

ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ

УДК 629.12.011.1.001

П.А. Бимбереков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПО ДОПУСКАЕМОМУ ПРОГИБУ БАЛКИ ПРОФИЛЕЙ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Представлен вариант схемы проектирования профиля по значению предельно допустимого прогиба балки, который представляет модификацию проектирования оптимального по моменту сопротивления сечения профиля с учетом сдвиговых деформаций. Данный вариант проектирования актуален для телескопических люковых закрытий, не превышение допустимого прогиба от действующей нагрузки у которых обуславливает их работоспособность.

Ключевые слова: проектирование, судовой профиль, допускаемый прогиб, оптимизация

В [1] показано, что параметры профиля, удовлетворяющие требованиям технологичности и устойчивости, могут быть получены только при оптимизации сечения профиля по моменту сопротивления. Поэтому в [1], зависимости, полученные при оптимизации сечения профиля по моменту сопротивления, были переведены к зависимостям по другим нормируемым параметрам, в частности, по моменту инерции сечения профиля. В случаях, когда лимитирован прогиб для данной балки $[\varpi]$, необходимо производить подбор оптимального профиля, одновременно учитывающий изгибную и сдвиговую составляющие прогиба.

Для оптимального профиля, проектируемого по моменту сопротивления его сечения с присоединенным пояском обшивки W , приведенного к соответственному моменту инерции I , имеем следующую зависимость для высоты стенки h [1, С.142], по выражению

$$h = \sqrt[4]{6 \frac{k_{II}}{1+k_{II}} Im}, \quad (1)$$

где $k_{II} = f_1/f$ (f_1 и f - площади сечений полки и стенки профиля соответственно); $m = h/t$ (h и t - высота и толщина стенки профиля соответственно).

Для оптимального профиля, спроектированного по W , соотношение составляющих прогиба от изгиба ϖ_u и сдвига $\varpi_{сд}$ выражается зависимостью [1, с. 216]

$$\frac{\varpi_{сд}}{\varpi_u} = \frac{2C_u}{C_{сд}} (1 + \mu) \frac{h^2}{l^2} \frac{k_{II} + 1}{6k_{II}}, \quad (2)$$

где μ - коэффициент Пуассона; l - длина пролета балки.

Для составляющей прогиба от изгиба ϖ_u имеем известное выражение

$$\varpi_u = Ql^3 / (C_u EI), \quad (3)$$

где Q - значение действующей нагрузки; E - модуль Юнга.

Общий прогиб от изгиба и сдвига ϖ выразится очевидной зависимостью

$$\varpi = \varpi_u + \varpi_{c\delta} = \varpi_u \left(1 + \frac{\varpi_{c\delta}}{\varpi_u} \right) = \varpi_u \left(1 + \frac{2C_u}{C_{c\delta}} (1 + \mu) \frac{h^2 k_{II} + 1}{l^2 6k_{II}} \right). \quad (4)$$

Приняв допускаемое значение общего прогиба $[\varpi]$ из (4), выразим ϖ_u , получая при этом его допускаемое значение $[\varpi_u]$

$$[\varpi_u] = [\varpi] \left(1 + \frac{2C_u}{C_{c\delta}} (1 + \mu) \frac{h^2 k_{II} + 1}{l^2 6k_{II}} \right)^{-1}. \quad (5)$$

Выражая из (3) I и беря в расчет допускаемое значение $[\varpi_u]$ по (5), получим допускаемое значение для момента инерции профиля $[I]$, оптимально проектируемого по моменту сопротивления W с учетом сдвига

$$[I] = \frac{Ql^3}{C_u E [\varpi_u]} = \frac{Ql^3}{C_u E [\varpi]} \left(1 + \frac{2C_u}{C_{c\delta}} (1 + \mu) \frac{h^2 k_{II} + 1}{l^2 6k_{II}} \right). \quad (6)$$

Подставим (6) в (1) и преобразуем относительно h

$$h^4 - h^2 \frac{2(1 + \mu)m}{C_{c\delta}} \frac{Ql}{E[\varpi]} - 6 \frac{k_{II}}{1 + k_{II}} \frac{Ql^3}{C_u E[\varpi]} m = 0. \quad (7)$$

Разрешив (7) относительно h , получим

$$h = \sqrt{\frac{(1 + \mu)m}{C_{c\delta}} \frac{Ql}{E[\varpi]} + \sqrt{\frac{(1 + \mu)^2 m^2}{C_{c\delta}^2} \left(\frac{Ql}{E[\varpi]} \right)^2 + 6 \frac{k_{II}}{1 + k_{II}} \frac{Ql^3}{C_u E[\varpi]} m}}. \quad (8)$$

Выражение (8) позволяет определить оптимальную высоту профиля с учетом деформаций изгиба и сдвига, при заданной нагрузке Q , данном виде защемления балки, известном материале балки (известных коэффициенты μ и модуле Юнга E), заданном допускаемом прогибе балки $[\varpi]$, а также выбранных коэффициенты m и получаемом значении коэффициента k_{II} . Однако для последнего еще надо получить расчетное выражение.

Для толщины стенки профиля из (8) получим равенство

$$t = \sqrt{\frac{(1 + \mu)}{C_{c\delta} m} \frac{Ql}{E[\varpi]} + \sqrt{\frac{(1 + \mu)^2}{C_{c\delta}^2 m^2} \left(\frac{Ql}{E[\varpi]} \right)^2 + 6 \frac{k_{II}}{1 + k_{II}} \frac{Ql^3}{C_u E[\varpi] m^3}}}. \quad (9)$$

Для площади сечения профиля, базируясь на (9), имеем выражение

$$F_T = (1 + k_{II}) t^2 m = \frac{(1 + k_{II})(1 + \mu)}{C_{c\delta}} \frac{Ql}{E[\varpi]} + \sqrt{\frac{(1 + \mu)^2 (1 + k_{II})^2}{C_{c\delta}^2} \left(\frac{Ql}{E[\varpi]} \right)^2 + \frac{6k_{II}(1 + k_{II})Ql^3}{C_u E[\varpi] m}}. \quad (10)$$

Выражение (8) можно преобразовать к следующему виду

$$h = \frac{(1 + \mu)}{C_{c\delta} t} \frac{Ql}{E[\varpi]} + \frac{1}{t} \sqrt{\frac{(1 + \mu)^2}{C_{c\delta}^2} \left(\frac{Ql}{E[\varpi]} \right)^2 + 6 \frac{k_{II}}{1 + k_{II}} \frac{Ql^3}{C_u E[\varpi] m}}. \quad (11)$$

Введем обозначение

$$I_p = Ql^3 / (C_u E[\varpi]). \quad (12)$$

Тогда (11) с учетом (12) примет вид

$$h = \frac{(1+\mu) I_p C_u}{C_{co} t} \frac{1}{l^2} + \frac{1}{t} \sqrt{\frac{(1+\mu)^2}{C_{co}^2} \left(\frac{I_p}{C_u l^2} \right)^2 + 6 \frac{k_{II}}{1+k_{II}} \frac{I_p}{m}}. \quad (13)$$

Для оптимального профиля справедливы соотношения [1, С.119]

$$f = \frac{2(1-3k_{II})}{k_{II}-2} f_2, \quad k_{II} = \frac{2(f_2 - f)}{6f_2 + f}, \quad (14)$$

где f_2 - площадь сечения присоединенного пояска обшивки.

Основываясь на первом выражении (14), а также (12), имеем

$$\frac{2(1-3k_{II})}{k_{II}-2} f_2 = f = ht = \frac{(1+\mu) I_p C_u}{C_{co}} \frac{1}{l^2} + \sqrt{\frac{(1+\mu)^2}{C_{co}^2} \left(\frac{I_p}{C_u l^2} \right)^2 + 6 \frac{k_{II}}{1+k_{II}} \frac{I_p}{m}}. \quad (15)$$

Для предварительного определения величины коэффициента k_{II} в правой части равенства (15) можно воспользоваться формулой (1), вводя в него вместо I величину I_p по (12). Тогда

$$k_{IIp} = 0,68 \left(I_p / (m f_2^2) \right)^{0,2}. \quad (16)$$

Аппроксимируем дробь в (15) перед f_2 следующим выражением

$$2(1-3k_{II}) / (k_{II}-2) = 6k_{II}^{3,5}. \quad (17)$$

Из выражения (15) с учетом (17) получим равенство

$$k_{II} = \left\{ \frac{1}{6f_2} \left[\frac{(1+\mu) I_p C_u}{C_{co}} \frac{1}{l^2} + \sqrt{\frac{(1+\mu)^2}{C_{co}^2} \left(\frac{I_p}{C_u l^2} \right)^2 + 6 \frac{k_{IIp}}{1+k_{IIp}} \frac{I_p}{m}} \right] \right\}^{1/3,5}. \quad (18)$$

Выражения (1)...(18) позволяют полностью решить поставленную задачу.

Приведём пример предварительного расчета по полученной схеме в табл.1, произведенный без приведения расчетных значений к сортаменту листового проката и реальным значениям ширины (высоты) элементов. Принято, что рассчитываемая балка имеет равномерно распределённую нагрузку и свободно опёрта по концам. Ряд величин в табл. 1 представлен в сантиметрах, так как и в практике проектирования, и в нормативных документах, приняты именно эти единицы, а кроме того, данная таблица предваряет расчет приведенных далее вариантов по специальной программе, где также использованы сантиметры).

Таблица 1

Предварительный расчет параметров сечения профиля

№	Наименование, обозначения, расчетные формулы	Значение, расчет
1	2	3
1	Нагрузка, Q , кН	300
2	Длина балки, L , м	2,4
3	Коэффициент \square	0,3
4	Предельный прогиб, $[\omega]$, м	0,0096
5	Коэффициент C_{II}	76,8
6	Коэффициент $C_{сд}$	8
7	Модуль упругости, $E \times 10^5$, МПа	2,1
8	Напряжение текучести материала, $\square \square_r$, МПа	295
9	Расчетный комплекс I_p : $QL^3 / (C_{II} E [\omega])$, см ⁴	2679

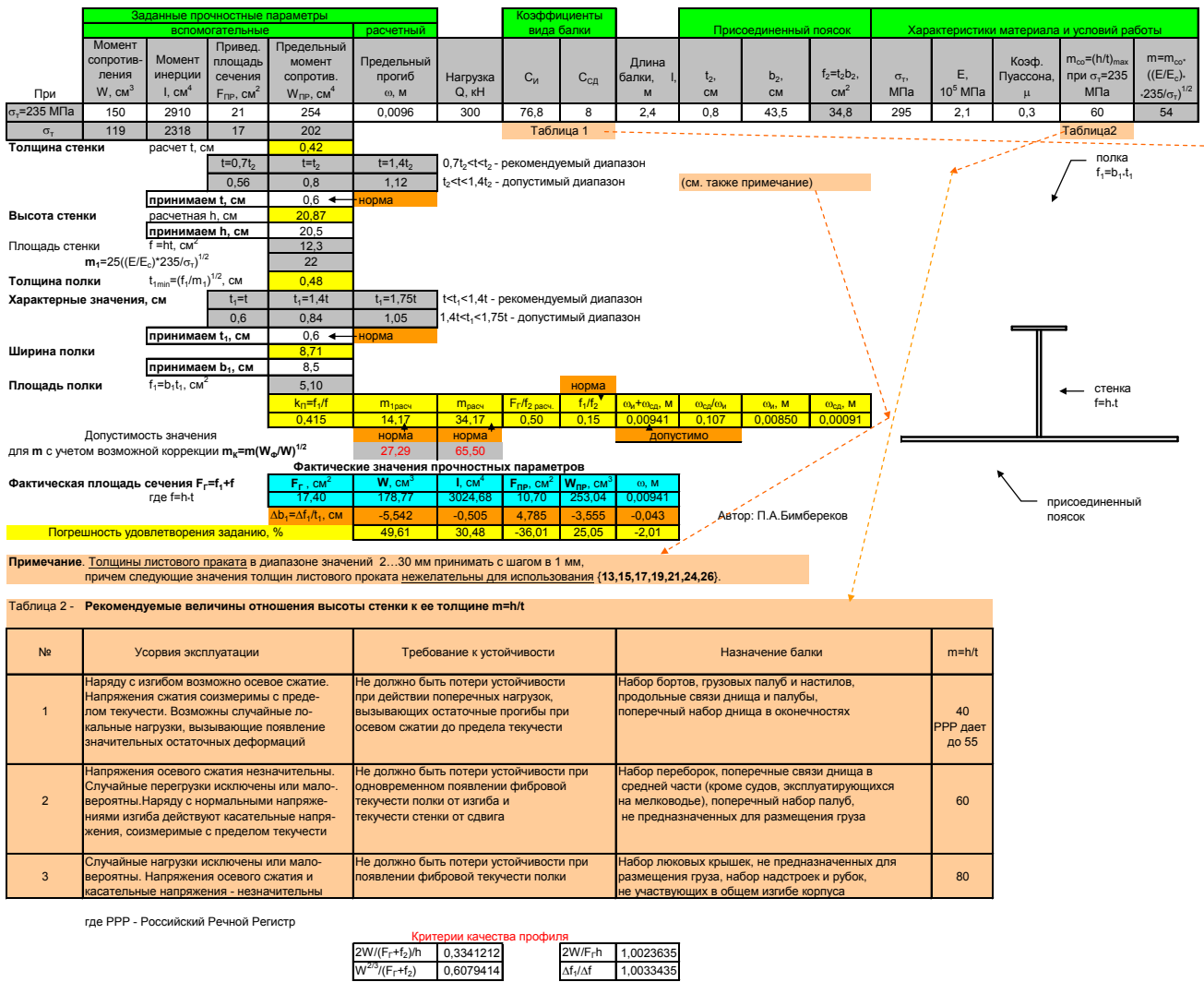


Рис. 2. Пример 2 программы расчета сечения профиля балки при задании допустимого прогиба, а также ряда геометрических параметров его сечения

На рис. 1 и рис. 2 даны варианты подбора элементов профиля балки, ранее рассчитанной в табл. 1, по специальной мини-программе. Здесь приводятся варианты уточнённого подбора параметров сечения профиля балки с учетом значений сортамента листового проката, с технологическим шагом ширины элементов в 0,005 м. Данная схема подбора позволяет также контролировать соответствие заданию в случае нормирования (кроме прогиба) и ряд геометрических параметров сечения балки (момент инерции, момент сопротивления, приведенную площадь сечения, предельный момент сопротивления).

На рис. 1 выбран вариант толщины стенки в два раза меньший, чем у присоединенного пояска обшивки. Такое соотношение не входит в рекомендованные рамки, однако отдельные случаи существующих конструкций говорят о том, что такое соотношение имеет право на существование. Так, настил палубы в районе грузовой площадки барж-площадок проекта №Р-56 имеет построечное значение 0,010 м, в то время как построечная толщина стенки рамных бимсов имеет значение 0,005 м. Эксплуатация барж данного проекта ведется уже более 30 лет и палубное перекрытие показало удовлетворительную работоспособность.

На рис. 2 взят вариант с удовлетворяющим рекомендациям значением стенки, однако площадь профиля при этом значительно возросла – с 13,20 см² (13,2×10⁻⁴ м²) при варианте примера 1 до 17,40 см² (17,4×10⁻⁴ м²) при варианте примера 2.

Отметим, что следует произвести специальные исследования по работоспособности стенок балок относительно малых толщин по сравнению с присоединенными поясками обшивки при величинах толщин обшивки 0,010 м и более.

Выводы

Предложенная схема расчета, имеющая в своей основе получение оптимальных соотношений элементов сечения профиля при оптимизации его по моменту сопротивления с одновременным удовлетворением требования неперевышения заданного прогиба, дала удовлетворительный результат и её можно рекомендовать к практическому использованию.

-
1. **Бимбереков, П.А.** Анализ и оптимизация размеров профилей и эквивалентного бруса корпуса судна / П.А. Бимбереков. – Новосибирск: НГ АБТ, 2004. – 272 с.

*Дата поступления
в редакцию 18.10.2011*

P.A. Bimberekov

DESIGNING OF SHAPES OPTIMAL IN SECANT MODULUS BY ALLOWABLE DEFLECTION OF GIRDER

Hereby was represented variant of shape designing scheme by maximum girder deflection value. This variant is modification of designing of shape cross-section optimal in secant modulus taking in account shear deformation. Given variant of designing is actual for telescopic hold covers which working capacity is conditioned by unexcess of allowable deflection because of acting load.

Key words: designing, ship shape, allowable deflection, optimization.