

**УДК 624.012.25**

**ЕКОНОМІЧНО ЕФЕКТИВНЕ АРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ  
БАЛОК ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ**

**ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОЕ АРМИРОВАНИЕ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ**

**REINFORCE CONCRETE RECTANGULAR-SECTION BEAMS WITH  
HIGHT ECONOMICAL EFFECT**

**Гомон П.С., к.т.н., ст.викл., Гомон Л.П. ст.викл. (Національний  
університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)**

**Гомон П.С. к.т.н., старший преподаватель, Гомон Л.П. старший  
преподаватель (Национальный университет водного хозяйства и  
природоиспользования, г. Ровно)**

**Gomon P.S. PhD, senior teacher, Gomon L.P. senior teacher (National  
university of water management and nature resources us, Rivne)**

**Проведені аналітичні дослідження економічного армування.  
Встановлено залежності вартості конструкцій від коефіцієнта  
армування. Запропоновані найбільш ефективні коефіцієнти армування  
для перерізів.**

**Проведенные аналитические исследования экономического  
армирования. Установлены зависимости стоимости конструкций от  
коэффициента армирования. Предложены наиболее эффективные  
коэффициенты армирования для сечений.**

**In the article you can find the results of analitical research of economical  
reinforcement concrete beams. Depending on the cost structures of the  
reinforcement ratio were determined. The most effective reinforcement ratio  
for the cross sections have been proposed.**

**Ключові слова:**

**Залізобетон, прямокутний переріз, економічне армування.**

**Железобетон, прямоугольное сечение, экономическое армирования.**

**Reinforced concrete, rectangular section, economical reinforcement.**

**Стан питання.** Основним завданням проектувальника є вибір раціонального варіанту конструкцій. Такий вибір проводиться на основі порівняння варіантів конструктивних рішень. В 2009 році були впроваджені у використання нові норми з проектування залізобетонних конструкцій [1], а в 2011 році вступили в силу норми [2], щодо розрахунку конструкцій. В нормах проектування відсутні рекомендації відносно найбільш економічного використання арматури в прямокутних залізобетонних згинальних елементах, тому в статті була поставлена задача проаналізувати вартість конструкцій з різним армуванням з врахуванням поточної вартості матеріалів. Кошторисна собівартість конструкцій у споруді (вартість будівельних робіт) розраховується з врахуванням вартості установаження конструкції в проектне положення. Вартість будівельних робіт розраховується, як сума прямих витрат (заробітна плата робітників-будівельників, вартість експлуатації машин та механізмів, вартість матеріалів та конструкцій) та загальновиробничих витрат.

$$V_{BP} = V_{ПР.В.} + 3ВВ \quad (1)$$

$$V_{ПР.В.} = 3П^{р.б.} + V_E + V_{М.К.} \quad (2)$$

де  $V_{ПР.В.}$  - прями витрати;

$3П^{р.б.}$  - заробітна плата робітників-будівельників;  $V_E$  - вартість експлуатації машин та механізмів;  $V_{М.К.}$  - кошторисна вартість матеріалів та конструкцій.

Для порівняння варіантів конструкцій прийємо сталий переріз конструкції (відношення висоти та ширини сталими) та різні варіанти армування. Тоді в прямих витратах вартість експлуатації машин та механізмів та заробітна плата робітників-будівельників будуть сталими. Сталими залишаться і загальновиробничі витрати. А коефіцієнт армування буде впливати на кошторисну вартість матеріалів, а саме на відпускну вартість конструкції монолітної чи збірної.

Станом на 1 березня 2015 року вартість товарного бетону складає від 550-900 грн за  $1 м^3$  в залежності від марки бетону, вартість гарячекатаної арматури складає 7000-12000 грн за тону в залежності від класу та товщини перерізу арматури. Якщо врахувати те, що густина сталі  $7,5 т$  на  $1 м^3$ , то вартість  $1 м^3$  сталі буде в межах 52,5-90 тис.грн.. Пропорція вартості об'єму бетону до арматури становить приблизно 1:100, тобто вартість арматури в 100 раз більша, ніж вартість бетону.

Для визначення оптимального коефіцієнта армування було прийнято до розрахунку такі вихідні параметри матеріалів: бетон класу С20/25, арматура класу А400С. Варіювалися коефіцієнт армування  $\mu = 0,2...3\%$ , площа поперечного перерізу  $A = d \cdot b = 600...1500 см^2$  та співвідношення висоти перерізу до ширини  $d / b = 0,7...3,5$ .

Для побудови епюри напружень використовувався поліном 5 ступеня (3) та дволінійна діаграма деформування для арматури [1] ст.22. Несуча здатність перерізів визначалися за допомогою графіка момент-кривизна, результати міцності нормальних перерізів занесені в таблицю 1.

$$\sigma_c = f_{cd} \sum_{k=1}^5 a_k \eta^k, \quad (3)$$

Таблиця 1  
Міцність поперечного перерізу за різних вихідних даних, *кНм*

Коефіцієнт армування залізобетонної балки при площі поперечного перерізу балки $A = 600\text{см}^2$							
<b>b × h</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>1,00</b>	<b>1,50</b>	<b>2,00</b>	<b>2,50</b>	<b>3,00</b>
<b>40 × 15</b>	18,64	44,52	82,12	112,71	120,32	125,74	129,61
<b>30 × 20</b>	13,98	33,39	61,59	84,53	90,24	94,30	97,21
<b>24 × 25</b>	11,19	26,71	49,27	67,62	72,19	75,44	77,76
<b>20 × 30</b>	9,32	22,26	41,06	56,35	60,16	62,87	64,80
Коефіцієнт армування залізобетонної балки при площі поперечного перерізу балки $A = 1000\text{см}^2$							
<b>b × h</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>1,00</b>	<b>1,50</b>	<b>2,00</b>	<b>2,50</b>	<b>3,00</b>
<b>66,7 × 15</b>	51,79	123,67	228,08	313,07	334,22	365,97	375,56
<b>50 × 20</b>	38,84	92,76	171,09	234,80	250,66	274,48	281,67
<b>40 × 25</b>	31,07	74,20	136,87	187,84	200,53	219,58	225,33
<b>33,3 × 30</b>	25,89	61,84	114,06	156,54	167,11	182,99	187,78
<b>28,6 × 35</b>	22,19	53,00	97,77	134,17	143,24	156,85	160,95
Коефіцієнт армування залізобетонної балки при площі поперечного перерізу балки $A = 1500\text{см}^2$							
<b>b × h</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>1,00</b>	<b>1,50</b>	<b>2,00</b>	<b>2,50</b>	<b>3,00</b>
<b>75 × 20</b>	87,39	208,70	384,96	528,31	563,99	589,41	607,53
<b>60 × 25</b>	69,91	166,96	307,97	422,65	451,19	471,52	486,03
<b>50 × 30</b>	58,26	139,13	256,64	352,20	375,99	392,94	405,02
<b>42,9 × 35</b>	49,94	119,26	219,98	301,89	322,28	336,80	347,16

Для аналізу вартості перерізу в залежності від коефіцієнта армування та інших характеристик був використаний коефіцієнт приведення вартості арматури до бетону  $k_{np} = 100$ . Вартість арматури враховувалась множенням коефіцієнта на площу арматури. Після визначення вартості перерізу отримано графіки залежностей вартості балок до згинального моменту, який може сприйняти переріз. рис.1, рис.2, рис.3.

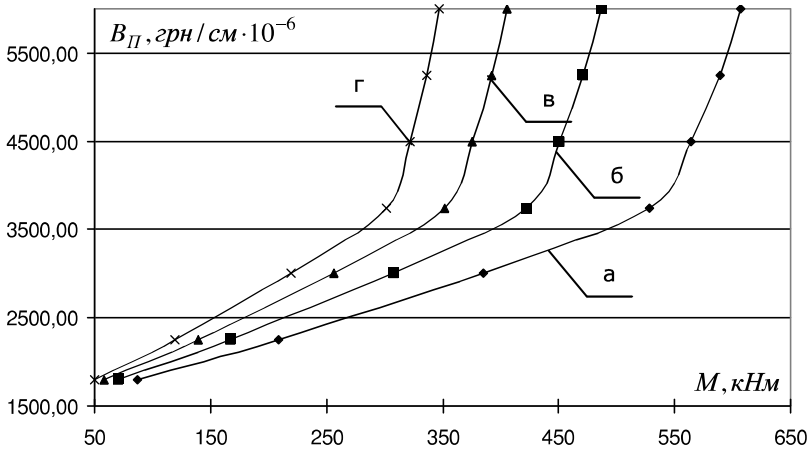


Рис. 1 Графіки залежності вартості балок до згинального моменту, який може сприйняти переріз площею  $A = 1500\text{см}^2$  розмірами: а)  $d = 75\text{см}; b = 20\text{см}$ ; б)  $d = 60\text{см}; b = 25\text{см}$ ; в)  $d = 50\text{см}; b = 30\text{см}$ ; г)  $d = 43\text{см}; b = 35\text{см}$ .

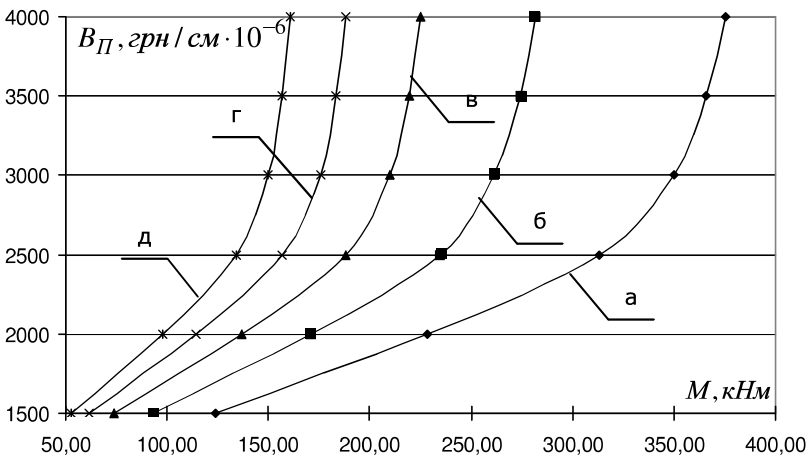


Рис. 2 Графіки залежності вартості балок до згинального моменту, який може сприйняти переріз площею  $A = 1000\text{см}^2$  розмірами: а)  $d = 66,7\text{см}; b = 15\text{см}$ ; б)  $d = 50\text{см}; b = 20\text{см}$ ; в)  $d = 40\text{см}; b = 25\text{см}$ ; г)  $d = 33,3\text{см}; b = 30\text{см}$ ; д)  $d = 28,6\text{см}; b = 35\text{см}$ .

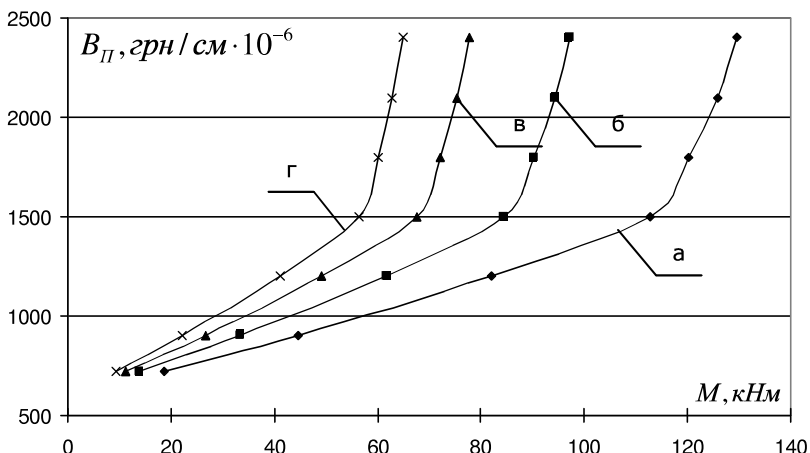


Рис. 3 Графіки залежності вартості балок до згинального моменту, який може прийняти переріз площею  $A = 600\text{см}^2$  розмірами: а)  $d = 40\text{см}; b = 15\text{см}$  ; б)  $d = 30\text{см}; b = 20\text{см}$  ; в)  $d = 24\text{см}; b = 25\text{см}$  ; г)  $d = 20\text{см}; b = 30\text{см}$  .

Після аналізу графіків можна зробити **висновки**:

1. Співвідношення висоти поперечного перерізу балки до ширини повинно бути якомога більшим, проте повинні виконуватись конструктивні вимоги та вимоги до стійкості перерізу.
2. Збільшення коефіцієнта армування балки відповідно збільшує її міцність, а також і вартість. Проте з графіків залежності видно, що при збільшенні коефіцієнта армування (більше 1,6%) відбувається злам на графіку, тобто подальше збільшення коефіцієнта армування суттєво збільшує вартість балки, що є економічно неефективним.
3. Проаналізувавши варіювання співвідношення висоти поперечного перерізу балки до ширини, коефіцієнт армування та результати з графіків залежності вартості балок до згинального моменту, який може прийняти переріз, злам, що проходить при коефіцієнті армування 1,6% спричинений тим, що міцність арматури в більш армованому перерізі використовується не повністю, швидко руйнується стиснута зона бетону, а це суттєво зменшує несучу здатність перерізу балки. Тому слід дотримуватись обмеження в коефіцієнті армування до 1,6% або проектувати переріз так, щоб при руйнуванні по нормальному перерізу балки арматура досягала зони текучості.

1. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. 2. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010.– 166 с. 3. ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 “Правила визначення вартості будівництва”. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 88 с.