

Методические указания предназначены для студентов Морского технического университета кораблестроительного факультета, самостоятельно выполняющих курсовые проекты и работы по курсу «Проектирование судовых конструкций».

Указания содержат алгоритмы и программы для микрокалькулятора серии «Электроника МК» по расчету параметров сечения балок, подбору катаных и сварных профилей по сортаментам, проектированию сварных стальных тавров.

ТИМОФЕЕВ

Олег Яковлевич

АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММЫ ДЛЯ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРА ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания к курсовому проектированию

© Изд. ГМТУ СПб,
1992

Ответственный редактор канд. техн. наук,
доц. Ю. А. Свирилов
Литературный редактор Н. Ф. Судникова

СНОВИ ОБЈАВЉЕЊА

В настоящим методическим указании описаны способы расчета характеристик профилей; проектирования или подбора параметров профиля по требуемым значениям и вычисления расчетной толщины пластин вставки или обшивки. По предложенным алгоритмам составлены и приведены программы для программируемых микрокалькуляторов серии МК ("Электроника МК-34", "Электроника МК-52", "Электроника МК-61" и т.д.), дающие возможность значительно сократить время самостоятельного выполнения курсовых проектов. К сожалению, ограниченный объем программного блока микрокалькулятора (105 ячеек) не позволяет автоматизировать процедуры в общей схеме. Каждый раздел методических указаний сформирован следующим образом:

- физическое описание процедуры в области применения;
- описание алгоритма;
- текст программы для МК, приоткрывающий собой таблицу, состоящую из пяти колонок, в каждой из которых указан номер ячеек программы и выполняемая в ячее операции в смыслем аналитики микрокалькулятора;
- описание входных данных, содержащие способ ввода данных (с клавиатуры по запросу программы или заранее в соответствующих регистрах) и размерность входных данных;
- описание результатов, содержащие способ вывода данных (на дисплей или в соответствующие регистры) и их размерности;
- тестовый пример для проверки правильности работы программы.

Приведенные алгоритмы и тестовые примеры могут быть использованы для самостоятельной разработки программ для других микрокалькуляторов или персональных компьютеров.

1. ВНЕШНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОФИЛЕЙ С ПРОВОДИМЫМ ПЛОСКИМ КРАЕМ ЧИСТА ТОНКИМ ПРОВОДИМЫМ ПОЛОСКИ

Вспомогательные расчеты прочности и устойчивости балки с указанного набора требуют знания характеристик поперечного сечения профиля с проводимым плоским краем (рис.1). Площадь поперечного сечения проводимого плоского ленточного элемента вычисляется следующим образом:

$$f_{кр} = b \cdot t$$

где t - толщина листа металла или обшивки, к которой принадлежит балка; $b = \sin(\lambda/\delta; \alpha)$ - ширина проводимого плоского ленточного элемента; λ - пролет балки; α - расстояние между балками.

Требуется рассчитать собственный момент инерции балки



Рис.1. Параметры профиля с проводимым плоским краем

с плоским относительно горизонтальной осей, моменты сопротивления верхней кромки профиля $W_{кр}$ и проводимого плоского $W_{пл}$ - плоскости нейтральной оси σ . Исходными данными являются площадь поперечного сечения профиля f и его собственный момент инерции относительно горизонтальной оси I_x , координата z центра тяжести профиля, высота профиля h и площадь проводимого плоского $f_{кр}$. Алгоритм построения на известных значениях вычисления характеристик составной фигуры:

$$\sigma = \frac{fz}{f + f_{кр}} ; I = I_x + f(\sigma - z)^2 + f_{кр} \sigma^2 ; \quad (1)$$

$$W_{кр} = \frac{f_{кр}}{h - \sigma} ; W_{пл} = \frac{f}{\sigma}$$

По формулам (1) составлена программа, приведенная в табл.1. Программа показывает, что исходные данные заносятся в следующие регистры в указанных или любых измерениях:

- f (см²) — R0 ; h (см) — R3 ;
- I_x (см⁴) — R1 ; $f_{кр}$ (см²) — R4 ;
- z (см) — R2 ;

Результаты работы программы содержатся в регистрах:

- σ (см) — R5 ; $W_{кр}$ (см³) — R7 ;
- I (см⁴) — R6 ; $W_{пл}$ (см³) — R8 .

Для проверки программы можно использовать следующие тесты. Исходные данные: $f = 11,8$ см², $I_x = 325,3$ см⁴, $z = 11,6$ см, $h = 16$ см, $f_{кр} = 35$ см². Результаты работы программы: $\sigma = 3,59$ см, $I = 1368,0$ см⁴, $W_{кр} = 110,0$ см³, $W_{пл} = 300,6$ см³.

Таблица 1

Внешние характеристики профиля с учетом толщины проводимого плоского

| | | | | | | | | | |
|---|-------------------|----|-------------------|----|-------------------|----|-------------------|----|----------------|
| 1 | $\Pi - \alpha, 0$ | 9 | + | 17 | - | 25 | $\alpha - \Pi, 6$ | 33 | --- |
| 2 | $\Pi + \alpha, 4$ | 10 | $\alpha - \Pi, 5$ | 18 | F, α^2 | 26 | $\Pi + \alpha, 5$ | 34 | + |
| 3 | * | 11 | F, α^3 | 19 | $\Pi - \alpha, 0$ | 27 | + | 35 | $\alpha - 0,7$ |
| 4 | $\alpha - \Pi, 0$ | 12 | $\Pi - \alpha, 4$ | 20 | α | 28 | $\alpha - \Pi, 0$ | 36 | с/п |
| 5 | $\Pi + \alpha, 0$ | 13 | 0 | 21 | $\Pi - \alpha, 0$ | 29 | $\Pi - \alpha, 3$ | | |
| 6 | $\Pi - \alpha, 2$ | 14 | $\alpha - \Pi, 0$ | 22 | + | 30 | $\Pi + \alpha, 5$ | | |
| 7 | α | 15 | $\Pi - \alpha, 5$ | 23 | $\Pi - \alpha, 1$ | 31 | - | | |
| 8 | $\Pi - \alpha, 0$ | 16 | $\Pi - \alpha, 2$ | 24 | + | 32 | $\Pi - \alpha, 6$ | | |

Для профилей с высотой до 80 мм толщина проводимого плоского существенно влияет на характеристики профилей с плоским, поэтому в некоторых случаях имеет место отклонение ширины плоского в его толщину t (рис.2). Алгоритм вычисления характеристик составленного профиля представляет собой следующую ряд взаимосвязей:

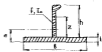


Рис.2. Параметры профиля с проводимым плоским с учетом толщины плоского

$$a = \frac{(k^2 b^2 z) - f(n+k)}{tb+1}; \quad I = I_0 + \frac{b^2 k^2}{12} + f(6n-x-t)^2 + tb\left(\frac{1}{2}n\right)^2 \quad (2)$$

$$W_{np} = \frac{I}{h+k-a}; \quad W_{op} = \frac{I}{a}$$

Программа, реализующая алгоритм (2), приведена в табл.2 и требует ввода исходных данных в следующие регистры:

$$\begin{aligned} f \text{ (см}^2\text{)} & \text{--- R3}; & h \text{ (см)} & \text{--- R3}; \\ I_0 \text{ (см}^4\text{)} & \text{--- R1}; & t \text{ (см)} & \text{--- R4}; \\ x \text{ (см)} & \text{--- R2}; & b \text{ (см)} & \text{--- R5}. \end{aligned}$$

Таблица 2

Вычисление характеристик профиля с учетом толщин параллельных плоскостей

| | | | | | | | | | |
|----|-------------------|----|-------------------|----|-------------------|----|-------------------|----|-------------------|
| 1 | $\Pi - \alpha, 4$ | 16 | + | 31 | $\alpha - \Pi, a$ | 46 | F, α^2 | 61 | $\alpha - \Pi, 9$ |
| 2 | $\Pi - \alpha, 5$ | 17 | $\Pi - \alpha, 8$ | 32 | $\Pi - \alpha, 4$ | 47 | $\Pi - \alpha, 4$ | 62 | $\Pi - \alpha, 3$ |
| 3 | α | 18 | α | 33 | 2 | 48 | α | 63 | $\Pi - \alpha, 4$ |
| 4 | $\Pi - \alpha, 8$ | 19 | $\Pi - \alpha, a$ | 34 | + | 49 | $\Pi - \alpha, 5$ | 64 | + |
| 5 | + | 20 | + | 35 | $\Pi - \alpha, 6$ | 50 | α | 65 | $\Pi - \alpha, 6$ |
| 6 | $\alpha - \Pi, b$ | 21 | $\Pi - \alpha, b$ | 36 | - | 51 | 1 | 66 | - |
| 7 | $\Pi - \alpha, 4$ | 22 | + | 37 | F, α^2 | 52 | 2 | 67 | $\Pi - \alpha, 7$ |
| 8 | F, α^2 | 23 | $\alpha - \Pi, 6$ | 38 | $\Pi - \alpha, 5$ | 53 | + | 68 | --- |
| 9 | $\Pi - \alpha, 5$ | 24 | $\Pi - \alpha, 2$ | 39 | α | 54 | $\Pi - \alpha, a$ | 69 | + |
| 10 | α | 25 | - | 40 | $\Pi - \alpha, 4$ | 55 | + | 70 | $\alpha - \Pi, 8$ |
| 11 | 2 | 26 | $\Pi - \alpha, 4$ | 41 | α | 56 | $\Pi - \alpha, 1$ | 71 | C/П |
| 12 | + | 27 | - | 42 | $\Pi - \alpha, a$ | 57 | + | | |
| 13 | $\alpha - \Pi, a$ | 28 | F, α^2 | 43 | + | 58 | $\alpha - \Pi, 7$ | | |
| 14 | $\Pi - \alpha, 4$ | 29 | $\Pi - \alpha, 6$ | 44 | $\alpha - \Pi, a$ | 59 | $\Pi - \alpha, 8$ | | |
| 15 | $\Pi - \alpha, 2$ | 30 | α | 45 | $\Pi - \alpha, 4$ | 60 | + | | |

Результаты вычислений программой в регистры:

$$\begin{aligned} a \text{ (см)} & \text{--- R6}; & W_{np} \text{ (см}^3\text{)} & \text{--- R9}; \\ I \text{ (см}^4\text{)} & \text{--- R7}; & W_{op} \text{ (см}^3\text{)} & \text{--- R8}. \end{aligned}$$

Тест для проверки программы: исходные данные - $f = 2,86 \text{ см}^2$, $I_0 = 6,85 \text{ см}^4$, $x = 3,13 \text{ см}$, $h = 3,0 \text{ см}$, $t = 1,0 \text{ см}$, $b = 25,0 \text{ см}$; результаты - $a = 0,87 \text{ см}$, $I = 42,75 \text{ см}^4$, $W_{np} = 8,34 \text{ см}^3$, $W_{op} = 48,99 \text{ см}^3$.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНОГО СВАРНОГО ТИПОВОГО ПРОФИЛЯ

Проектирование типового профиля с параллельными плоскостями (рис.3) может выполняться по двум критериям:

- по требуемой минимальной моменту сопротивления W_{np} ;
- по требуемой моменту инерции сварочного сечения I_{np} тора с параллельными плоскостями.

Известны $W_{np} = 14 \text{ тыс. см}^3$ и $I_{np} = 500 \text{ тыс. см}^4$ позволяют подобрать типовой профиль по отраслевому стандарту, который включает в себя профили высотой от 80 до 800 мм. Профиль подбирается по известным стандартам. Схема координатных моментов при выборе профиля по W_{np} показана на рис.4. На горизонтальной оси откладываем значения площади параллельного плоскости $f_{\text{пл}}$ на вертикальной - требуемое значение момента сопротивления W_{np} . Коэффициентный профиль соответствует крайней правой, "направленной" точке пересечения прямой W_{np} и $f_{\text{пл}}$ сверху. На рис.4 это линия В. Аналогично подбирается тор по I_{np} . Для известных $W_{np} > 14 \text{ тыс. см}^3$ или $I_{np} > 500 \text{ тыс. см}^4$ типовой профиль выполняется проектировщик. При проектировании, кроме условий $W_{op} \geq W_{np}$ или $I = I_{np}$, выполняются ряд следующих требований.

1. Площадь сварочного сечения стенок тора, $\omega = b\delta$ должна быть не менее минимально требуемой площади ω_0 :

$$\omega_0 = \omega \cdot \lambda$$

Площадь стенок W_0 можно вычислить как

$$W_0 = \frac{N}{0,85 \psi_1}$$

где N - расчетная нагрузка на срез, действующая на

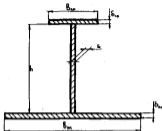


Рис.3. Параметры стального сварного профилированного канала с присоединенным фланцем

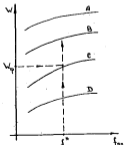


Рис.4. Схема построения для выбора стального сварного канала по нормативу

балки (кгс); $\sigma_{\text{доп}}$ — допустимые касательные напряжения в стенке балки (кгс/см²).

2. Толщина стенки или свободного полки должна быть не меньше минимально допустимой $\delta_{\text{д}}$:

$$\delta \geq \delta_{\text{д}}, \quad \delta_{\text{св}} \geq \delta_{\text{д}}.$$

3. Отношение высоты профиля к ширине свободного полки и толщине стенки и толщине свободного полки соответственно по условиям устойчивости должны быть не больше определенных значений:

$$\frac{h}{\delta} \leq m; \quad \frac{b_{\text{св}}}{\delta_{\text{св}}} \leq m_1.$$

Значения m и m_1 зависят от профиля, температуры стали σ_{T} [1]. Предложено значения m и m_1 от σ_{T} с учетом в зависимости стороны можно представить как линейные:

$$m = \alpha_1 \sigma_{\text{T}} + b_1; \quad m_1 = \alpha_2 \sigma_{\text{T}} + b_2.$$

где $\alpha_1 = -2,625 \cdot 10^{-2}$ и $b_1 = 204,75$ — для учета влияния в стенке профиля; $\alpha_2 = -1,5 \cdot 10^{-2}$ и $b_2 = 115,0$ — с учетом влияния в стенке; $\alpha_2 = -2,0 \cdot 10^{-2}$ и $b_2 = 22,0$. Коэффициенты α_1 , b_1 , α_2 и b_2 вычислены с учетом единицы измерения σ_{T} , кгс/см². Алгоритм выбора размеров стенки h, δ и свободного полки $b_{\text{св}}, \delta_{\text{св}}$ по значениям $W_{\text{тп}}, I_{\text{тп}}, \omega_{\text{тп}}$ и σ_{T} следующий.

1. По условиям устойчивости выбирается высота стенки h и приближенно $\delta = \delta_{\text{д}}$:

$$h = \delta_{\text{д}} m.$$

где $m = \alpha_1 \sigma_{\text{T}} + b_1$.

Тогда площадь стенки

$$\omega = h \delta.$$

2. Если $\omega > \omega_{\text{тп}}$, то переход к выполнению пункта 4.

3. Если $\omega < \omega_{\text{тп}}$, то $h = \omega_{\text{тп}} / \delta$ и $\omega = \omega_{\text{тп}}$.

4. Площадь свободного полки

$$S = \frac{12 W_{\text{тп}} I_{\text{тп}} + 8 W_{\text{тп}} \omega + 4 h \omega I_{\text{тп}} - h \omega^3}{4 (3 m + \omega / h)}.$$

5. Отношение ширины к толщине свободного полки и толщине свободного полки:

$$m_1 = \alpha_2 \sigma_{\text{T}} + b_2 = \delta_{\text{св}} = \sqrt{S / m_1}.$$

6. Если $B_{\text{св}} < B_0$, то $B_{\text{св}} = B_0$.

7. Ширина свободного потока $b_{\text{св}} = B_0/B_{\text{св}}$.

При выполнении этого алгоритма и Программы, его реализующей (табл.3), необходимо учитывать, что значения δ и $B_{\text{св}}$ получаются расчетами и требуют окончательный подбор с помощью большого количества проб. Итоговые данные программы размещены в регистрах:

$W_{\text{тр}}$ (см²) — R3; α_1 — R5;
 $f_{\text{св}}$ (см²) — R1; b_1 — R6;
 ω_2 (см²) — R2; α_2 — R7;
 B_0 (см) — R8; b_2 — R9;
 Θ_7 (кгс/см²) — R4.

Результаты вычислений программы в следующем регистре:

δ (см) — R9; $B_{\text{св}}$ (см) — Rb;
 h (см) — Rа; $B_{\text{св}}$ (см) — Rс.

Применяемость работы программы можно проверить, зная исходные данные: $W_{\text{тр}} = 20$ тыс. см², $f_{\text{св}} = 300$ см², $\omega_0 = 220$ см², $B_0 = 1,2$ см, $\Theta_7 = 3000$ кгс/см², $\alpha_1 = 1,5 \cdot 10^{-2}$, $b_1 = 125,0$, $\alpha_2 = -2,0 \cdot 10^{-3}$, $b_2 = 22,0$ и получив результаты: $\delta = 1,2$ см, $h = 123$ см, $B_{\text{св}} = 1,79$ см, $b_{\text{св}} = 27,3$ см.

Проекционные размеры h , δ , $b_{\text{св}}$ и $B_{\text{св}}$ по значениям $f_{\text{св}}$, ω_0 , ω_2 , B_0 и Θ_7 можно проводить по следующей алгоритму.

1. По условию устойчивости

$$h = B_0 m,$$

где $m = \alpha_1 \Theta_7 + b_1$; $\omega = h \delta$.

2. Если $\omega < \omega_0$, то перейти к выполнению пункта 4.

3. Если $\omega < \omega_2$, то $h = \omega_0 / \delta$ и $\omega = \omega_0$.

4. Показатель свободного потока B по $1_{\text{св}}$ вычисляется в следующем виде:

$$A = \frac{1}{3} \left(\frac{18 f_{\text{св}}}{B_0} - \omega \right); \quad \alpha = \omega - 4 f_{\text{св}} - A;$$

$$p = \frac{(\omega + f_{\text{св}})(\omega + 3 f_{\text{св}} - 2A) - f_{\text{св}}^2}{3\alpha};$$

$$q = \frac{(\omega + f_{\text{св}})(\omega f_{\text{св}} - A(\omega + f_{\text{св}}))}{\alpha};$$

Таблица 3

Проекционные размеры стального тора по W

| | | | | | | | | | |
|----|------------------------|----|------------------------|----|-----------------------------|----|-----------------------------|----|-----------------------------|
| 1 | $\Pi \rightarrow 3$ | 19 | $x \rightarrow \Pi, a$ | 37 | 1 | 55 | x | 73 | $\Pi \rightarrow x, \delta$ |
| 2 | $\Pi \rightarrow 4$ | 20 | $\Pi \rightarrow x, b$ | 38 | 2 | 56 | / | 74 | + |
| 3 | x | 21 | $\Pi \rightarrow x, c$ | 39 | x | 57 | $\Pi \rightarrow x, \delta$ | 75 | F, 1/x |
| 4 | $\Pi \rightarrow 6$ | 22 | x | 40 | $x \rightarrow \Pi, b$ | 58 | + | 76 | $\Pi \rightarrow x, c$ |
| 5 | + | 23 | $x \rightarrow \Pi, d$ | 41 | $\Pi \rightarrow x, d$ | 59 | $x \rightarrow \Pi, b$ | 77 | x |
| 6 | $\Pi \rightarrow 5$ | 24 | $\Pi \rightarrow x, 1$ | 42 | $\Pi \rightarrow x, d$ | 60 | $\Pi \rightarrow x, d$ | 78 | F, $\sqrt{}$ |
| 7 | $x \rightarrow \Pi, 9$ | 25 | 3 | 43 | x | 61 | F, x^2 | 79 | $x \rightarrow \Pi, b$ |
| 8 | x | 26 | x | 44 | 6 | 62 | $\Pi \rightarrow x, a$ | 80 | $\Pi \rightarrow x, 3$ |
| 9 | $x \rightarrow \Pi, a$ | 27 | $\Pi \rightarrow x, d$ | 45 | x | 63 | x | 81 | - |
| 10 | $\Pi \rightarrow 9$ | 28 | + | 46 | $\Pi \rightarrow x, \delta$ | 64 | / | 82 | F, $x < 0$ |
| 11 | x | 29 | 4 | 47 | + | 65 | $\Pi \rightarrow x, b$ | 83 | $\Theta 5$ |
| 12 | $\Pi \rightarrow 2$ | 30 | x | 48 | $x \rightarrow \Pi, b$ | 66 | + | 84 | $\Pi \rightarrow x, 3$ |
| 13 | - | 31 | $\Pi \rightarrow x, a$ | 49 | $\Pi \rightarrow x, 1$ | 67 | $\Pi \rightarrow x, b$ | 85 | $x \rightarrow \Pi, b$ |
| 14 | F, $x < 0$ | 32 | x | 50 | $\Pi \rightarrow x, d$ | 68 | + | 86 | $\Pi \rightarrow x, c$ |
| 15 | 19 | 33 | $x \rightarrow \Pi, c$ | 51 | x | 69 | $x \rightarrow \Pi, c$ | 87 | $\Pi \rightarrow x, \delta$ |
| 16 | $\Pi \rightarrow 2$ | 34 | $\Pi \rightarrow x, d$ | 52 | $\Pi \rightarrow x, a$ | 70 | $\Pi \rightarrow x, 1$ | 88 | + |
| 17 | $\Pi \rightarrow x, 3$ | 35 | $\Pi \rightarrow x, 1$ | 53 | x | 71 | $\Pi \rightarrow x, 4$ | 89 | $x \rightarrow \Pi, c$ |
| 18 | + | 36 | x | 54 | 4 | 72 | x | 90 | C/P |

$$z = \sqrt{p^2 - q} - p.$$

5. Стоящие ширины и толшины свободного поля и толшины свободного поля определяются так: $m_1 = a_1 \cdot \sigma_1 + b_1$; $\delta_{\text{св}} = \sqrt{a_1 m_1}$.

6. Если $\delta_{\text{св}} < \delta_{\text{д}}$, то $\delta_{\text{св}} = \delta_{\text{д}}$.

7. Ширина свободного поля $b_{\text{св}} = \delta / \delta_{\text{св}}$.

Программы, которые составляли по плану алгоритма, представлены в табл. 4. Возможности микрокалькулятора не позволяют реализовать последние два пункта алгоритма. Исходные данные программы размещены в регистрах:

$$I_{\text{тп}} \text{ (см}^4\text{)} \rightarrow \text{R0}; \quad a_1 \rightarrow \text{R5};$$

$$f_{\text{св}} \text{ (см}^2\text{)} \rightarrow \text{R1}; \quad b_1 \rightarrow \text{R6};$$

$$\omega_0 \text{ (см}^2\text{)} \rightarrow \text{R2}; \quad a_2 \rightarrow \text{R7};$$

$$\delta_{\text{д}} \text{ (см)} \rightarrow \text{R3}; \quad b_2 \rightarrow \text{R8};$$

$$\sigma_1 \text{ (кгс/см)} \rightarrow \text{R4};$$

Результаты работы программы:

$$\delta \text{ (см)} \rightarrow \text{R9}; \quad \delta_{\text{св}} \text{ (см)} \rightarrow \text{Rb};$$

$$h \text{ (см)} \rightarrow \text{Rc}; \quad B \text{ (см}^2\text{)} \rightarrow \text{Re}.$$

Тестирование программы выполняли при исходных данных:

$I_{\text{тп}} = 90 \text{ тс. см}^4$, $f_{\text{св}} = 80 \text{ см}^2$, $\omega_0 = 20 \text{ см}^2$, $\delta_{\text{д}} = 0,8 \text{ см}$, $\sigma_1 = 3200 \text{ кгс/см}^2$, $a_1 = -1,5 \cdot 10^{-2}$, $b_1 = 115,0$, $a_2 = -2,0 \cdot 10^{-3}$, $b_2 = 22,0$ и результатах: $\delta = 0,8 \text{ см}$, $h = 53,6 \text{ см}$, $\delta_{\text{св}} = 1,64 \text{ см}$, $B = 42,36 \text{ см}^2$ и, следовательно, $\delta_{\text{св}} = 25,7 \text{ см}$.

Программы из табл. 4 при выполнении выполняют некоторые регистры с исходными данными для значений прямоугольных результатов, поэтому многократное применение программы требует восстановления этих данных ($I_{\text{тп}}$ и a_1).

Программирование алгоритма теста по I

| | | | | | | | | | |
|----|------------------------|----|------------------------|----|------------------------|----|------------------------|-----|------------------------|
| 1 | $\Pi \rightarrow x, 4$ | 22 | 1 | 45 | $\Pi \rightarrow x, 5$ | 64 | $\Pi \rightarrow x, 1$ | 85 | $x \rightarrow \Pi, c$ |
| 2 | $\Pi \rightarrow x, 5$ | 23 | 2 | 44 | + | 65 | F, x^2 | 86 | $\Pi \rightarrow x, 8$ |
| 3 | x | 24 | $\Pi \rightarrow x, 0$ | 45 | $x \rightarrow \Pi, c$ | 66 | - | 87 | F, x^2 |
| 4 | $\Pi \rightarrow x, 6$ | 25 | x | 46 | F, x^2 | 67 | $\Pi \rightarrow x, d$ | 88 | $\Pi \rightarrow x, c$ |
| 5 | + | 26 | $\Pi \rightarrow x, 0$ | 47 | $x \rightarrow \Pi, 8$ | 68 | + | 89 | - |
| 6 | $\Pi \rightarrow x, 5$ | 27 | F, x^2 | 48 | 4 | 69 | 2 | 90 | F, \sqrt{x} |
| 7 | $x \rightarrow \Pi, 8$ | 28 | + | 49 | $\Pi \rightarrow x, 1$ | 70 | + | 91 | $\Pi \rightarrow x, 8$ |
| 8 | x | 29 | $\Pi \rightarrow x, 5$ | 50 | x | 71 | $x \rightarrow \Pi, 8$ | 92 | - |
| 9 | $x \rightarrow \Pi, 0$ | 30 | - | 51 | $\Pi \rightarrow x, 0$ | 72 | $\Pi \rightarrow x, 0$ | 93 | $x \rightarrow \Pi, c$ |
| 10 | $\Pi \rightarrow x, 9$ | 31 | 5 | 52 | x | 73 | $\Pi \rightarrow x, c$ | 94 | $\Pi \rightarrow x, 4$ |
| 11 | x | 32 | + | 53 | $\Pi \rightarrow x, 8$ | 74 | x | 95 | $\Pi \rightarrow x, 7$ |
| 12 | $x \rightarrow \Pi, 5$ | 33 | $x \rightarrow \Pi, 0$ | 54 | + | 75 | $x \rightarrow \Pi, c$ | 96 | x |
| 13 | $\Pi \rightarrow x, 2$ | 34 | 4 | 55 | $x \rightarrow \Pi, 8$ | 76 | $\Pi \rightarrow x, 5$ | 97 | $\Pi \rightarrow x, 8$ |
| 14 | - | 35 | $\Pi \rightarrow x, 1$ | 56 | 2 | 77 | $\Pi \rightarrow x, 1$ | 98 | + |
| 15 | $F, x \rightarrow 0$ | 36 | x | 57 | $\Pi \rightarrow x, 0$ | 78 | x | 99 | $\Pi \rightarrow x, c$ |
| 16 | 21 | 37 | $\Pi \rightarrow x, 0$ | 58 | x | 79 | $\Pi \rightarrow x, c$ | 100 | ÷ |
| 17 | $\Pi \rightarrow x, 2$ | 38 | - | 59 | $\Pi \rightarrow x, c$ | 80 | - | 101 | $F, 1/x$ |
| 18 | $x \rightarrow \Pi, 5$ | 39 | $\Pi \rightarrow x, 5$ | 60 | x | 81 | $\Pi \rightarrow x, c$ | 102 | F, \sqrt{x} |
| 19 | $\Pi \rightarrow x, 9$ | 40 | + | 61 | - | 82 | x | 103 | $x \rightarrow \Pi, 8$ |
| 20 | - | 41 | $x \rightarrow \Pi, d$ | 62 | $\Pi \rightarrow x, 8$ | 83 | $\Pi \rightarrow x, d$ | 104 | c/0 |
| 21 | $x \rightarrow \Pi, 0$ | 42 | $\Pi \rightarrow x, 1$ | 63 | + | 84 | - | | |

3. ПОИСК ПРОФИЛЕЙ С ПРОВОДИМЫМ ПОСЛОМ ИЗ СОРТИМЕНТА

Поиск профиля заданного типа (несимметричный колокообразный, симметричный колокообразный, тавр и т.д.) из сортимента с проводимым послом выполняется по следующим процедурам:

- по минимальному моменту сопротивления, W_{min} ,
- по собственному моменту инерции $I_{пр}$,
- по радиусу инерции $r_{пр}$.

Минимальный момент сопротивления W_{min} , собственный момент инерции I , радиус инерции r и площадь поперечного сечения F профиля с проводимым послом площади сечения $f_{пос}$ зависят от параметров профиля так:

$$W_{min} = \frac{i + \frac{x^2 f_{пос} f}{f + f_{пос}}}{h - \frac{f + f_{пос}}{i}}; \quad I = i_0 + x^2 \frac{f f_{пос}}{f + f_{пос}};$$

$$r = \sqrt{I/F}; \quad (3)$$

где i , f , x - собственный момент инерции, площадь поперечного сечения и площадь центра тяжести сортиментного профиля соответственно (см. рис. 1).

Таким образом, номер профиля зависит от параметров i , f и x . Все эти три параметра можно аппроксимировать полиномами от высоты профиля h :

$$\begin{aligned} i &= a_0 + a_1 h; \\ f &= a_2 + a_3 h + a_4 h^2; \\ x &= a_5 + a_6 h + a_7 h^2 + a_8 h^3. \end{aligned} \quad (4)$$

Профиль заданного типа можно реализовать на две группы: с нормальной стальной и с угловатой. Например, для несимметричного колокообразного первая группа - это профили без выноса с выносом a , вторая группа - профили с выносом b . Аппроксимация (4) дает точность, достаточную для инженерных расчетов для профилей одной группы. Коэффициенты $a_0 - a_8$ вычисленные методом наименьших квадратов, приведенны для различных типов профилей в табл. 5. Коэффициенты выноса при заданных значениях размеров: h - см, x - см, f - см², i -

см⁴. При подстановке (4) в (3), W_{min} , I , r и r зависят только от одного параметра h . Если в заданную высоту (3) подставить профили различных выносов, то получим уравнение с одним неизвестным относительно h . Тогда поиск профиля по сортименту по процедурам W_{min} , I или r сводится к решению уравнения (3) с учетом (4) относительно h . Следовательно, для поиска профиля достаточно иметь результаты решения уравнения (3) h^* и табличный ряд высот профилей в сортименте. Для групп профилей из табл. 5 высота профилей h , см (2), (3):

- 1) несимметричный колокообразный без выноса и с выносом a : 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26;
- 2) несимметричный колокообразный с выносом b : 14, 16, 18, 20, 22, 24;
- 3) симметричный колокообразный, группа I (нормальная толщина стенки): 9, 14, 18, 20, 22, 24, 27, 30;
- 4) симметричный колокообразный, группа II (утолщенная стенка): 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30;
- 5) симметричный колокообразный по АМТ: 5, 10, 16, 17, 19;
- 6) стальной тавр без выноса и с выносом a (при h от 8 до 25 см): 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25;
- 7) стальной тавр с выносом b (при h от 16 до 25 см): 18, 20, 22, 25;
- 8) стальной тавр с выносом a (при h от 25 до 45 см): 25, 28, 32, 36, 40, 45;
- 9) стальной тавр с выносом b (при h от 25 до 45 см): 25, 28, 32, 36, 40, 45;
- 10) стальной тавр с выносом a (при h от 50 до 80 см): 50, 55, 63, 71, 80;
- 11) стальной тавр с выносом b (при h от 50 до 80 см): 50, 55, 63, 71, 80.

Для вычисления W_{min} , I , F и r по зависимостям (3) и (4) составлены программы для микрокалькулятора (табл. 6), которые могут быть использованы для поиска профиля из сортимента. Исходными данными для программы служат высота профиля h , см, площадь поперечного сечения $f_{пос}$, см² и коэффициенты $a_0 + a_8$ из табл. 5. Исходные данные в программу вводятся: $1, W_{min}, F$ и r вычисляются на дисплей микрокалькулятора. После вычисления высоты из таблицы необходимо изменить высоту "с/т".

| Тип профиля | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 |
|---|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Полосчатый поперечный без выреза или с вырезом δ | $-3,859 \cdot 10^{-2}$ | $6,232 \cdot 10^{-1}$ | $-5,856 \cdot 10^{-2}$ | $2,639 \cdot 10^{-1}$ |
| Полосчатый поперечный с вырезом δ | $-1,099 \cdot 10^{-2}$ | $6,031 \cdot 10^{-1}$ | $-4,930 \cdot 10^{-2}$ | $2,296 \cdot 10^{-1}$ |
| Самостоятельный поперечный, группа 1 | $7,844 \cdot 10^{-2}$ | $6,651 \cdot 10^{-1}$ | $-3,809 \cdot 10^{-2}$ | $4,129 \cdot 10^{-1}$ |
| Самостоятельный поперечный, группа 2 | $5,467 \cdot 10^{-2}$ | $6,620 \cdot 10^{-1}$ | $-4,844 \cdot 10^{-2}$ | $-1,199$ |
| Самостоятельный поперечный из АЛТ | $6,297 \cdot 10^{-2}$ | $6,621 \cdot 10^{-1}$ | $-4,451 \cdot 10^{-2}$ | $2,617 \cdot 10^{-1}$ |
| Стальной тавр без выреза или с вырезом δ , $h = 8-25$ см | $9,723 \cdot 10^{-1}$ | $6,836 \cdot 10^{-1}$ | $-1,232$ | $3,931 \cdot 10^{-1}$ |
| Стальной тавр с вырезом δ , $h = 16-25$ см | $1,461$ | $6,857 \cdot 10^{-1}$ | $-2,828$ | $5,729 \cdot 10^{-1}$ |
| Стальной тавр с вырезом δ , $h = 23-45$ см | $9,723 \cdot 10^{-1}$ | $6,836 \cdot 10^{-1}$ | $-1,232$ | $3,931 \cdot 10^{-1}$ |
| Стальной тавр с вырезом δ , $h = 23-45$ см | $1,461$ | $6,857 \cdot 10^{-1}$ | $-2,828$ | $5,279 \cdot 10^{-1}$ |
| Стальной тавр с вырезом δ , $h = 50-80$ см | $9,723 \cdot 10^{-1}$ | $6,836 \cdot 10^{-1}$ | $-1,232$ | $3,931 \cdot 10^{-1}$ |
| Стальной тавр с вырезом δ , $h = 50-80$ см | $1,461$ | $6,857 \cdot 10^{-1}$ | $-2,828$ | $5,279 \cdot 10^{-1}$ |

| a_5 | a_6 | a_7 | a_8 | a_9 | a_{10} |
|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $5,464 \cdot 10^{-2}$ | $3,850 \cdot 10^{-2}$ | $-4,011 \cdot 10^{-1}$ | $4,232 \cdot 10^{-1}$ | $-2,699 \cdot 10^{-2}$ | $7,121 \cdot 10^{-3}$ |
| $6,185 \cdot 10^{-2}$ | $1,0 \cdot 10^{-4}$ | $19,539$ | $-3,028$ | $1,825 \cdot 10^{-1}$ | $3,699 \cdot 10^{-3}$ |
| $4,047 \cdot 10^{-2}$ | $1,10 \cdot 10^{-2}$ | $5,579$ | $-0,117 \cdot 10^{-1}$ | $3,325 \cdot 10^{-2}$ | $2,420 \cdot 10^{-3}$ |
| $1,286 \cdot 10^{-1}$ | $-6,520 \cdot 10^{-2}$ | $1,993 \cdot 10^{-2}$ | $9,494$ | $-4,409 \cdot 10^{-1}$ | $3,006 \cdot 10^{-2}$ |
| $5,843 \cdot 10^{-2}$ | $-1,336 \cdot 10^{-1}$ | $-5,701 \cdot 10^{-1}$ | $1,405 \cdot 10^{-1}$ | $2,020 \cdot 10^{-3}$ | $6,419 \cdot 10^{-3}$ |
| $3,126 \cdot 10^{-2}$ | $578,034$ | $-186,118$ | $22,328$ | $-1,122$ | $2,400 \cdot 10^{-2}$ |
| $3,989 \cdot 10^{-2}$ | $6775,27$ | $-806,01$ | $21,793$ | $3,171 \cdot 10^{-4}$ | $3,880 \cdot 10^{-4}$ |
| $3,126 \cdot 10^{-2}$ | $-9724,24$ | $576,25$ | $-7,191$ | $7,713 \cdot 10^{-3}$ | $3,715 \cdot 10^{-3}$ |
| $3,209 \cdot 10^{-2}$ | $-73483,4$ | $5696,02$ | $-124,06$ | $-1,761 \cdot 10^{-4}$ | $2,278 \cdot 10^{-2}$ |
| $3,126 \cdot 10^{-2}$ | $224297,7$ | $-7457,9$ | $-2,220 \cdot 10^{-1}$ | $2,047$ | $-6,947 \cdot 10^{-2}$ |
| $3,989 \cdot 10^{-2}$ | 2474205 | $-82242,9$ | $22,04$ | $20,855$ | $-1,589 \cdot 10^{-1}$ |

Выполнены характерные профили с трассированным кодом с помощью компьютерной модели сортировки.

| | | | | | | | | | |
|----|------------|----|------------|----|------------|----|------------|----|------------|
| 1 | $\Pi-x, 0$ | 19 | $x-0, d$ | 37 | $\Pi-x, b$ | 55 | + | 73 | $x-x$ |
| 2 | $\Pi-x, 2$ | 20 | $\Pi-x, 0$ | 38 | x | 56 | $\Pi-x, d$ | 74 | $\Pi-x, 0$ |
| 3 | x | 21 | F, x^2 | 39 | $\Pi-x, c$ | 57 | + | 75 | + |
| 4 | $\Pi-x, 1$ | 22 | F, x^2 | 40 | + | 58 | $\Pi-x, b$ | 76 | $\Pi-x, c$ |
| 5 | + | 23 | $\Pi-x, a$ | 41 | $x-0, c$ | 59 | + | 77 | — |
| 6 | $x-0, c$ | 24 | x | 42 | $\Pi-x, 0$ | 60 | $F, 1/x$ | 78 | + |
| 7 | $\Pi-x, 0$ | 25 | $x-0, c$ | 43 | $\Pi-x, 1$ | 61 | $\Pi-x, c$ | 79 | c/m |
| 8 | F, x^2 | 26 | $\Pi-x, 0$ | 44 | x | 62 | + | 80 | $\Pi-x, d$ |
| 9 | $\Pi-x, 3$ | 27 | F, x^2 | 45 | $\Pi-x, c$ | 63 | c/m | 81 | $\Pi-x, b$ |
| 10 | x | 28 | $\Pi-x, 0$ | 46 | + | 64 | $x-0, c$ | 82 | + |
| 11 | $x-0, d$ | 29 | x | 47 | $\Pi-x, b$ | 65 | $\Pi-x, b$ | 83 | c/m |
| 12 | $\Pi-x, 0$ | 30 | $\Pi-x, b$ | 48 | + | 66 | $\Pi-x, d$ | 84 | $\Pi-x, c$ |
| 13 | $\Pi-x, 4$ | 31 | x | 49 | $x-0, c$ | 67 | + | 85 | + |
| 14 | x | 32 | $\Pi-x, c$ | 50 | $\Pi-x, b$ | 68 | $\Pi-x, c$ | 86 | $F, 1/x$ |
| 15 | $\Pi-x, d$ | 33 | + | 51 | $\Pi-x, d$ | 69 | + | 87 | c/m |
| 16 | + | 34 | $x-0, c$ | 52 | + | 70 | $\Pi-x, d$ | | |
| 17 | $\Pi-x, 3$ | 35 | $\Pi-x, 0$ | 53 | $\Pi-x, c$ | 71 | o | | |
| 18 | + | 36 | F, x^2 | 54 | F, x^2 | 72 | $F, 1/x$ | | |

Кодовые данные элементов в осях координат регистрируются:

| | |
|-----------------|--|
| h (см) — R0 ; | a_1 — R5 ; |
| a_1 — R1 ; | a_2 — R7 ; |
| a_2 — R3 ; | a_3 — R8 ; |
| a_3 — R4 ; | a_4 — R9 ; |
| a_4 — R6 ; | a_{10} — R11 ; |
| a_5 — R5 ; | f_{max} (см ²) — Rb . |

Компьютерные программы для выбора профиля из сортировки регистрируются на примере.

Габарит сортировки несимметричной полусферой с нормалью отклоняется на $W_{\text{пр}} = 230 \text{ см}^2$ и $f_{\text{об}} = 75 \text{ см}^2$. Для расчета скорости из уравнений (3) при $a_1 = 0, a_2$ из первой строки табл. 3 выполняются итерации диаметров. Для этого берется значение $W_{\text{ит0}}$ при $h = 5$ и 24 см : $W_{\text{ит0}} = 5,79 \text{ см}^2$ при $h = 5 \text{ см}$ и $W_{\text{ит0}} = 413,03 \text{ см}^2$ при $h = 24 \text{ см}$. Итерационная (элементы строки кода) программа имеет следующий вид:

при $h = (5 + 24)/2 = 14,5 \text{ см}$, $W_{\text{ит1}} = 104,29$;

при $h = (14,5 + 24)/2 = 19,25 \text{ см}$, $W_{\text{ит2}} = 225,5 \text{ см}^2$,

при $h = (19,25 + 24)/2 = 21,63 \text{ см}$, $W_{\text{ит3}} = 310,21 \text{ см}^2$,

при $h = (19,25 + 21,63)/2 = 20,44 \text{ см}$, $W_{\text{ит4}} = 265,77 \text{ см}^2$;

при $h = (19,25 + 20,44)/2 = 19,85 \text{ см}$, $W_{\text{ит5}} = 245,1 \text{ см}^2$.

Выполнен анализ на предмет, так как определены диаметры высот профилей $19 \text{ см} < h < 20 \text{ см}$, при котором $225,5 \text{ см} < h < 245,1 \text{ см}$. Следовательно, номер диаметра профиля 20 см. Преимущество такого способа выбора профиля в том, что не требуется иметь "под рукой" сортировочные таблицы с характеристическими профилями.

4. ВЫЧИСЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТНОГО СОСТАВНОГО ПРОФИЛЯ

Повторные расчеты прочности элементов конструкций требуют вычисления характеристических значений элементов составных профилей. В общем случае профиль состоит из n элементов. Каждый элемент имеет следующие параметры:

f_1 — площадь поперечного сечения;

x_1 — максимальная высота тяжести относительно оси симметрии;

i_{0i} - собственный момент инерции относительно оси, параллельной оси симметрии.

Тогда характеристики составного профиля: e - расстояние нейтральной оси, I_0 - собственный момент инерции и F - площадь поперечного сечения - можно вычислить по приближенной схеме алгоритму.

1. Вычисляются:

$$F = \sum_{i=1}^n f_i - \text{площадь поперечного сечения};$$

$$S = \sum_{i=1}^n x_i f_i - \text{статистический момент инерции относительно оси симметрии};$$

$$I_x = \sum_{i=1}^n (I_{0i} + f_i x_i^2) - \text{момент инерции относительно оси симметрии};$$

$e = S/F$ - расстояние нейтральной оси;

$$I_0 = I_x - F e^2 - \text{собственный момент инерции.}$$

По алгоритму составлена программа, приведенная в табл.7. Количество элементов n не ограничивается. Программа выдает f_i , x_i и i_{0i} в виде матрицы в режиме диалога, который осуществляется следующим образом:

- 1) на дисплее показывается цифра 1, и пользователь должен ввести f_i и нажать кнопку "С/П";
- 2) на дисплее показывается цифра 2, и пользователь должен ввести x_i и нажать кнопку "С/П";
- 3) на дисплее показывается цифра 3, и пользователь должен ввести i_{0i} и нажать кнопку "С/П";
- 4) после ввода каждой программы возвращается в пункт 1). Если введенные $f_i = x_i + i_{0i} = 0$, то программа вычисляет F , e и I по заданным результатам и следующие расчеты:

$$F \rightarrow R0; e \rightarrow R1; I_0 \rightarrow R2.$$

В качестве тестового примера можно воспользоваться результатами вычисления характеристик балки - вертикального крана (рис.5), из которой показаны размеры элементов составного профиля с характеристиками из табл.8.

Вычисленные характеристики составного профиля

| | | | | | | | | | |
|----|---------|----|----------|----|----------|----|---------|----|----------|
| 1 | 0 | 13 | $x=0,5$ | 25 | + | 37 | $n=0,5$ | 49 | $n=0,0$ |
| 2 | $x=0,0$ | 14 | F, x^2 | 26 | $x=0,0$ | 38 | + | 50 | с/п |
| 3 | $x=0,6$ | 15 | $n=0,4$ | 27 | $n=0,5$ | 39 | $n=0,7$ | 51 | $n=0,1$ |
| 4 | $x=0,3$ | 16 | F, x^2 | 28 | $n=0,4$ | 40 | + | 52 | F, x^2 |
| 5 | 1 | 17 | + | 29 | x | 41 | $x=0,3$ | 53 | $n=0,0$ |
| 6 | с/п | 18 | $n=0,5$ | 30 | $n=0,6$ | 42 | с/п | 54 | x |
| 7 | $x=0,5$ | 19 | F, x^2 | 31 | + | 43 | 04 | 55 | $r = r$ |
| 8 | 2 | 20 | + | 32 | $x=0,6$ | 44 | $n=0,6$ | 56 | $n=0,7$ |
| 9 | с/п | 21 | $F, x+0$ | 33 | $n=0,5$ | 45 | $n=0,0$ | 57 | + |
| 10 | $x=0,4$ | 22 | 45 | 34 | $n=0,4$ | 46 | + | 58 | $x=0,2$ |
| 11 | 3 | 23 | $n=0,0$ | 35 | F, x^2 | 47 | $x=0,1$ | 59 | с/п |
| 12 | с/п | 24 | $n=0,5$ | 36 | x | 48 | с/п | | |

Таблица 8

Характеристики элементов составного профиля по рис.5

| Номер элемента | $f_i, \text{см}^2$ | $x, \text{см}$ | $i_{0i}, \text{см}^4$ |
|----------------|--------------------|----------------|-----------------------|
| 1 | 60 | 280 | 0 |
| 2 | 640 | 160 | 540333 |
| 3 | 14,05 | 240 | 0 |
| 4 | 14,05 | 160 | 0 |
| 5 | 14,05 | 80 | 0 |
| 6 | 45,2 | 23,2 | 5280 |
| 7 | 620 | 0 | 0 |
| 8 | 45,2 | 23,2 | 5280 |
| 9 | 0 | 0 | 0 |



Рис. 5. Поперечное сечение внешнего составного профиля с номерами элементов профиля

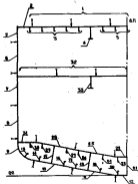


Рис. 6. К характеристике составленного профиля

Результаты расчетов: $\sigma = 89,19$ см; $F = 1402,35$ см²; $I_0 = 17679680$ см⁴.

Другая область применения программы - автоматизация процесса изготовления характеристики поперечного сечения составного бруса. Пример входных данных для вычисления σ , F и I для составленного бруса (рис. 6) приведен в табл. 9. Результаты расчетов: $\sigma = 546,1$ см, $F = 6469,4$ см², $I = 1,496 \cdot 10^9$ см⁴.

Входные данные по рис. 6

Таблица 9

| Номер элемента | Наименование поперечной части | F_i , см ² | x_i , см | I_{0i} , см ⁴ |
|----------------|--------------------------------|-------------------------|------------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Листа верхней верхней полки | 1032 | 1200,0 | 0 |
| 2 | Внутренний ступень | 132 | 1200,0 | 0 |
| 3 | Продольные балки верхней полки | 362,56 | 1186,5 | 126990,0 |
| 4 | Крайние верхней полки | 323,2 | 1145,4 | 183000,0 |
| 5 | Шпунты | 306,0 | 1140,0 | 292930,0 |
| 6 | Верхний лист обшивки бруса | 388,0 | 960,0 | 1382400,0 |
| 7 | Средний лист обшивки бруса | 312,0 | 720,0 | 1497600,0 |
| 8 | Нижний лист обшивки бруса | 336,0 | 480,0 | 1612800,0 |
| 9 | Обшивки бруса | 384,0 | 190,0 | 546138,3 |
| 10 | Лист обшивки дна | 512,0 | 100,0 | 262671,0 |
| 11 | Лист обшивки дна | 512,0 | 50,0 | 262671,0 |
| 12 | Горизонтальный лист | 180,0 | 0 | 0 |
| 13 | Продольные донные балки | 36,75 | 165,0 | 3217,0 |
| 14 | Продольные донные балки | 36,75 | 140,0 | 3217,0 |
| 15 | Крайний ступень | 240,0 | 170,0 | 419658,0 |
| 16 | Продольные донные балки | 36,75 | 100 | 3217,0 |
| 17 | Продольные донные балки | 36,75 | 80,0 | 3217,0 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|-------------------------------|--------|-------|----------|
| 18 | Продольная длинная обложка | 38,75 | 40,0 | 2217,0 |
| 19 | Длинной стрижер | 240,0 | 120,0 | 419826,0 |
| 20 | Продольная длинная обложка | 38,75 | 14,7 | 2217,0 |
| 21 | Вертикальный лист | 300,0 | 90,0 | 37640,3 |
| 22 | Средний лист второго ДД | 180,0 | 120,0 | 0 |
| 23 | Продольная обложка второго ДД | 32,82 | 126,8 | 1777,3 |
| 24 | Продольная обложка второго ДД | 32,82 | 120,0 | 1777,3 |
| 25 | Лист второго ДД | 512,0 | 120,0 | 292678,0 |
| 26 | Продольная обложка второго ДД | 32,82 | 120,0 | 1777,3 |
| 27 | Продольная обложка второго ДД | 32,82 | 220,0 | 1777,3 |
| 28 | Лист второго ДД | 512,0 | 240,0 | 292678,0 |
| 29 | Продольная обложка второго ДД | 32,82 | 220,0 | 1777,3 |
| 30 | Продольная обложка второго ДД | 32,82 | 220,0 | 1777,3 |
| 31 | Крайний вертикальный лист | 270,0 | 270,0 | 0 |
| 32 | Лист второго ДД | 1080,0 | 800,0 | 0 |
| 33 | Корыто второй палубы | 223,2 | 745,4 | 163000,0 |

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ТОЛЩИНЫ ПЛАСТИН

Расчетная толщина обложки для пластины с учетом конструкции выбирается исходя из условий прочности и устойчивости. Условия прочности предполагают, что максимальные напряжения от изгиба пластины не должны превышать допустимых:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{п}} = \alpha \sigma_{\text{T}}$$

Условия устойчивости:

$$\sigma_{\text{п}} \leq \alpha \sigma_{\text{T}}$$

где $\sigma_{\text{п}}$ - изгибное напряжение в пластине, $\alpha = \frac{b}{a} \frac{\sigma_{\text{п}}}{\sigma_{\text{T}}}$, $\sigma_{\text{п}}$ - максимальное напряжение в конструкции, $\alpha_{\text{п}} = \sigma_{\text{п}} / \sigma_{\text{T}}$, $\alpha_{\text{п}} = 1,0$ и $1,15$ - коэффициент запаса [2], $\sigma_{\text{п}} = \sigma_{\text{п}} / \sigma_{\text{T}}$, $\alpha_{\text{п}} = 1,0$ и $1,15$ - коэффициент запаса [2], $\sigma_{\text{п}} = \sigma_{\text{п}} / \sigma_{\text{T}}$ - критическое напряжение в конструкции [2, § 25].

Толщина листа по условиям устойчивости:

$$t_1 = \frac{b}{\alpha} \sqrt{\frac{3\alpha \sigma_{\text{T}} (1 - \mu^2)}{E}}$$

Толщина листа по условиям прочности:

$$t_2 = b \sqrt{\frac{\sigma_{\text{T}}}{\alpha \sigma_{\text{п}}}}$$

где b - короткая сторона пластины (рис.7); коэффициент α зависит от соотношения a/b (a - длинная сторона пластины), μ - коэффициент Пуассона, модуль Юнга и предел текучести материала соответственно. Расчетная толщина пластины

$$t = \max(t_1, t_2).$$

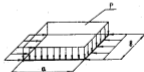


Рис.7. Расчетная схема листа обложки для пластины

Программа, реализующая алгоритм, приведены в табл.10. Программа аппроксимирует зависимость α от a/b с помощью кусочно-линейной функции:

$$\text{при } \frac{a}{b} \in [1,0; 1,5) \quad \alpha = 0,0455 \frac{a}{b} + 0,0072;$$

при $\frac{b}{a} = [1,6; 2,0] \quad + = 0,014 \frac{b}{a} \quad + 0,0569$;

при $\frac{b}{a} = 2,0 \quad + = 0,0630$.

Таблица 10

Образование расчетной толщины пластин

| | | | | | | | | | |
|----|-----------------------------|----|-----------------------------|----|----------------------------------|----|----------------------------------|----|----------------------------------|
| 1 | 1 | 19 | $\Pi \rightarrow \alpha, 1$ | 57 | 7 | 55 | 4 | 73 | 3 |
| 2 | $\Pi \rightarrow \alpha, 7$ | 20 | $\Pi \rightarrow \alpha, 2$ | 58 | 2 | 56 | $\Pi \rightarrow \alpha, 9$ | 74 | $\alpha \rightarrow \Pi, \alpha$ |
| 3 | F, α^2 | 21 | + | 59 | 8П | 57 | + | 75 | $\Pi \rightarrow \alpha, 0$ |
| 4 | - | 22 | $\alpha \rightarrow \Pi, 9$ | 40 | 4 | 58 | 0 | 76 | $\Pi \rightarrow \alpha, \alpha$ |
| 5 | $\Pi \rightarrow \alpha, 5$ | 23 | 1 | 41 | - | 59 | - | 77 | + |
| 6 | + | 24 | - | 42 | + | 60 | 0 | 78 | 6 |
| 7 | $\Pi \rightarrow \alpha, 5$ | 25 | 6 | 43 | $\alpha \rightarrow \Pi, \alpha$ | 61 | 3 | 79 | + |
| 8 | + | 26 | - | 44 | БП | 62 | 6 | 80 | $\Pi \rightarrow \alpha, 4$ |
| 9 | 3 | 27 | $F, \alpha \rightarrow 0$ | 45 | 7.4 | 63 | 9 | 81 | + |
| 10 | + | 28 | 45 | 46 | $\Pi \rightarrow \alpha, 0$ | 64 | + | 82 | $\Pi \rightarrow \alpha, 3$ |
| 11 | $\Pi \rightarrow \alpha, 6$ | 29 | 0 | 47 | 2 | 65 | $\alpha \rightarrow \Pi, \alpha$ | 83 | + |
| 12 | + | 30 | - | 48 | - | 66 | БП | 84 | $F, \sqrt{}$ |
| 13 | $F, \sqrt{}$ | 31 | 0 | 49 | $F, \alpha \rightarrow 0$ | 67 | 7.4 | 85 | $\Pi \rightarrow \alpha, 2$ |
| 14 | F, α^2 | 32 | 4 | 50 | 67 | 68 | 0 | 86 | + |
| 15 | + | 33 | 4 | 51 | 0 | 69 | - | 87 | $\alpha \rightarrow \Pi, 8$ |
| 16 | $\Pi \rightarrow \alpha, 0$ | 34 | 5 | 52 | - | 70 | 0 | 88 | $\Pi \rightarrow \alpha, 8$ |
| 17 | + | 35 | $\Pi \rightarrow \alpha, 9$ | 53 | 0 | 71 | 8 | 89 | K, \max |
| 18 | $\alpha \rightarrow \Pi, 8$ | 36 | + | 54 | 1 | 72 | 3 | 90 | С/П |

Вспомогательные данные результатов и расчетов:

p (кгс/см²) — 80; α — 84;

a (см) — 81; α — 85;

b (см) — 82; E (кгс/см²) — 86;

G_T (кгс/см²); μ — 87.

Результат t , см показывается на рисунке микроальбоматора.

Тестовый пример: $p = 1,0$ кгс/см²; $a = 100$ см; $b = 60$ см; $\alpha = 0,3$; $\alpha = 1,0$; $G_T = 3000$ кгс/см²; $\mu = 0,3$; $E = 2,1 \cdot 10^6$ кгс/см²; $t = 1,41$ см.

ЛИТЕРАТУРА

1. КРОУНДЕН В.А., РОУНДЕН Л.А., СЕНСЕР К.Л. Прочность кораблей. Л.: Судостроение, 1976.
2. САРАФЕН В.А., ПИКОША В.В. Проектирование конструкций судового корпуса в области прочности судов. Л.: Судостроение, 1969.
3. ТИШИН В.Л. Проектирование конструктивного анализа-аналога корпуса транспортных судов: Учеб. пособие. Л.: Изд. ЛГУ, 1966.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Общие сведения | 3 |
| 1. Выводы и характеристики профилей с произвольными полами без учета толщины производимого листа | 4 |
| 2. Проектирование стального сварного тавричного профиля | 7 |
| 3. Выбор профилей с произвольными полами из сортамента | 14 |
| 4. Выводы и характеристики описанного стального профиля | 19 |
| 5. Определение расчетной толщины пластин | 24 |
| Литература | 27 |