

## МОДЕЛЬ СУДОВОГО ПЕРЕКРЫТИЯ КАК КОНСТРУКТИВНО-ОРТОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЫ

*Рассмотрен приближенный метод расчета судовых перекрытий, работающих на изгиб. В качестве расчетной схемы выбирается математическая модель в виде конструктивно-ортотропной плиты. Такой метод расчета перекрытий был предложен академиком Ю. А. Шиманским в 1934 г. и развит в дальнейшем П. Ф. Папковичем, А. А. Курдюмовым и В. А. Постновым. Расчет выполнен методом Бубнова – Галеркина с использованием в качестве базисных функций специально построенных ортонормированных полиномов. Приводится сравнение результатов расчета судового перекрытия по предлагаемой в данной работе модели и по модели, основанной на методе Навье уравнивания прогибов в перекрестных балках. Рассмотрен числовой пример расчета перекрытия с жестко зацементированными балками обоих направлений. Пример показывает хорошее согласование решений по двум моделям и эффективность использования системы аналитических вычислений Maple к расчету балочных перекрытий различного назначения.*

*Ключевые слова: плоское перекрытие, балка, уравнение изгиба пластины, метод Бубнова-Галеркина, ортонормированные полиномы.*

### Введение

Плоские перекрытия являются элементами многих судовых конструкций — палуб, переборок судна, днищ, бортов. С точки зрения расчетной схемы, судовое перекрытие представляет собой систему пересекающихся балок, жестко соединенных друг с другом в точках пересечения и прикрепленных к сплошному настилу. Предполагается, что такая система расположена в одной плоскости и закреплена каким-либо способом на опорном контуре. Судовое плоское перекрытие способно воспринимать поперечную нагрузку и нагрузку распора, действующую в плоскости перекрытия. Расчет судовых перекрытий, как и других сложных составных конструкций, в настоящее время выполняется численно методом конечных элементов.

С развитием вычислительной техники и специального программного обеспечения — систем символьных вычислений (Maple, Mathematica и др.), стало возможным решать сложные математические задачи аналитическими методами. Аналитический расчет судового перекрытия можно выполнить, используя различные математические модели. Обычно сплошное перекрытие заменяют балочной системой по определенным правилам [1]. При этом не учитывается наличие сплошного настила (пластины) [2] – [5]. Численно-аналитическое решение задачи о деформировании балочного перекрытия с использованием уравнений плоской задачи теории упругости выполнено в статье [6]. Аналитическими методами теперь решаются и другие сложные задачи теории упругости [7] – [13]. Отметим, что конструкции плоских перекрытий широко применяются в строительстве (промышленном, гражданском, гидротехническом). Это перекрытия различных помещений, конструкции плоских стальных затворов или створок ворот в гидротехнических сооружениях и судовых шлюзах.

### Постановка задачи

В отличие от работ [1] и [6], здесь используется математическая модель перекрытия как конструктивно-ортотропной пластины [14]. В качестве расчетной схемы плоского судового перекрытия рассмотрим прямоугольную пластину, подкрепленную перекрестной системой ребер жесткости. При определенных условиях можно произвести замену ребристой пластины конструктивно-ортотропной пластиной с различными упругими свойствами по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

Рассмотрим однородную ортотропную пластину постоянной толщины  $h$ . Будем предполагать, что пластина имеет в плане размеры  $0 \leq x \leq a$ ,  $0 \leq y \leq b$ . В качестве срединной плоскости недеформированной пластины выберем плоскость  $xu$ , ось  $z$  направим вниз, как показано на рис. 1.

В качестве внешней нагрузки, действующей на пластину, будем рассматривать поперечную нагрузку интенсивности  $q(x, y)$ .

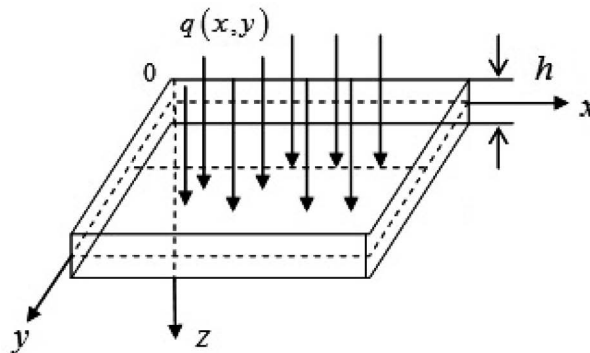


Рис. 1. Пластина постоянной толщины

Как известно [2], прогиб срединной поверхности  $w(x, y)$  ортотропной пластины удовлетворяет уравнению

$$D_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2D_3 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_2 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = q(x, y). \quad (1)$$

Для ортотропной пластины, когда направления осей  $x$  и  $y$  совмещены с главными направлениями упругости, имеем:

$$\begin{aligned} \nu_1 D_2 + 2D_k &= \nu_2 D_1 + 2D_k = D_3; \\ D_1 &= \frac{E_1 h^3}{12(1 - \nu_1 \nu_2)}, D_2 = \frac{E_2 h^3}{12(1 - \nu_1 \nu_2)}, D_k = \frac{G_{12} h^3}{12}, \end{aligned}$$

где  $D_1, D_2$ , и  $D_k$  — изгибные и крутильная жесткости, или главные жесткости;  $E_1, E_2$ , и  $G_{12}$  — модули упругости и сдвига для главных направлений. Для изотропной пластины  $E_1 = E_2 = E$ ,  $\nu_1 = \nu_2 = \nu$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)}, G_{12} = G = \frac{E}{2(1 + \nu)}.$$

Таким образом, задача сводится к определению функции нормального прогиба  $w(x, y)$  из уравнения (1), которая должна удовлетворять некоторым граничным условиям.

Иногда приближенно принимают  $D_3 = \sqrt{D_1 D_2}$ . В этом случае дифференциальное уравнение изгиба (1) приводится к уравнению для изотропной пластины, если ввести новую переменную  $y_1 = y \sqrt[4]{D_1/D_2}$ :

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y_1^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y_1^4} = \frac{q(x, y)}{D_1}.$$

Решение этого уравнения производится так же, как для условной изотропной пластины, у которой вместо ширины  $b$  принят размер  $b_1 = b \sqrt[4]{D_1/D_2}$ .

Рассмотрим теперь изотропную пластину, усиленную сеткой ребер, часто поставленных как в одном (вдоль оси  $x$ ), так и в другом (вдоль оси  $y$ ) направлениях. Такая система проявляет в общем случае различные жесткостные характеристики в направлениях  $x$  и  $y$  и называется конструктивно-ортотропной плитой. Ее расчет можно приближенно выполнить как расчет условной ортотропной плиты с жесткостями  $D_1, D_2$ , и  $D_3$ , входящими в уравнение (1).

Пусть для ребер, параллельных оси  $x$ , жесткость на изгиб  $EJ_1$ , жесткость на кручение  $GJ_{kp1}$ , а шаг расстановки этих ребер  $b_1$ . Соответственно для ребер, параллельных оси  $y$ , жесткости на изгиб и кручение  $EJ_2, GJ_{kp2}$ , а расстояние между этими ребрами  $a_1$ . Тогда указанные жесткости ортотропной пластины будут:

$$D_1 = D + \frac{EJ_1}{b_1}; D_2 = D + \frac{EJ_2}{a_1}; D_3 = D + \frac{1}{2} \left[ \frac{GJ_{kp1}}{b_1} + \frac{GJ_{kp2}}{a_1} \right],$$

где  $D$  — цилиндрическая жесткость самой изотропной пластины, которая усиливается ребрами.

При отсутствии пластины ( $D = 0$ ) уравнение (1) будет приближенно описывать изгиб частой балочной клетки.

### Метод Бубнова — Галеркина

Будем искать решение задачи в виде

$$w(x, y) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N W_{m,n} \varphi_m(x) \psi_n(y), \quad (2)$$

где  $W_{m,n}$  — константы, а в качестве базисных функций  $\{\varphi_m(x)\}$ ,  $\{\psi_n(y)\}$ ,  $m, n = 1, 2, 3 \dots$  выбираем специально построенные ортонормированные многочлены, которые подчиняются граничным условиям в точках  $x = 0, x = a$  и  $y = 0, y = b$ .

Коэффициенты  $W_{m,n}$  определяются с помощью стандартной процедуры метода Бубнова — Галеркина — невязка в выполнении уравнения (1) после подстановки (2) в (1) должна быть ортогональна базисным функциям. В результате приходим к следующей системе уравнений относительно констант  $W_{m,n}$ :

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (D_1 B_{1,m,r} \delta_{n,s} + 2D_3 A_{1,m,r} A_{2,n,s} + D_2 B_{2,n,s} \delta_{m,r}) W_{m,n} = q_{r,s}, \quad r = 1, 2, \dots, M, \quad s = 1, 2, \dots, N, \quad (3)$$

где

$$A_{1,m,n} = \int_0^a \frac{d^2 \varphi_m(x)}{dx^2} \varphi_n(x) dx, \quad A_{2,m,n} = \int_0^b \frac{d^2 \psi_m(y)}{dy^2} \psi_n(y) dy;$$

$$B_{1,m,n} = \int_0^a \frac{d^4 \varphi_m(x)}{dx^4} \varphi_n(x) dx, \quad B_{2,m,n} = \int_0^b \frac{d^4 \psi_m(y)}{dy^4} \psi_n(y) dy;$$

$$q_{m,n} = \int_0^a \int_0^b q(x, y) \varphi_m(x) \varphi_n(x) dx, \quad \delta_{m,n} = \begin{cases} 0, & m \neq n, \\ 1, & m = n. \end{cases}$$

Ортонормированные многочлены, удовлетворяющие тем или иным граничным условиям, легко строятся в системе символьных вычислений Maple на основе системы  $\{x^n\}$ ,  $n = 0, 1, 2, 3 \dots$ . Как известно [15], степени  $x$  образуют полную систему по отношению к классу функций, непрерывных в заданном промежутке. Для ортогонализации указанной системы используем стандартную процедуру Грама — Шмидта.

Не останавливаясь на очевидных подробностях, приведем несколько первых полиномов ортонормированной на отрезке  $[0, L]$  системы, удовлетворяющей граничным условиям жесткого защемления (функция и ее первая производная обращаются в нуль на концах промежутка)

$$f_1(\xi) = \frac{1}{28} \frac{\sqrt{17290}}{\sqrt{L^5}} \xi^2 - \frac{2}{7} \frac{\sqrt{17290}}{L^7 \sqrt{L^5}} \xi^9 + \frac{1}{4} \frac{\sqrt{17290}}{L^8 \sqrt{L^5}} \xi^{10};$$

$$f_2(\xi) = -\frac{199}{1484} \frac{L \sqrt{48230}}{\sqrt{L^7}} \xi^2 + \frac{12}{53} \frac{\sqrt{48230}}{\sqrt{L^7}} \xi^3 - \frac{190}{371} \frac{\sqrt{48230}}{L^6 \sqrt{L^7}} \xi^9 + \frac{89}{212} \frac{\sqrt{48230}}{L^7 \sqrt{L^7}} \xi^{10};$$

$$f_3(\xi) = \frac{7821}{90524} \frac{L^2 \sqrt{1471015}}{\sqrt{L^9}} \xi^2 - \frac{1122}{3233} \frac{L \sqrt{1471015}}{\sqrt{L^9}} \xi^3 + \frac{21}{61} \frac{\sqrt{1471015}}{\sqrt{L^9}} \xi^4 -$$

$$-\frac{7410}{22631} \frac{\sqrt{1471015}}{L^5 \sqrt{L^9}} \xi^9 + \frac{3153}{12932} \frac{\sqrt{1471015}}{L^6 \sqrt{L^9}} \xi^{10};$$

$$f_4(\xi) = -\frac{3877}{48068} \frac{L^3 \sqrt{12029017}}{\sqrt{L^{11}}} \xi^2 + \frac{6774}{12017} \frac{L^2 \sqrt{12029017}}{\sqrt{L^{11}}} \xi^3 - \frac{15351}{12017} \frac{L \sqrt{12029017}}{\sqrt{L^{11}}} \xi^4 +$$

$$+ \frac{192}{197} \frac{\sqrt{12029017}}{\sqrt{L^{11}}} \xi^5 - \frac{6118}{12017} \frac{\sqrt{12029017}}{L^4 \sqrt{L^{11}}} \xi^9 + \frac{15809}{48068} \frac{\sqrt{12029017}}{L^5 \sqrt{L^{11}}} \xi^{10};$$

$$f_5(\xi) = \frac{71929}{344947} \frac{L^4 \sqrt{8968622}}{\sqrt{L^{13}}} \xi^2 - \frac{762762}{344947} \frac{L^3 \sqrt{8968622}}{\sqrt{L^{13}}} \xi^3 + \frac{2914863}{344947} \frac{L^2 \sqrt{8968622}}{\sqrt{L^{13}}} \xi^4 -$$

$$- \frac{4951056}{344947} \frac{L \sqrt{8968622}}{\sqrt{L^{13}}} \xi^5 + \frac{990}{103} \frac{\sqrt{8968622}}{\sqrt{L^{13}}} \xi^6 - \frac{1232036}{344947} \frac{\sqrt{8968622}}{L^3 \sqrt{L^{13}}} \xi^9 + \frac{37856}{20291} \frac{\sqrt{8968622}}{L^4 \sqrt{L^{13}}} \xi^{10}$$

и т. д. По понятным причинам мы не выписываем последующие полиномы, в системе Maple легко получить сколько угодно таких многочленов.

Если в качестве полиномов  $\{\varphi_m(x)\}$ ,  $\{\psi_n(y)\}$ ,  $m, n = 1, 2, 3 \dots$  выбрать построенные многочлены  $\{f_m(\xi)\}$ ,  $m = 1, 2, 3 \dots$ , заменив  $\xi \rightarrow x$  и  $L \rightarrow a$  для функций  $\{\varphi_m(x)\}$  и  $\xi \rightarrow y$ ,  $L \rightarrow b$  для функций  $\{\psi_n(y)\}$ , то после интегрирования по частям с учетом граничных условий жесткого заземления приходим к формулам:

$$A_{1,m,n} = -\int_0^a \frac{d\varphi_m(x)}{dx} \frac{d\varphi_n(x)}{dx} dx; \quad A_{2,m,n} = -\int_0^b \frac{d\psi_m(y)}{dy} \frac{d\psi_n(y)}{dy} dy;$$

$$B_{1,m,n} = \int_0^a \frac{d^2\varphi_m(x)}{dx^2} \frac{d^2\varphi_n(x)}{dx^2} dx; \quad B_{2,m,n} = \int_0^b \frac{d^2\psi_m(y)}{dy^2} \frac{d^2\psi_n(y)}{dy^2} dy.$$

### Числовой пример

Приведем результаты расчета перекрытия, рассмотренного в статье [1], методом, предлагаемым в данной работе. Перекрытие состоит из пяти балок, расположенных в направлении оси  $x$  и трех перекрестных балок, расположенных в направлении оси  $y$ . Все балки жестко заземлены и имеют следующие характеристики [1]: момент инерции  $7080 \text{ см}^4$ , момент сопротивления  $472 \text{ см}^3$  (двутавр № 30); длина главной балки 4 м, перекрестной балки 6 м. На перекрытие действует равномерно распределенная нагрузка  $100 \text{ кН/м}^2$ .

Результаты расчета приведены на рис. 2 – 5 в виде графиков прогибов и максимальных нормальных напряжений. Используется система СИ (метры, паскали).

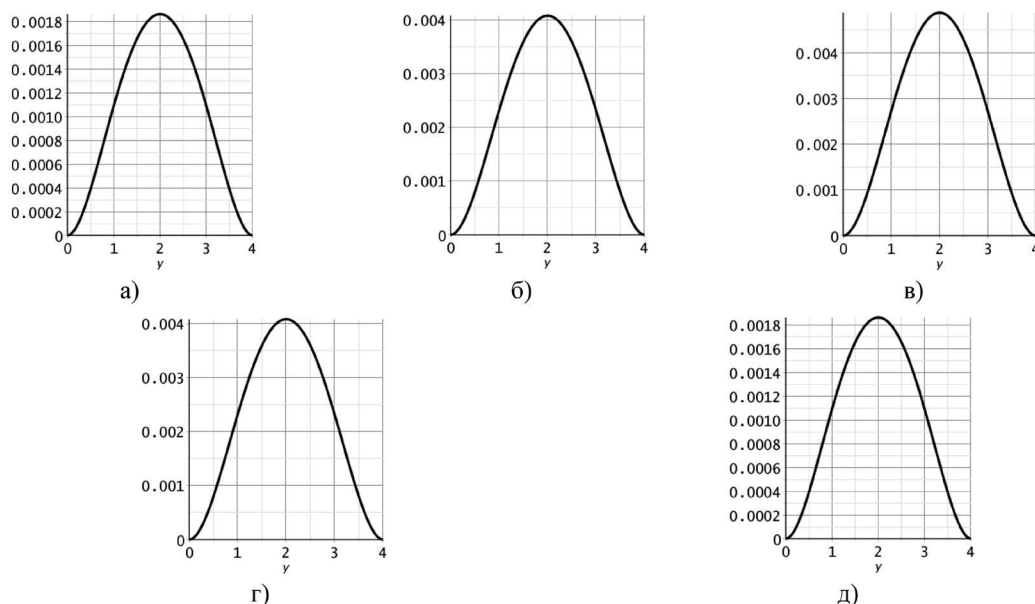


Рис. 2. Прогибы балок главного направления при: а —  $j = 1$ ; б —  $j = 2$ ; в —  $j = 3$ ; г —  $j = 4$ ; д —  $j = 5$  (расчет по схеме ортотропной плиты)

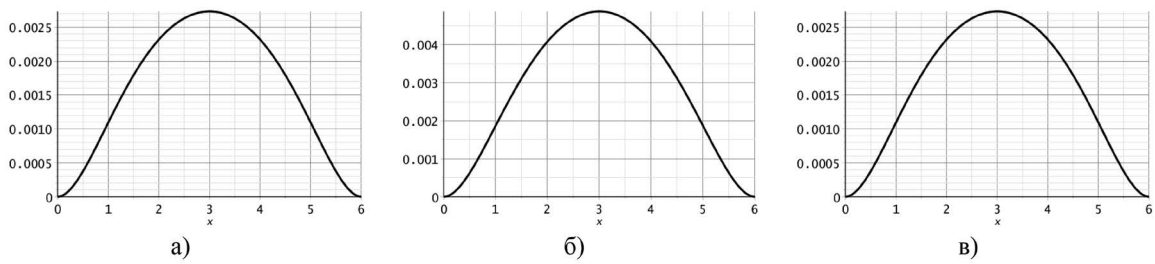


Рис. 3. Прогибы перекрестных балок при:  
 $a — i = 1$ ;  $б — i = 2$ ;  $в — i = 3$   
 (расчет по схеме ортотропной плиты)

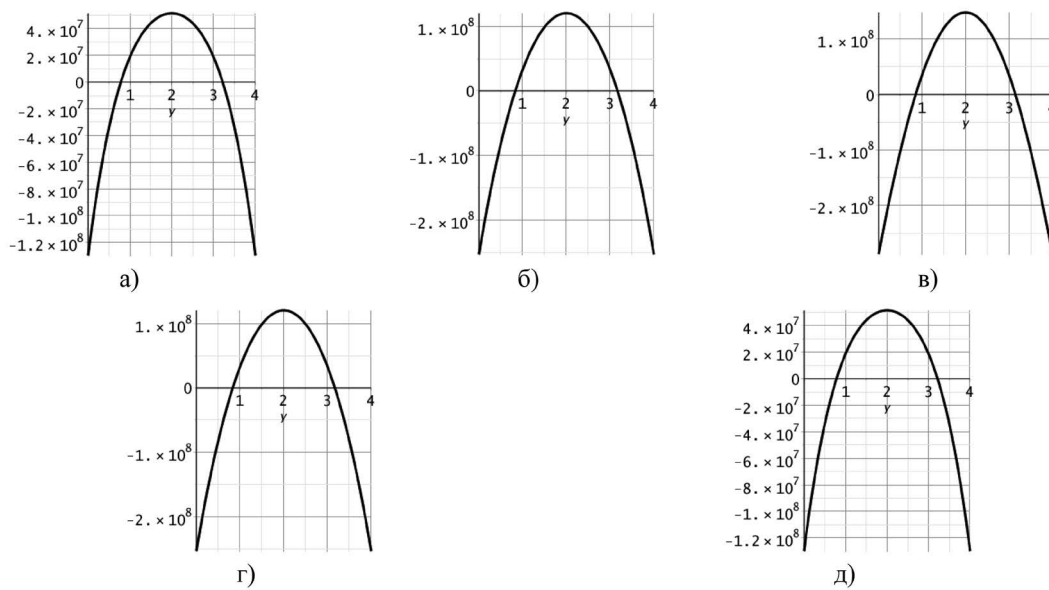


Рис. 4. Максимальное нормальное напряжение в главной балке при:  
 $a — j = 1$ ;  $б — j = 2$ ;  $в — j = 3$ ;  $г — j = 4$ ;  $д — j = 5$   
 (расчет по схеме ортотропной плиты)

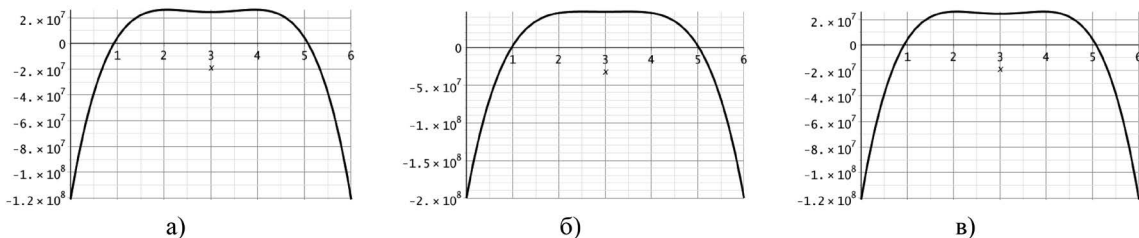


Рис. 5. Максимальное нормальное напряжение в перекрестной балке при:  
 $a — i = 1$ ;  $б — i = 2$ ;  $в — i = 3$   
 (расчет по схеме ортотропной плиты)

Для сравнения воспроизведем результаты статьи [1], где выполнен расчет перекрытия по балочной схеме методом Навье уравнивания прогибов в узловых точках (рис. 6 – 9).

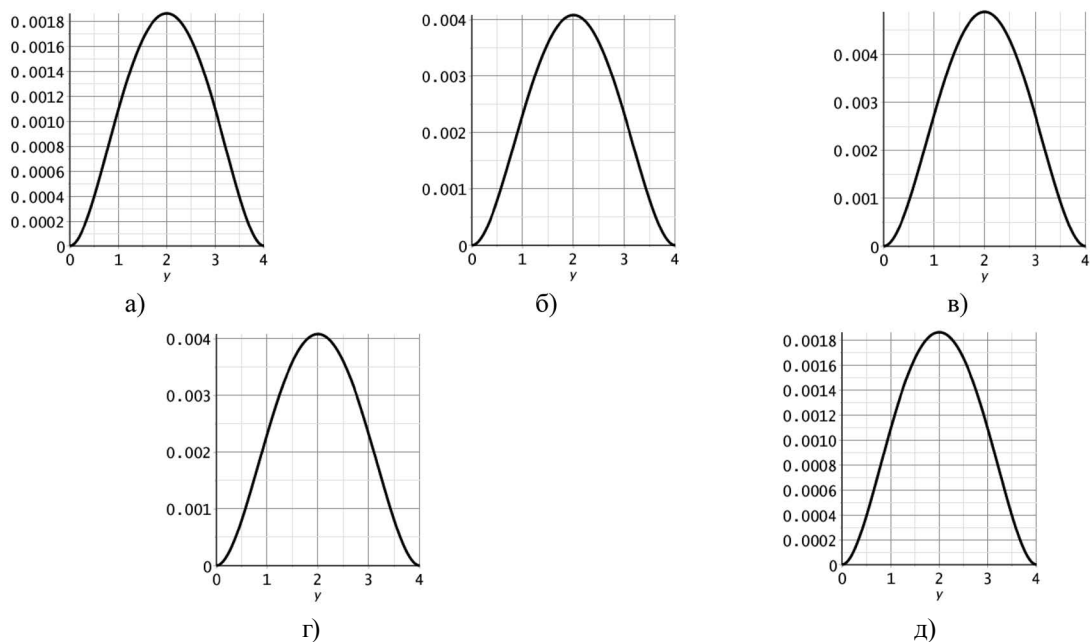


Рис. 6. Прогобы балок главного направления при: а —  $j = 1$ ; б —  $j = 2$ ; в —  $j = 3$ ; г —  $j = 4$ ; д —  $j = 5$  (расчет по балочной схеме методом Навье)

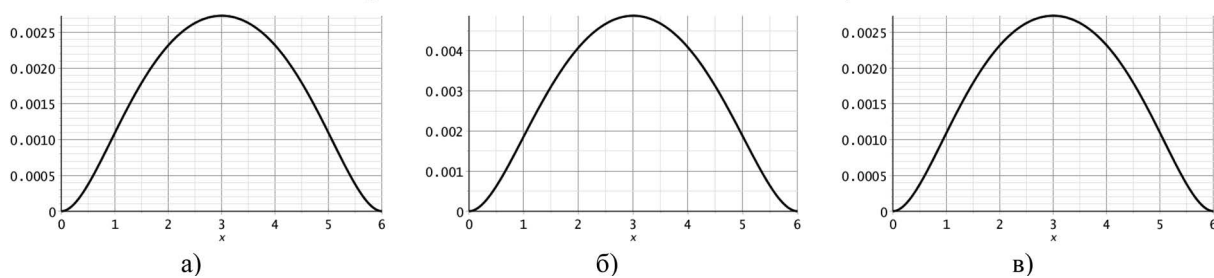


Рис. 7. Прогобы перекрестных балок при: а —  $i = 1$ ; б —  $i = 2$ ; в —  $i = 3$  (расчет по балочной схеме методом Навье)

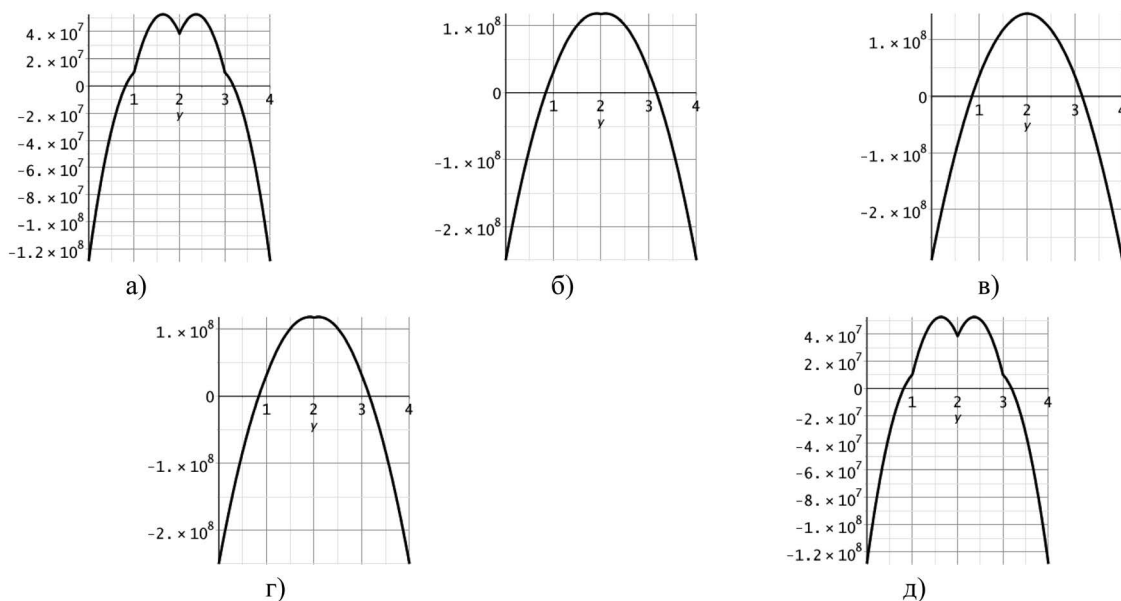


Рис. 8. Максимальное нормальное напряжение в главной балке при: а —  $j = 1$ ; б —  $j = 2$ ; в —  $j = 3$ ; г —  $j = 4$ ; д —  $j = 5$  (расчет по балочной схеме методом Навье)

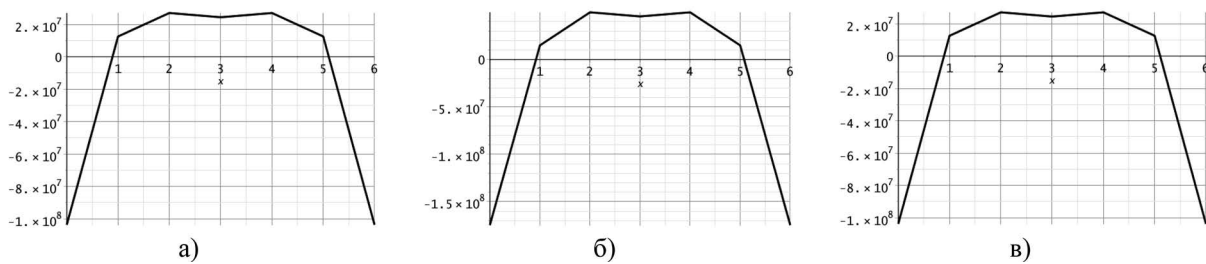


Рис. 9. Максимальное нормальное напряжение в перекрестной балке при  
 $a — i = 1$ ;  $b — i = 2$ ;  $v — i = 3$

(расчет по балочной схеме методом Навье)

Сравнение результатов расчета по схеме ортотропной пластины и методом Навье показывает хорошее согласие. Эпюры прогибов практически полностью совпадают. Напряжения по схеме ортотропной пластины получаются сглаженными по сравнению с полученными методом Навье. Такая ситуация присуща вариационным методам и методу Бубнова — Галеркина. При этом числовые значения напряжений, даваемые схемой ортотропной пластины, незначительно выше по модулю, чем напряжения, рассчитанные по балочной схеме методом Навье, что играет положительную роль, так как идет в запас прочности.

### Заключение

Результаты, изложенные в данной статье, показывают эффективность аналитического расчета балочных перекрытий различного назначения в системе аналитических вычислений Maple как с применением метода Навье, так и по схеме ортотропной пластины. Следует, однако, всегда иметь в виду условность рассмотренных подходов. При расчете перекрытий по балочной схеме необходимо учитывать наличие сплошных настилов. Схема конструктивно-ортотропной пластины позволяет учесть наличие сплошного настила, но при этом подкрепляющие настил балки как бы «размазываются» по пластине. Более адекватной математической моделью является модель ребристой пластины с учетом дискретного расположения ребер [3] – [5]. Обычно, расчет различных конструкций, в том числе и перекрытий, выполняется методом конечных элементов. Развитие вычислительной техники и создание соответствующего программного обеспечения — пакетов аналитических вычислений — привело к тому, что появилась возможность аналитического решения сложных задач математической физики.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голоскоков Д. П.* Расчет плоских перекрытий в системах символьных вычислений / Д. П. Голоскоков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 4 (32). — С. 119–125.
2. *Голоскоков Д. П.* Метод полиномов в задачах теории тонких плит / Д. П. Голоскоков, П. Г. Голоскоков. — СПб.: СПГУВК, 2008. — 254 с.
3. *Голоскоков Д. П.* Численно-аналитические методы расчета упругих тонкостенных конструкций нерегулярной структуры / Д. П. Голоскоков. — СПб.: Изд-во А. Кардакова, 2006. — 271 с.
4. *Goloskokov D. P.* Analyzing simply supported plates using Maple system / D. P. Goloskokov // International conference on computer technologies in physical and engineering applications, ICSTPEA 2014, Russia, Saint-Petersburg, June 30–July 4. — 2014. — Pp. 57–58.
5. *Голоскоков Д. П.* Примеры реализации в Maple энергетического метода для задач изгиба тонких плит / Д. П. Голоскоков // IV-й международный семинар по математическому моделированию в системах компьютерной математики KAZCAS-2014. — Казань: Изд-во Казанского университета, 2014. — С. 33–62.

6. *Матросов А. В.* Расчет балочных перекрытий численно-аналитическим методом / А. В. Матросов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2012. — № 1. — С. 8–15.

7. *Матросов А. В.* Численно-аналитический алгоритм решения задач плоской деформации линейно-упругих тел сложной конфигурации / А. В. Матросов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2008. — № 3. — С. 70–84.

8. *Матросов А. В.* Алгоритмы получения замкнутых форм операторов метода начальных функций для пространственных задач теории упругости / А. В. Матросов, Г. Н. Ширунов // Вестник гражданских инженеров. — 2014. — № 1 (42). — С. 136–144.

9. *Матросов А. В.* Численно-аналитический расчет балок-стенок на линейно-упругом основании / А. В. Матросов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2011. — № 2. — С. 14а–21.

10. *Ширунов Г. Н.* Анализ напряженно-деформированного состояния упругого слоя под действием локальной нагрузки методом начальных функций / Г. Н. Ширунов // Вестник гражданских инженеров. — 2014. — № 5 (46). — С. 58–67.

11. *Shirunov G. N.* A method of initial functions in analyzing a stress and strain state of an elastic layer / G. N. Shirunov // International conference on computer technologies in physical and engineering applications (ICCTPEA). — СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 2014. — С. 166–167.

12. *Matrosov A. V.* A numerical-analytical decomposition method in analyses of complex structures / A. V. Matrosov // International conference on computer technologies in physical and engineering applications (ICCTPEA). — СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 2014. — С. 96.

13. *Galileev S. M.* Method of initial functions for layered and continuously inhomogeneous plates and shells / S. M. Galileev, A. V. Matrosov, V. E. Verizhenko // Mechanics of Composite Materials. — 1995. — Vol. 30. — № 4. — Pp. 386–392.

14. *Александров А. В.* Основы теории упругости и пластичности: учебник для строит. спец. вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов. — М.: Высшая школа, 1990. — 400 с.

15. *Михлин С. Г.* Вариационные методы в математической физике / С. Г. Михлин. — М.: ГИТТЛ, 1957. — 476 с.

## MODEL OF SHIP'S OVERLAPPINGS AS A CONSTRUCTIVE-ORTHOTROPIC PLATE

*The approximate method for analyzing ship's overlapping is considered. Offered a mathematical model of a flat slab, running on a bend, as the constructive-orthotropic plate. This method of calculating the overlap was proposed by academician Y. A. Shimansky in 1934 and developed further P. F. Papkovich, A. A. Kurdyumov, and V. A. Postnov. The calculation is performed by the Bubnov-Galerkin method, using as basis functions specially constructed orthonormal polynomials. A comparison of the results of calculation of ship overlap on the proposed model in this article and the model based on the idea of the method of Navier as the deflections of beams of the main directions and cross beams are equal at the nodal points [1]. Considered a numerical example of the calculation of overlap with rigidly clamped beams both directions. The example shows a good agreement between the two decisions on the use of models and the effectiveness use of the system of analytical calculations of Maple various purposes.*

*Keywords: Plane overlapping, beams, the equation of bending plate, Bubnov-Galerkin method, orthonormal polynomials.*

### REFERENCES

1. Goloskokov, D. P. "Calculation of plane overlappings in system of symbolical calculations." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 4(32) (2015): 119–125.
2. Goloskokov, D. P., and P. G. Goloskokov. *Metod polinomov v zadachah teorii tonkih plit.* SPb.: SPGUVK, 2008.
3. Goloskokov, D. P. *Chislenno analiticheskie metody rascheta uprugih tonkostennykh konstrukcij nereguljarnoj struktury.* SPb.: Izd-vo A. Kardakova, 2006.



4. Goloskokov, D. P. "Analyzing simply supported plates using Maple system." *International conference on computer technologies in physical and engineering applications, ICCTPEA 2014, Russia, Saint-Petersburg, June 30–July 4. 2014*: 57–58.
5. Goloskokov, D. P. "Primery realizacii v Maple jenergeticheskogo metoda dlja zadach izgiba tonkikh plit." *IV-j mezhdunarodnyj seminar po matematicheskomu modelirovaniju v sistemah komp'juternoj matematiki KAZCAS-2014*. Kazan: Izd-vo Kazan. un-ta, 2014: 33–62.
6. Matrosov, A. V. "A numerical-analytic analysis of grillages." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova 1* (2012): 8–15.
7. Matrosov, A. V. "Numerical-analytical algorithm for solving problems of plane deformation of linearly-elastic solids with irregular shapes." *Vestnik of St. Petersburg State University. Series 10. Applied mathematics. Computer science. Control processes 3* (2008): 70–84.
8. Matrosov A. V., and G. N. Shirunov. "Algorithms for obtaining closed forms of the operators of the initial functions method for three-dimensional problems of the elasticity theory." *Bulletin of civil engineers 1*(42) (2014):136–144.
9. Matrosov, A. V. "A numerically-analytical analysis of wall-beams on a linearly elastic foundation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova 2* (2011):14a–21.
10. Shirunov, G. N. "Analysis of the stress-strain state of elastic layer loaded locally by the initial functions method." *Bulletin of civil engineers 5*(46) (2014): 58–67.
11. Shirunov, G. N. "A method of initial functions in analyzing a stress and strain state of an elastic layer." *International conference on computer technologies in physical and engineering applications (ICCTPEA)*. SPb.: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyi universitet, 2014: 166–167.
12. Matrosov, A. V. "A numerical-analytical decomposition method in analyses of complex structures." *International conference on computer technologies in physical and engineering applications (ICCTPEA)*. SPb.: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyi universitet, 2014: 96–96.
13. Galileev S. M., A. V. Matrosov, and V. E. Verizhenko. "Method of initial functions for layered and continuously inhomogeneous plates and shells." *Mechanics of Composite Materials*. 30.4 (1995): 386–392.
14. Aleksandrov, A. V., and V. D. Potapov. *Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti: Ucheb. dlja stroit. spec. vuzov*. M.: Vyssh. shk., 1990.
15. Mihlin, S. G. *Variacionnye metody v matematicheskoj fizike*. M.: GITTL, 1957.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Голоскоков Дмитрий Петрович —  
доктор технических наук, профессор.  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени  
адмирала С.О. Макарова»  
GoloskokovDP@gumrf.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Goloskokov Dmitriy Petrovich —  
Dr. of Technical science, professor.  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
GoloskokovDP@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 27 ноября 2015 г.

УДК 65.012.45:004.02(378.1)

А. Н. Тындыкарь

### РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

В ходе исследования комплексов показателей, разработанных для модели образовательного процесса морского учебного заведения, возникла необходимость организации движения информационных потоков для наиболее оперативной и эффективной деятельности высшего учебного заведения. В статье предложены функциональные схемы организации образовательного процесса морского учебного заведения,