

REFERENCES

1. Mochkov, V.S., Bronshteyn B.Ye., Grechin, A.Ja. (1985) "Utilization of coal mine's rocks of Western Donbass", *Ugol' Ukrainy*, no. 10. – pp. 21–22.
2. Kovalenko, V.V., Garkusha, V.S. (2014) "The study of physical and mechanical characteristics of shotcrete compositions based on waste rock", *Materials of international conference "Forum of miners 2014"*, vol. 2 – pp. 130–138.
3. Shtumpf, G.G. (1988) "The nature of the fracture of rock samples and improvement of methods to determine their strength", *Ugol' Ukrainy*, no. 6. – pp. 10 – 12.
4. Solodyankin, A.V., Martovitskiy, A.V., Panchenko, V.V. (2011) "Evaluation of the geomechanical conditions for maintaining the extended mine workings of OJSC "Pavlogradugol", *Razrabotka rudnyh mestorozhdenii*, vol. 94. – pp. 3–6.

Стаття надійшла 19.12.2014.

УДК 624.071.322:667.63

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С. Н. Гапеев, Л. В. Феськова

ГБУЗ «Национальный горный университет»

просп. Карла Маркса, 19, Днепропетровск, 49005, Украина.

E-mails: sergey.gapeev@hotmail.com, persifona11@yandex.ru

Фактические нагрузки, действующие на деталь, и свойства материалов, из которых она изготовлена, могут значительно отличаться от тех, которые принимаются для расчета. При этом факторы, снижающие прочность детали (перегрузки, неоднородность материалов и т.д.), носят, чаще всего, случайный характер и предварительно не могут быть учтены. Проведено исследование рационального снижения коэффициента запаса прочности при проектировании металлических стержневых конструкций с использованием программной надстройки Microsoft Excel Solver («Поиск решений») с заданным сроком эксплуатации в неблагоприятных условиях

Ключевые слова: коэффициент запаса прочности, стержневые конструкции, коррозионный износ.

ОЦІНКА КОЕФІЦІЄНТУ ЗАПАСУ МІЦНОСТІ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ СТЕРЖНЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

С. М. Гапєєв, Л.В. Фєськова

ДВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. Карла Маркса, 19, Дніпропетровськ, 49005, Україна.

E-mails: sergey.gapeev@hotmail.com, persifona11@yandex.ru

Фактичні навантаження, що діють на деталь, і властивості матеріалів, з яких вона виготовлена, можуть значно відрізнятися від тих, які приймаються для розрахунку. При цьому чинники, що знижують міцність деталі (перевантаження, неоднорідність матеріалів тощо), носять, найчастіше, випадковий характер та

попередньо не можуть бути враховані. Проведено дослідження раціонального зниження коефіцієнта запасу міцності при проектуванні металевих стрижневих конструкцій з використанням програмної надбудови Microsoft Excel Solver («Пошук рішень») із заданим терміном експлуатації в агресивному середовищі.

Ключові слова: коефіцієнт запасу міцності, стержневі конструкції, корозійний знос.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Повышение надежности элементов сооружений предъявляет высокие требования к проектным решениям, поскольку конструкция должна быть достаточно прочной, жесткой, устойчивой и при этом иметь наименьшую материалоемкость, трудоемкость изготовления и стоимость. В значительной мере эта задача может быть решена за счет рационального проектирования на основе современных методов прочностных расчетов. Поскольку условия эксплуатации, связанные с одновременным воздействием агрессивных рабочих сред и нагрузок, характерны для реальных условий эксплуатации металлического оборудования, строительных конструкций, портовых сооружений и др., то проблема оптимального проектирования элементов таких конструкций с заданным сроком эксплуатации является весьма актуальной.

Так как сооружения в целом должны безопасно работать и при неблагоприятных условиях, то необходимо принять определенные меры предосторожности. С этой целью напряжения, обеспечивающие безотказную эксплуатацию конструкции, должны быть ниже тех предельных напряжений, при которых может произойти разрушение или возникнуть пластические деформации. Чтобы обеспечить надежную работу сооружения и отдельных его частей вводится коэффициент запаса прочности.

Коэффициент запаса по пределу текучести при расчетах деталей из пластичных материалов под действием постоянных напряжений, чаще всего выбирают равным 1,3–1,5.

При проектировании конструкций коэффициент запаса прочности принимается довольно большим. На сегодняшний день существуют следующие методы его определения:

- 1) табличный метод, дифференциальный метод;
- 2) метод по эмпирическим формулам;
- 3) дифференциальный метод.

Недостаток табличного метода в том, что таблица с коэффициентом запаса прочности составляется перед изготовлением самой детали и при изменении размеров этой детали данная таблица меняться уже не может. Недостаток второго метода – применяются формулы, которые дают грубые значения, заранее завышенный коэффициент запаса прочности. Последний метод более точный, так как величина коэффициента определяется путем перемножения ряда частных коэффициентов запаса прочности. Каждому частному коэффициенту посвящены глубокие научные изыскания [1].

В работе рассмотрен способ определения коэффициента запаса прочности с использованием формул сопротивления материалов и программной надстройки Microsoft Excel Solver («Поиск решений»).

Цель работы – возможность снижения коэффициента запаса прочности без ущерба для надежности конструкции подвергающейся коррозии.

Идея работы – определение оптимальных размеров балки прямоугольного сечения при уменьшении коэффициента запаса прочности для заданного срока эксплуатации с использованием программной надстройки Microsoft Excel Solver («Поиск решений»).

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. При проектировании стержневых конструкций, испытывающих простые пластические деформации, чаще всего используют коэффициент запаса прочности 1,5.

Определение оптимальных размеров балки вытекает из рационального соотношения высоты сечения балки к ее ширине, т.е. $\frac{h}{b}$, и применения коэффициента запаса прочности. Диапазон значений соотношения $\frac{h}{b}$ достаточно широк.

В данной работе анализируются следующие соотношения: $h = 3b$, $h = 2,5b$, $h = 2b$, $h = 1,5b$, коэффициент запаса прочности $n = 1,1; n = 1,3; n = 1,5$.

Для оптимизации размеров металлической балки прямоугольного сечения применяется программная надстройка Microsoft Excel Solver («Поиск решений»), алгоритм использования которой представлен в работе [1].

В качестве целевой функции принимаем объем металлической балки [2]:

$$V = h_0 \cdot b_0 \cdot l, \quad (1)$$

где V – объем металлической балки, м³;

h_0 – начальная высота сечения балки, м;

b_0 – начальная ширина сечения балки, м;

l – длина балки, м;

Нагрузки, действующие на конструкцию, являются по отношению к ней внешними [3]. На балку может действовать как равномерно распределенная нагрузка, так и сосредоточенная.

Рассмотрим металлическую балку прямоугольного поперечного сечения, испытывающую деформацию изгиба от действия:

а) распределенной нагрузки (рис. 1,а);

б) сосредоточенной силы (рис. 1,б).

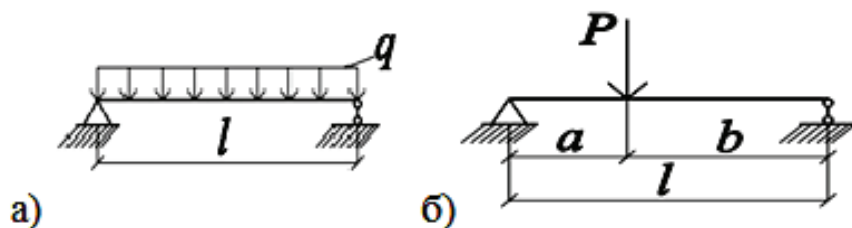


Рисунок 1 – Действующие на балку нагрузки: а) равномерно распределенная; б) сосредоточенная

Срок эксплуатации принимаем 10 лет [4], т.к. металлические конструкции подвергаются значительной коррозии в начальный период (первые 10–15 лет) эксплуатации, в дальнейшем коррозия замедляется, но процесс продолжается.

Принимаем следующие допущения:

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

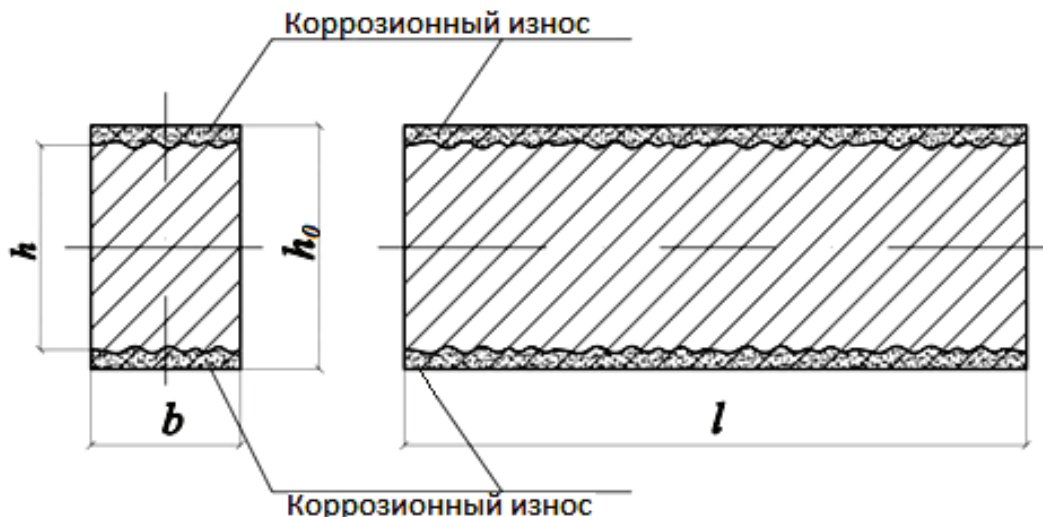


Рисунок 2 – Коррозионный износ металлической балки прямоугольного сечения

Рассмотрим следующие коэффициенты запаса прочности $n = 1,1; 1,3; 1,5$. Исходные данные: распределенная нагрузка $q = 10 \text{ кН} / \text{м}$, длина балки $l = 1 \text{ м}$, предел текучести для стали 3 – $\sigma_m = 240 \text{ МПа}$, скорость коррозии $V = 0,25 \text{ мм/год}$ [5], период эксплуатации $T = 10 \text{ лет}$.

Рассмотрим случай, когда на балку действует распределенная нагрузка.

Первоначальная высота балки – h_0 , с течением времени она уменьшается за счет коррозии до значения h . Исходя из этого запишем:

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

где h_0 – первоначальная высота балки, м;

h – высота балки в конце периода эксплуатации, м;

T – период эксплуатации, лет;

v – скорость коррозии, мм/год;

2 – учет коррозионного износа по высоте балки (сверху и снизу рис. 2).

Условие прочности при изгибе имеет вид:

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

где M – изгибающий момент, $\text{кН} \cdot \text{м}$;

W – момент сопротивления, м^3 .

Из условия прочности (3) получаем высоту балки:

$$h = \sqrt[3]{\frac{q \cdot l^2 \cdot 6}{8 \cdot b \cdot \sigma}} \quad (4)$$

Важную роль играет высота балки после коррозионного износа. Подставим (4) в выражение (3) с условиями: $h_0 = 3b_0$; $h_0 = 2,5b_0$; $h_0 = 2b_0$; $h_0 = 1,5b_0$ и заменяя в (4) b на h_0 , получим:

$$\begin{aligned} \text{при } b = \frac{3}{h_0} \quad h_0 &= \sqrt[3]{\frac{n \cdot 9 \cdot q \cdot l^2}{4 \cdot [\sigma]}}, & \text{при } b = \frac{2}{5 \cdot h_0} \quad h_0 &= \sqrt[3]{\frac{n \cdot 15 \cdot q \cdot l^2}{8 \cdot [\sigma]}}, \\ \text{при } b = \frac{2}{h_0} \quad h_0 &= \sqrt[3]{\frac{n \cdot 3 \cdot q \cdot l^2}{2 \cdot [\sigma]}}, & \text{при } b = \frac{2}{3 \cdot h_0} \quad h_0 &= \sqrt[3]{\frac{n \cdot 9 \cdot q \cdot l^2}{8 \cdot [\sigma]}}. \end{aligned}$$

Как видно из рис. 3 оптимальное соотношение размеров $h_0 = \frac{3b_0}{2}$ при коэффициенте запаса прочности $n = 1,1$.

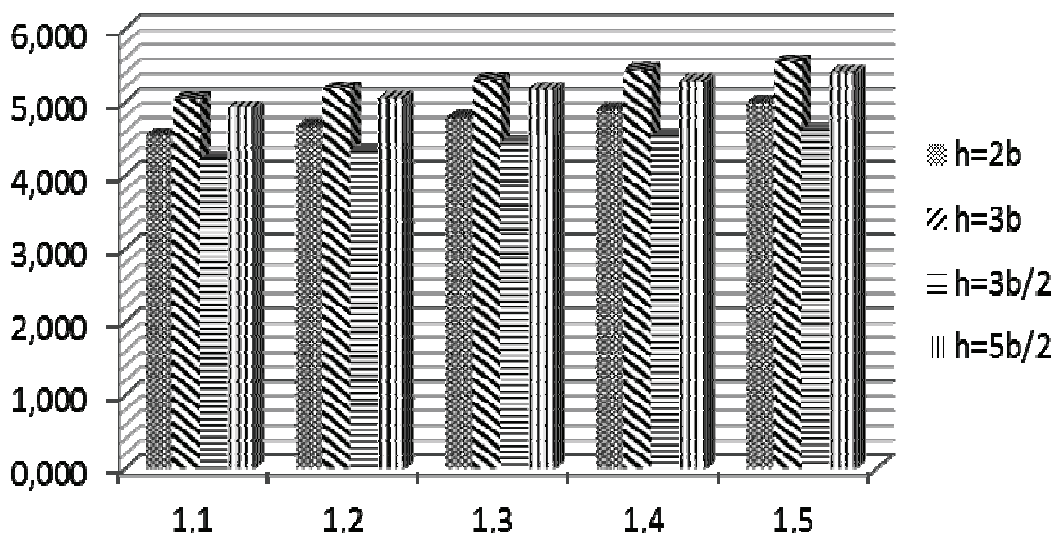


Рисунок 3 – График зависимости оптимального соотношения размеров балки от коэффициента запаса прочности при $T=10$ лет

Выполним проверку по условию (3) при $n = 1,1$, получим:

$$[\sigma] = \frac{M}{W} = \frac{q \cdot l^2 \cdot 6}{8 \cdot b_0 \cdot h_0^2} = \frac{3 \cdot q \cdot l^2}{4 \cdot b_0 \cdot h_0^2} \geq \frac{\sigma_n}{n};$$

$$\frac{3 \cdot 10 \cdot 1^2}{4 \cdot 2,81 \cdot 10^{-2} \cdot (4,22 \cdot 10^{-2} - \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 10}{1000})^2} \geq \frac{240}{1000 \cdot 1,1},$$

где $\frac{2 \cdot 0,25 \cdot 10}{1000}$ – коррозийный износ в течение срока эксплуатации ($T=10$ лет);

2 – учет коррозионного износа по верхней и нижней грани балки (рис. 2);
0,25 – скорость коррозии

$$192343,2 \geq 218181,8 \text{ кН} / \text{м}^2 .$$

Используя надстройку MS Excel Solver («Поиск решений») полученные размеры сечения прямоугольной балки можно минимизировать.

Результаты показывают, что для «новой» балки напряжение не превышает допустимого, а ее объем уменьшился на 10,12 % (рис. 4), что снижает ее стоимость.

Была проведена та же операция с коэффициентами запаса прочности $n = 1,3$ и $n = 1,5$. При этом экономия материала не наблюдалась.

Рассмотрим второй случай, при котором на балку действует сосредоточенная сила. Сосредоточенную силу P можно выразить через распределённую нагрузку q , как $P = q \cdot l$.

Проведя те же расчеты и используя программную надстройку MS Excel Solver («Поиск решения»), были получены размеры сечения прямоугольной балки, при которых объём «новой» балки уменьшился на 5,26 % .

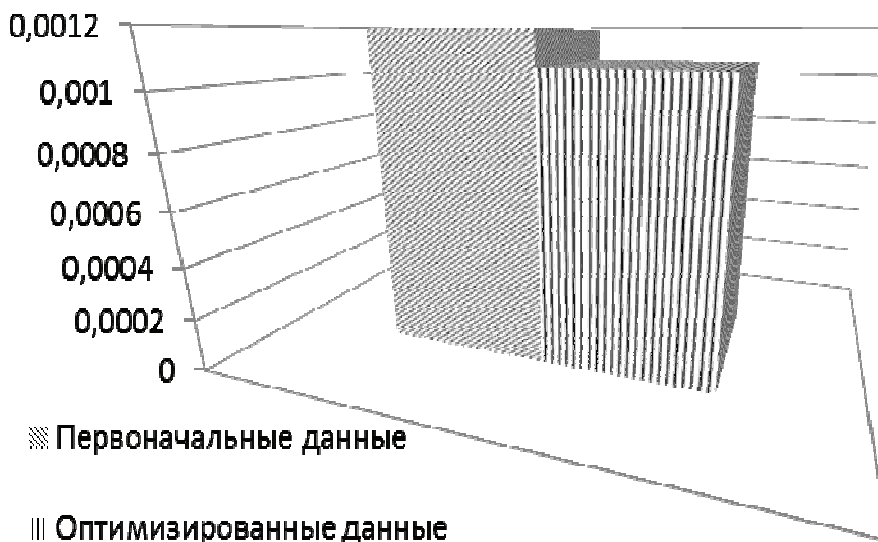


Рисунок 4 – Оптимизация размеров металлической балки прямоугольного сечения

Следует отметить, что на соотношение $\frac{h}{b}$ также влияет длина балки (рис. 5, 6).

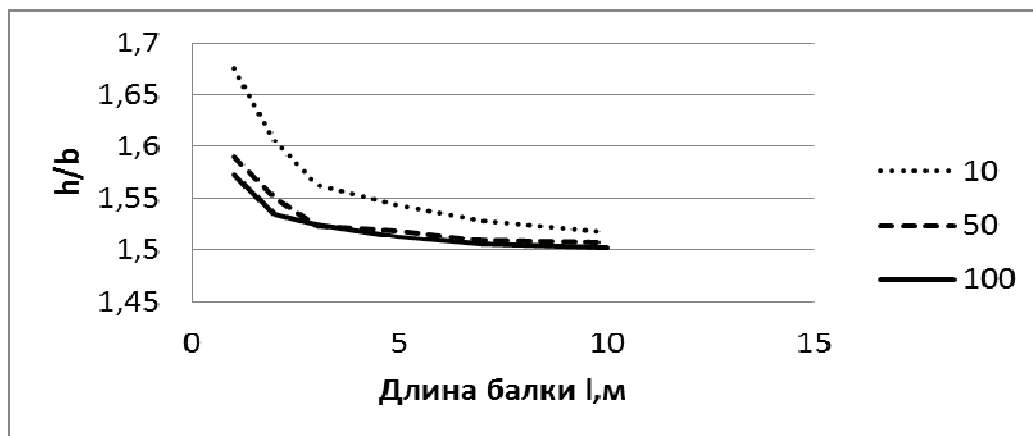


Рисунок 5 – Залежність співвідношення $\frac{h}{b}$ від довжини балки l при різній величині концентрованої сили

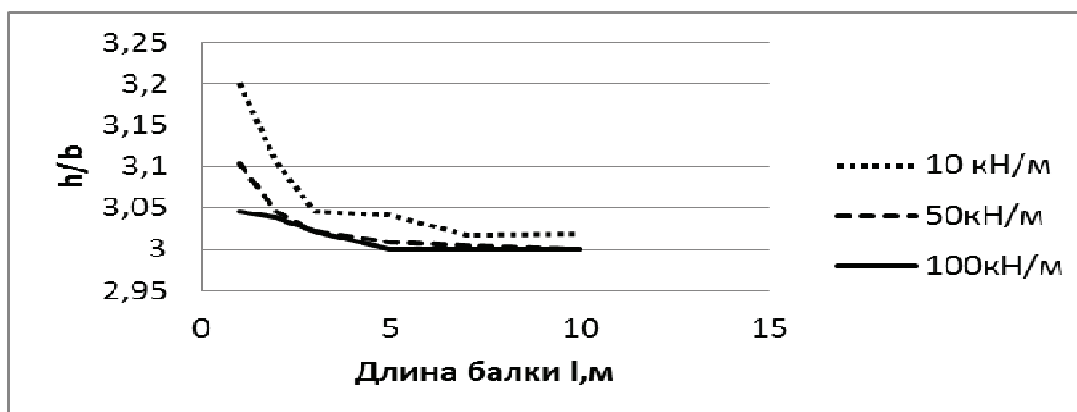


Рисунок 6 – Залежність співвідношення $\frac{h}{b}$ від довжини балки l при різній величині розподіленої навантаження

Результати досліджень показують, що при дії концентрованої навантаження на балку її висота більше на 25 %, ніж при дії розподіленої навантаження.

ВИВОДИ. При проектуванні конструкцій, навіть при постійних напруженнях, коефіцієнт запасу міцності декілька завищений, що призводить до збільшення матеріаломісткості та вартості конструкцій. В роботі були проведені дослідження по його можливішому зниженню (з урахуванням прийнятих допущень). Коефіцієнт запасу міцності рівний 1,1 забезпечує економію матеріалу 5÷10%, без шкоди для несучої здатності балки. При цьому забезпечена міцність конструкції впродовж заданого терміну експлуатації.

ЛИТЕРАТУРА

1. Одинг, И.А. Допускаемые напряжения в машиностроении и циклическая прочность металлов. – Изд. 4-е, испр. и доп. – М. : Машгиз, 1962. – 260 с.
2. Параметрическая оптимизация главной балки металлической балочной клетки / Л.В. Феськова, А.П. Иванова // Совершенствование технологии строительства и шахт подземных сооружений. Вып. 20. – Донецк, 2014. – С. 179–181.

3. ДБН В.2.6–163:2010. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 201 с.

4. Коваленко В.В. Защита металлической крепи от коррозии с использованием торкрет-бетона: монография. – Д.: Национальный горный университет, 2012. – 107 с.

5. Зеленцов, Д. Г. Информационное обеспечение расчётов корродирующих объектов. Математические модели и концепция проектирования систем / Д. Г. Зеленцов, О. А. Ляшенко, Н. Ю. Науменко. – Днепропетровск: УГХТУ, 2012. – 264 с.

EVALUATION OF A SAFETY FACTOR OF THE MULTIPLE ROD STRUCTURES DESIGNING

S. Gapeiev, L. Feskova

SHEI "National Mining University"

prosp. Karl Marx, 19, Dnepropetrovsk, 49005, Ukraine.

E-mails: sergey.gapeev@hotmail.com, persifona11@yandex.ru

The actual load acting on the workpiece and the properties of the materials from which it is made, can be significantly differed from those are taken for the calculation. In this case factors which reduce the strength of the details (overload, heterogeneous materials, etc.) have most often random character and can not be pre-addressed. The rational reduce of safety factors in the metal rod structures design with the specified service life in harsh environment is investigated using a software add-ins Microsoft Excel Solver («Finding Solutions")

Key words: safety factor, rode structures, corrosive wear.

REFERENCES

1. Odyng, Y. A. Dopuskaemye naprjazhenija v mashynostroenyy y tsyklycheskaja prochnostj metallov / Y. A. Odyng. - Yzd. 4-e, yspr. y dop. - M. : Mashghyz, 1962. - 260 s.: yl. - Byblyoghr.: 258 s.

2. Fesjkova L.V. Parametrycheskaja optymyzacyja ghlavnoj balky metallycheskoj balochnoj kletky / L.V. Fesjkova, A.P. Yvanova // Sovershenstvovanye tekhnologhyu stroyteljstva y shakht podzemnykh sooruzhenyj. Vypusk 20. – Doneck. – 2014.

3. DBN V.2.6-163:2010. Stalevi konstrukciji. Normy proektuvannja, vyghotv-lennja i montazhu – К.: Minreghionbud Ukrajinu. - 2011. – 201 s.

4. Kovalenko V.V. Zashhyta metallycheskoj kreyu ot korrozyy s uspoljzovanyem torkret-betona [Tekst]: monoghr. / V.V. Kovalenko. – Д.: Nacyonal'nyj ghornyj uny-versytet. - 2012. – 107 s.

5. Zelencov, D. Gh. Ynformacyonnoe obespechenye raschetov korrodyrujushhyykh obyektov. Matematycheskye modely y koncepcyja proektyrovanyja system [Tekst] / D. Gh. Zelencov, O. A. Ljashenko, N. Ju. Naumenko. – Dnepropetrovsk: UGhKhTU. - 2012. – 264 s.

Стаття надійшла 23.12.2014.