

УДК 624.071.322:667.63

Иванова А.П., к.т.н., доц., Феськова Л.В., аспирант  
Государственное ВУЗ "Национальный горный университет", г.  
Днепропетровск, Украина

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ БАЛКИ ПРИ ЗАДАННОМ СРОКЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ

Основное условие проектирования металлических конструкций – создание рациональных конструктивных схем и установление областей их применения при наивыгоднейших значениях их геометрических параметров и размеров отдельных элементов. Эти вопросы решаются с помощью вариантного проектирования и оптимизации [1]. Условия функционирования многих нагруженных конструкций таковы, что при их проектировании и для надлежащей эксплуатации необходим учет воздействия агрессивных сред [3]. На данном этапе развития строительства также увеличилась необходимость упрощения расчетов при проектировании.

Цель работы – получение выражений для определения необходимых первоначальных размеров металлической балки при заданном сроке ее эксплуатации.

Стержневые металлические конструкции чаще всего подвергаются значительной коррозии в начальный период времени эксплуатации (первые 10-15 лет), в дальнейшем коррозия замедляется, но процесс продолжается [4]. В связи с этим время эксплуатации стержневой металлической конструкции принимаем 10 лет.

Определение оптимальных размеров балки вытекает из рационального соотношения высоты сечения балки к ее ширине, то есть  $\frac{h}{b}$ . Использование безразмерной величины позволяет унифицировать процесс оптимизации.

Диапазон значений соотношения  $\frac{h}{b}$  достаточно широк. В данной работе анализируются соотношения:  $h = 3b$ ,  $h = 2,5b$ ,  $h = 2b$ ,  $h = 1,5b$ .

Рассмотрим металлическую балку прямоугольного поперечного сечения, испытывающую деформацию изгиба от распределенной нагрузки  $q$  и сосредоточенной силы, которую выражаем как  $P = q \cdot l$  (рис.1).

Для расчетов принимаем коэффициент запаса прочности  $n = 1,1$  [5]. Исходные данные: распределенная нагрузка  $q = 10 \text{ кН/м}$ , длина балки  $l = 1 \text{ м}$ , предел текучести для стали Ст.3  $\sigma_m = 240 \text{ МПа}$ , скорость коррозии  $v = 0,25$  мм/год [2] в течение  $T = 10$  лет.

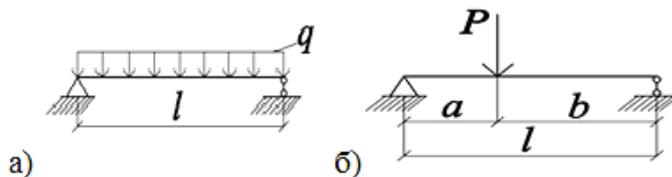


Рис. 1. Действующие на балку нагрузки: а) равномерно распределенная, б) сосредоточенная

Введем следующие допущения:

- коррозия равномерная;
- коррозией боковых граней пренебрегаем, так как боковые грани корродируют в значительно меньшей степени, чем верхняя и нижняя (рис. 2);

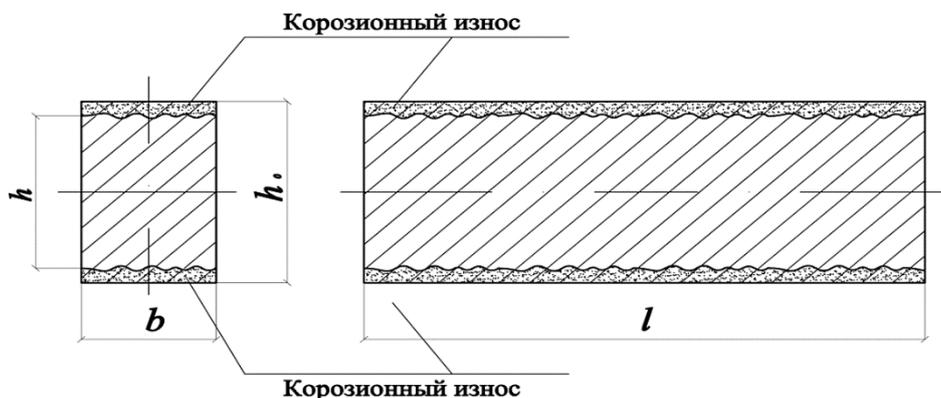


Рис. 2. Коррозионный износ металлической балки прямоугольного сечения

Для коррозии металлов характерны следующие особенности: разрушение всегда начинается с поверхности металла и распространяется вглубь и часто сопровождается изменением его поверхности (на металле видны разрушенные участки в виде несимметричных углублений, точек, «язвин» и т.д.).

В течении периода эксплуатации первоначальная высота балки -  $h_0$ , за счет процесса равномерной коррозии, уменьшается до значения  $h$ . Исходя из этого запишем:

$$h_0 = h + 2 \cdot v \cdot T, \quad (1)$$

где  $T$  - период эксплуатации балки, лет;  $v$  - скорость коррозии, мм/год; 2 - коэффициент, учитывающий коррозионный износ по высоте балки (сверху и снизу рис. 2).

Условие прочности при изгибе имеет вид [2]:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{q \cdot l^2 \cdot 6}{8 \cdot b \cdot h^2} \leq \sigma, \quad (2)$$

где  $M$  - изгибающий момент,  $\text{кН} \cdot \text{м}$ ;  $W$  - момент сопротивления,  $\text{м}^3$ ;

Из условия прочности (2) высота балки:

$$h = \sqrt[3]{\frac{q \cdot l^2 \cdot 6}{8 \cdot b \cdot \sigma}}, \quad (3)$$

Важную роль играет высота балки  $h$  после коррозионного износа, так как после периода эксплуатации в конструкции не должно возникать перенапряжение.

Подставляя высоту сечения балки  $h$  в (2) с условием, что  $h_0 = 3b_0$  и заменяя в (3)  $b$  на  $h_0$ , получим:

$$h_0 = \sqrt[3]{\frac{n \cdot 9 \cdot q \cdot l^2}{4 \cdot \sigma}},$$

Аналогично для  $h_0 = 2,5b_0$ ;  $h_0 = 2b_0$ ;  $h_0 = 1,5b_0$ .

Результаты расчетов соотношений размеров приведены на рис. 3(а, б).

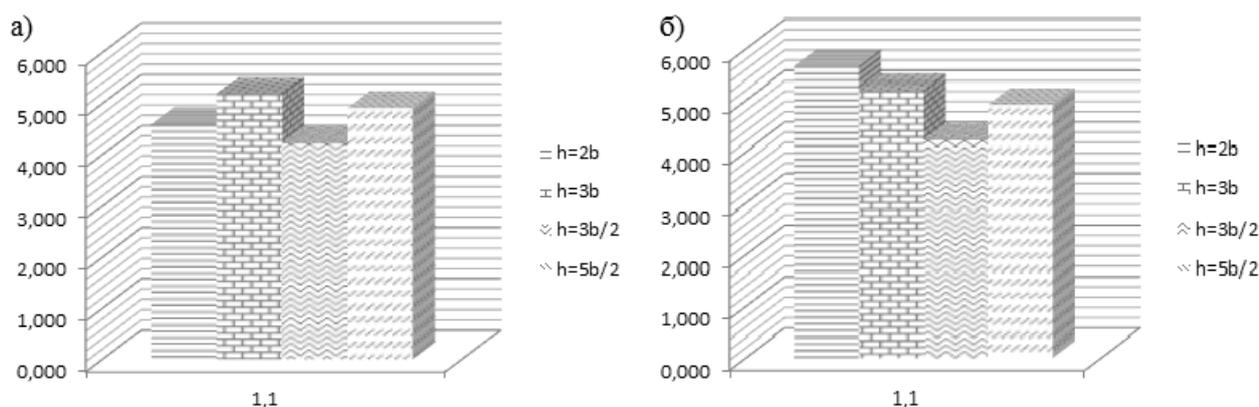


Рис. 3. График зависимости соотношения размеров сечения балки ( $T=10$  лет):  
а) распределенной нагрузки, б) сосредоточенная сила

В зависимости от вида приложенной нагрузки меняются и размеры сечения балки.

При действии сосредоточенной нагрузки на балку высота ее сечения больше на 25%, чем при действии распределенной нагрузки.

С помощью программы MS Excel Solver («Поиск решений») [6], получено рациональное соотношение  $\frac{h}{b}$  (для двух типов нагрузок) и ее величины.

Максимально возможная экономия материала составила: при действии распределенной нагрузки  $Q$  – 10,651%, а при действии сосредоточенной силы  $P$  – 6,253 %.

На основании полученных зависимостей, используя формулу (2), получим необходимые размеры балки, выраженные через один параметр с коэффициентом запаса прочности  $n = 1,1$  [5] (табл. 1).

Таблица 1

Формулы для определения размеров металлических прямоугольных балок с использованием одного параметра при различном типе нагружения

Распределенная нагрузка	- при известной ширине сечения балки $b$ , длина составит	$l = \sqrt{\frac{0,88 \cdot h^3 \cdot \sigma}{q}}$
	- при известной высоте сечения балки $h$ , длина составит	$l = \sqrt{\frac{4,1 \cdot b^3 \cdot \sigma}{q}}$
	- при известной длине балки $l$ и зависимости $h = 1,675b$ (табл. 1), высоту и ширину сечения можно определить как:	$b = \sqrt[3]{\frac{1,9 \cdot q \cdot l^2}{\sigma}}$ $h = \sqrt[3]{\frac{1,14 \cdot q \cdot l^2}{\sigma}}$
Сосредоточенная сила	- при известной ширине сечения балки $b$ , длина составит	$l = \sqrt{7,5 \frac{4,1 \cdot b^3 \cdot \sigma}{q}}$
	- при известной высоте сечения балки $h$ , длина составит	$l = \sqrt{\frac{0,23 \cdot h^3 \cdot \sigma}{q}}$
	- при известной длине балки $l$ и зависимости $h = 3,201b$ (табл. 2), высоту и ширину сечения можно определить как:	$b = \sqrt[3]{\frac{14 \cdot q \cdot l^2}{\sigma}}$ $h = \sqrt[3]{\frac{4,4 \cdot q \cdot l^2}{\sigma}}$

1. В работе получены формулы для определения высоты балки с заданным сроком эксплуатации в агрессивной среде, выраженные через один параметр, что позволяет унифицировать расчет на начальном этапе проектирования и сокращает временные затраты.

2. Получено оптимальное соотношение между высотой балки и ее шириной, при этом экономия материала, в зависимости от вида приложенной нагрузки составляет: при действии распределенной нагрузки – 10,65 %, при действии сосредоточенной силы – 6,25 %.

3. При действии сосредоточенной нагрузки на балку высота ее сечения больше на 25%, чем при действии распределенной нагрузки.

4. Применение программной надстройки Microsoft Excel Solver («Поиск решений») позволяет определить оптимальные размеры элементов стержневых конструкций без использования сложных программных комплексов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анцев В.Ю., Толоконников А.С., Обыденков В.А. Исследование напряженно-деформированного состояния пролетных балок мостовых кранов с оптимизированными массогабаритными показателями // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 12. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. – Ч. 1 – С. 230-233.
2. ДБН В.2.6-163:2010. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу – К.: Мінрегіонбуд України. - 2011. – 201 с.
3. Зеленцов, Д. Г. Информационное обеспечение расчётов корродирующих объектов. Математические модели и концепция проектирования систем [Текст] / Д. Г. Зеленцов, О. А. Ляшенко, Н. Ю. Науменко. – Днепропетровск: УГХТУ. - 2012. – 264 с.
4. Коваленко В.В. Защита металлической крепи от коррозии с использованием торкрет-бетона [Текст]: моногр. / В.В. Коваленко. – Д.: Национальный горный университет. - 2012. – 107 с.
5. Иванова А. П. Оптимальное проектирование металлических конструкций с рациональным использованием коэффициента запаса прочности в агрессивной среде / Иванова А.П., Феськова Л.В. // Сборник материалов региональной научно-практической конференции «Проблемы горной технологии» - Красноармейск. – 2014. – С. 203–206
6. Иванова А.П. Параметрическая оптимизация главной балки металлической балочной клетки / Иванова А.П., Феськова Л.В. // Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, организованной кафедрой «Строительство шахт и подземных сооружений» – ДонНТУ. – 2014. – №20. – С. 179–181