизации, которые построены на использовании декларативной парадигмы и компьютерно-ориентированных методов оптимизации.
3. Коробанов Ю.Н., Коршиков Р.Ю. Особенности проектирования эластичных прокладок, способных по упругим показателям заменять деревянные конструкции. //Сборник научных трудов Украинского государственного морского технического университета № 12 (360) - Николаев: УГМТУ, 1998 г. - с. 10 - 17. *Лично Коршиковым Р.Ю. сформулированы условия замены древесины на эластичные прокладки по упругим показателям.*
4. Коршиков Р.Ю. Рекомендации по проектированию судостроительных опорных устройств на основе эластомерных упругих элементов. //Вестник Херсонского государственного технического университета № 3 (6) - 1999 г. - Херсон: Херсонский государственный технический университет, 1999 г. - с. 398-405.
5. Коробанов Ю.Н., Коршиков Р.Ю. Пути замены древесных материалов на эластомеры в судостроении. //Международный научно-практический симпозиум. «Проблемы судостроения: положение, идеи, решения» (Николаев, 8-10 октября 1997 г.). Тезисы докладов. - Николаев: УГМТУ, 1997 г. - с. 69 - 70.
Лично Коршиковым Р.Ю. проанализированы условия замены древесины на эластомеры в судостроении.
6. Коробанов Ю.Н., Коршиков Р.Ю. Возможности реализации конструктивной нелинейности эластомерных прокладок. //Международная научная конференция по математическому моделированию (Херсон, 3 - 6 сентября 1998 г.). Сборник научных трудов Национальной академии наук Украины Института математики. -Киев, 1998 г. - с. 128 - 130.
Лично Коршиковым Р.Ю. предложено использовать потерю устойчивости эластомерных прокладок для реализации конструктивной нелинейности. 1. Коршиков Р.Ю., Коробанов Ю.Н. Систематизация элементов опорных устройств, содержащих древесину, применяемых в судостроении. //Сборник научных трудов Украинского государственного морского технического университета имени адмирала Макарова № 1 (367) - Николаев: УГМТУ, 2000 г. - с. 16 - 24. Лично Коршиковым Р.Ю. предложен способ расчета коэффициентов жесткости деревянных конструкций, составленных из типовых элементов.
8. Спускові доріжки. Заявка на винахід Х^о 2000020771 /Коробанов Ю.М., Коршиков Р.Ю./ Державний комітет України з питань науки та інтелектуальної власності. Інститут промислової власності.
Лично Коршиковым Р.Ю. разработана общая схема расположения эластомерных прокладок в конструкциях продольного спускового ступельного устройства.

9. Прокладки, що мнуться. Заявка на винахід № 2000105713 від 09.10.2000. /Коробанов Ю.М., Коршиков Р.Ю/. Міністерство освіти і науки України, Державний департамент інтелектуальної власності. Український інститут промислової власності (Укрпатент).

Лично Коршиковым Р.Ю. разработаны варианты конструкций эластомерных сминающихся прокладок

10. Моделирование текучести древесины посредством конструктивной нелинейности эластомерных элементов. Свідоство про державну реєстрацію прав автора на твір ПА № 3469 від 09.10.2000. /Коробанов Ю.М., Коршиков ЕЮ/. Міністерство освіти і науки України Державний департамент інтелектуальної власності.

Лично Коршиковым Р.Ю. разработан метод моделирования текучести древесины эластомерными конструкциями за счет потери устойчивости эластомерными элементами.

АНОТАЦІЯ

Коршиков Р.Ю. Проектування еластичних елементів, здатних замінити деревину суднового призначення. - Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.08.03 - механіка та конструювання суден. - Український державний морський технічний університет імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2001.

Дисертація присвячена рішенням наукових задач по заміні деревини суднового призначення на еластомірні конструкції, створенню методів проектування і розрахунку еластичних елементів з еластомірів, що входять до складу суднових пристроїв плавучих споруд, а також експериментальному дослідженню стійкості суднових еластомірних конструкцій, у дисертації сформульовані і обґрунтовані умови заміни деревини на еластоміри, розроблені методи проектування еластомірних пружних елементів і еластомірних прокладок, що мнуться, розроблений метод проектування і оптимізації пружних основ на основі еластомірних елементів, що покривають велику площу. Запропоновано метод моделювання текучості деревини за допомогою конструктивної не лінійності еластомірних конструкцій, отримані аналітичні формули для визначення реакцій еластомірних пластин і еластомірних прокладок, що мнуться. Обґрунтовані конструктивні типи еластомірних прокладок, що мнуться. Проаналізовані та вибрані методи розрахунку сумісного деформування корпусу судна, елементів опорного пристрою та плавдока, а також вибрані критерії, що є початковими для розрахунку сумісного деформування пружних еластомірних елементів та корпусних конструкцій судна. Запропонована нова конструкція спускових доріжок повздовжнього стапеля, до складу яких входять еластомірні пружні елементи.

Ключові слова: еластичні елементи, еластоміри, еластомірні прокладки, що мнуться, конструктивна нелінійність, текучість, оптимізація, метод проектування, плавуча споруда, опорний пристрій, спускові доріжки.

АННОТАЦИЯ

Коршиков Р.Ю. Проектирование эластичных элементов, способных заменить древесину судового назначения. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.03 - механика и конструирование судов.- Украинский государственный морской технический университет имени адмирала Макарова, Николаев, 2001.

Диссертация посвящена решению научных задач по замене древесины судового назначения на эластомерные конструкции, созданию методов проектирования и расчета эластичных элементов из эластомеров, входящих в состав судовых устройств плавучих сооружений, а также экспериментальному исследованию устойчивости судовых эластомерных конструкций, в диссертации сформулированы и обоснованы условия замены древесины на эластомеры. Установлено, что эластомеры по своим механическим характеристикам приближаются к древесине, однако имеют и ряд существенных отличий. Для обеспечения соответствия характеристик эластомерных конструкций деревянным предлагаются специальные конструктивные решения. Проведен анализ типовых деревянных конструкций, применяемых на судах, плавучих сооружениях, в судостроении и судоремонте, в результате которого установлено, что древесина используется в них в качестве упругого или упруго-пластического тела, а также в виде их комбинации. Систематизированы формулы для определения податливости опорных конструкций с деревянной подушкой. Рассмотрен расчет эластичных конструкций по методу конечных элементов, в расчете принято, что материал является несжимаемым, статически деформируемым, однородным, изотропным, линейно-упругим. Проанализированы и выбраны методы расчета совместного деформирования корпуса судна, элементов опорного устройства и плавдока, а также выбраны критерии, являющиеся исходными для расчета совместного деформирования упругих эластомерных элементов и корпусных конструкций судна. Проведена реализация и адаптация этих методов для персонального компьютера. Разработан метод проектирования и оптимизации упругих оснований из эластомерных элементов, и даны рекомендации по проектированию опорных устройств плавдоков и судостроительных опорных устройств на основе эластомерных упругих элементов. Проектирование упругого основания, покрывающего большую площадь, условно можно разделить на проектирование на макро- и микроуровнях. Проектирование на макроуровне предполагает выбор числа опор, их типов, механических характеристик каждой опоры. Проектирование на микроуровне предполагает разработку конструкции каждого отдельного макроэлемента, выбор числа и типа упругих микроэлементов, размещаемых на его опорной поверхности. Разработаны методы моделирования текучести древесины посредством конструктивной нелинейности эластомерных элементов и проектирования эластомерных сминающихся прокладок. Установлена возможность моделирования текучести древесины за счет потери устойчивости отдельными элементами эластомерных конструкций. Предложены конструктивные типы эластомерных сминающихся прокладок, а также метод их проектирования. Проведен расчет упругих характеристик и деформативной податливости эластомерных сминающихся прокладок по методу конечных элементов. Аналитически получены формулы для определения реакций эластомерных пластин и эластомерных сминающихся прокладок при продольном изгибе. Проанализированы типовые металлоконструкции, входящие в состав спусковых дорожек продольных стапелей. Установлено, что спусковые дорожки, могут быть переоборудованы путем замены деревянного настила на эластомерные конструкции с сохранением металлоконструкций, входящих в их состав. Сконструированы спусковые дорожки продольного стапеля, в состав которых входят эластомерные упругие элементы.

Ключевые слова: эластичные элементы, эластомеры, эластомерные сминающиеся прокладки, конструктивная нелинейность, текучесть, оптимизация, метод проектирования, плавучее сооружение, опорное устройство, спусковые дорожки.

ANNOTATION

Roman Y. Korshikov: Designing of elastic elements suitable for substitution of marine purpose wood. - Typescript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science in the speciality Ref No. 05.08.03: "Mechanics and Designing of Ships". - Ukrainian State Marine University named after admiral Makarov, Nikolaev, 2001.

The dissertation is intended for fixing of scientific problems concerning with: an alternative usage of elastomeric structures in place of the marine purpose wood, and developing of methods of designing and estimation for elastomeric elastic elements, which form a part of hull arrangements for floating structures, and experimental research of buckling strength of elastomeric ship structures. The conditions for substitution of a wood material with elastomers *were* formulated and grounded in the dissertation. Methods of designing of elastic elements made of elastomer as well as of collapsible elastomeric pads were developed. Methods of designing and optimisation of elastic supports based on elastomeric elements, which cover big area, was developed in the dissertation. A method of simulation of yield of a wood material by taking use of structural non-linearity of elastomeric structures was suggested. Analytic formulas for determining of reactions from elastomeric plates and from collapsible elastomeric pads *were* worked out. Constructional types of elastomeric collapsible pads were grounded in the dissertation. Methods of estimation of joint deformation of ship's hull with slipway structures and with floating dock in whole were analysed and a selection was made. Criteria were defined which form input data for estimation of joint deformation of elastic elastomeric elements with a ship's hull structures. A new design of launching ways for longitudinal slipway, which includes elastic elastomeric elements, was suggested.

Key words: elastic elements, elastomers, collapsible elastomeric pads, structural non-linearity, yield, optimisation, method of designing, floating structure, supporting appliance, launching ways.