

УДК 692.231.3

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИШАРОВИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК НА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ

СОПІЛЬНЯК А. М.<sup>1\*</sup>, ас.

<sup>1\*</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [artem\\_sopilnyak@ukr.net](mailto:artem_sopilnyak@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-3067-0529

**Анотація. Постановка проблеми.** Зростання темпів житлового будівництва зумовило широке застосування індустріальних конструкцій, в тому числі різних багатошарових стінових панелей і блоків, виготовлених із застосуванням легких бетонів. Експериментальному вивченню роботи таких конструкцій присвячені праці [1-5]. Знаючи особливості різних видів бетонів, можливо виконати оптимальний підбір бетонів для створення стінової панелі, яка може принести не тільки миттєву вигоду, але і забезпечити енергоефективне житло з довговічних матеріалів. Істотним показником таких конструкцій є мала питома вага, що значно знижує не тільки навантаження на несучі конструкції будівлі, але і витрати на доставку на будмайданчик. **Мета.** Проведення аналізу результатів випробувань дослідних тришарових залізобетонних балок з теплоізоляційним шаром з полістиролбетону на тріщиностійкість і міцність перерізів, похилих до поздовжньої осі елемента. **Висновок.** При випробуванні зразків спостерігалось утворення часто розташованих похилих тріщин в середньому шарі приопорних зон, що означає, що більш міцні зовнішні шари створюють опір розвитку утворення похилих тріщин і збільшують несучу здатність. Зусилля утворення похилих тріщин для тришарових балкових зразків з середнім шаром з полістиролбетону зменшувалися зі збільшенням прольоту зрізу. Коефіцієнт  $\varphi_{в4}$  для тришарових елементів виявився заниженим порівняно з експериментальним.

**Ключові слова:** тришарова залізобетонна балка, випробування, тріщиностійкість.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ

СОПІЛЬНЯК А. М.<sup>1\*</sup>, асс.,

<sup>1\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [artem\\_sopilnyak@ukr.net](mailto:artem_sopilnyak@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-3067-0529

**Аннотация. Постановка проблемы.** Рост темпов жилищного строительства обусловил широкое применение индустриальных конструкций, в том числе различных многослойных стеновых панелей и блоков, изготовленных с применением легких бетонов. Экспериментальному изучению работы таких конструкций посвящены труды [1-5]. При знании особенностей разных видов бетонов, оптимальный выбор которых может принести не только сиюминутную выгоду, но и обеспечить энергоэффективное жилье из долговечных материалов. Существенным показателем таких конструкций является малый удельный вес, что значительно снижает не только нагрузку на несущие конструкции здания, но и затраты на доставку на стройплощадку. **Цель.** Проведение анализа результатов испытаний опытных трехслойных железобетонных балок с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона на трещиностойкость и прочность сечений, наклонных к продольной оси элемента. **Вывод.** При испытании образцов наблюдалось образование часто расположенных наклонных трещин в среднем слое приопорных зон, что означало, что более прочные наружные слои создавали сопротивление развитию образовавшихся наклонных трещин и увеличивали несущую способность. Усилия образования наклонных трещин для трехслойных балочных образцов со средним слоем из полистиролбетона уменьшались с увеличением пролета среза. Коэффициент  $\varphi_{в4}$  для трехслойных элементов оказался заниженным по сравнению с экспериментальным.

**Ключевые слова:** трехслойная железобетонная балка, испытание, трещиностойкость.

## RESULTS OF TESTS OF EXPERIMENTAL THREE-LAYER REINFORCED CONCRETE BEAMS ON THE MOMENT OF CRACKING

СОПІЛЬНЯК А. М.<sup>1\*</sup> assistant.

<sup>1\*</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [artem\\_sopilnyak@ukr.net](mailto:artem_sopilnyak@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-3067-0529

**Summary. Raising of problem.** Construction of residential buildings increases. In the construction of such buildings structures, which are manufactured at the plant, are used. Such constructions are multi - layer wall panels and blocks with the use of lightweight concrete. The experimental studies of these wall panels are described in the works [1-5]. Different types of concrete have their own characteristics. The optimal selection of different concretes strength and density can provide energy efficient dwelling of durable materials. An important indicator of these structures is their low weight, which significantly reduces the load on the bearing structures of the building and delivery costs to the construction site. **Purpose.** The analysis of results of tests of experimental three-layer reinforced concrete beams with insulating layer of polystyrene concrete on the moment of cracking and the strength of the cross sections, inclined to the longitudinal axis of the element. **Conclusion.** During the test appearance of often located inclined cracks was observed in the middle layer in the support zone of the samples. This means that more durable outer layers create resistance to development of inclined cracks and increase carrying capacity. Force of inclined cracks appearance for sandwich beam specimens with a middle layer of polystyrene concrete decreased with the increase of the shear span. The coefficient  $\varphi_{B4}$  of the concrete of three-layer beams were lower than the experimental.

**Key words:** three-layer reinforced concrete beam, testing, durability, crack resistance.

**Введение.** Рост темпов жилищного строительства и введение новых норм термического сопротивления ограждающих конструкций обусловил широкое применение индустриальных конструкций, в том числе различных многослойных стеновых панелей и блоков, изготовленных с применением легких бетонов. Экспериментальному изучению работы таких конструкций посвящены труды [1-5].

Каждый из видов бетонов имеет свои особенности. Определенное их сочетание в ограждающей конструкции может принести не только сиюминутную выгоду, но и обеспечить энергоэффективное жилье из долговечных материалов.

Существенным показателем таких конструкций является малый удельный вес, что значительно снижает не только нагрузку на несущие конструкции здания, но и затраты на доставку на стройплощадку.

**Цель статьи.** Анализ результатов испытаний опытных трехслойных железобетонных балок с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона на трещиностойкость и прочность сечений, наклонных к продольной оси элемента.

**Изложение материала.** По технологии [6] изготовлено четыре серии балочных образцов (рис. 1) длиной 250 см при расчетном пролете 220 см, высотой 30 см и шириной 16 см [9]. Наружные слои выполнены из тяжелого бетона, толщиной 5 см и 7 см, а средний слой - из полистиролбетона, толщиной 18 см. Рабочая и распределительная арматура образцов выполнена из проволоочной арматуры класса Вр-I диаметром 4 мм.

Балочные образцы 1-й и 2-й серий запроектированы из условия разрушения в средней части пролета по сечениям, нормальным к продольной оси, в количестве 2 и 3 штук, соответственно. В балочных образцах 1-й серии установлена поперечная арматура в виде хомутов.

Остальные серии балочных образцов предназначены для изучения прочности наклонных сечений, по 3 штуки в каждой. Образцы этих серий полностью идентичны между собой, а отличие их при проведении экспериментов будет заключаться в пролете среза – расстоянии от опор до сосредоточенной нагрузки:  $h_0$  и  $1,5h_0$  (283 мм и 425 мм).



Рис. 1. Опытные образцы трехслойных балок / Prototypes of sandwich beams

Разработано методику проведения экспериментальных исследований подготовленных балок-образцов. Для их испытания был собран стенд, общий вид которого представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Общий вид стенда для испытания балочных образцов в лабораторных условиях / General view of the test bench for beam specimens in the laboratory

Схема расположения приборов при испытаниях приведены на рисунке 3.

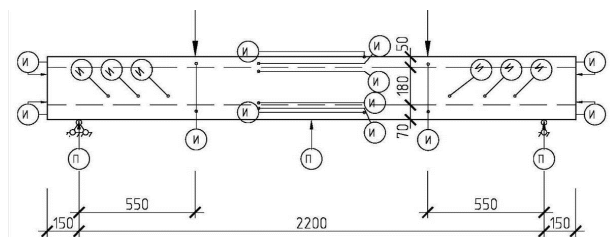


Рис. 3. Схема расстановки приборов на балочных образцах 1-й и 2-й / The plan for the devices on the beam patterns of the 1st and 2nd

Для оценки напряженно-деформированного состояния трехслойных балочных образцов с монолитной связью слоев на каждом этапе загрузки в середине их пролета индикаторами измеряли деформации бетона.

В приопорных зонах балок измеряли деформации бетона среднего слоя индикаторами расположенными под углом  $45^\circ$  к продольной оси балок с целью определения деформаций в направлениях главных растягивающих и сжимающих напряжений.

Прогибы трехслойных балок измеряли прогибомерами системы Максимова. Их устанавливали в центре пролета и на опорах для исключения их осадок.

При проведении испытания балочных образцов визуально было зафиксировано образование наклонных трещин, которое подтверждается показаниями индикаторов. На графике «поперечная сила - деформации» с появлением трещин имеет место ускоренное приращение деформаций по направлению действия главных растягивающих напряжений. Нагрузки образования наклонных трещин зафиксированные при испытаниях отражены на графике «поперечная сила – деформации» (рис.4.)

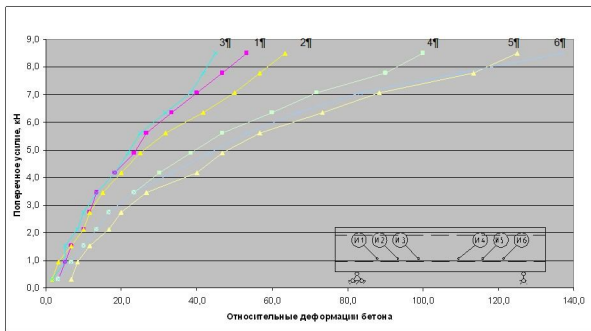


Рис.4. Деформации по направлению главных растягивающих напряжений замеренные индикаторами в приопорных зонах балочного образца Б-2-2 / Deformation in the direction of the principal tensile stresses measured indicators in beam sample Б-2-2

Усилия образования наклонных трещин при одинаковых пролетах среза для трехслойных балочных образцов со средним слоем из полистиролбетона уменьшались с увеличением пролета среза. Такая же тенденция характерна и для разрушающей нагрузки (рис.5.).

Для всех испытаний образцов характерно образование нескольких часто расположенных наклонных трещин в среднем слое приопорных зон. Очевидно, более прочные наружные слои создавали сопротивление развитию образовавшихся наклонных трещин, что приводило к появлению новых и увеличению их количества в пределах среднего слоя. В результате несущая способность трехслойных элементов возрастала.

В образцах без поперечной арматуры наибольшее раскрытие и развитие имела одна критическая

трещина, по которой в дальнейшем и происходило разрушение. В балках с пролетами среза  $h_0$  и  $1,5h_0$  критическая наклонная трещина развивалась по направлению «опора-груз». С увеличением пролета среза до  $2h_0$  она становилась более пологой, а у растянутой грани она переходила в горизонтальную, следующую вдоль контакта нижнего и среднего слоев к опоре.

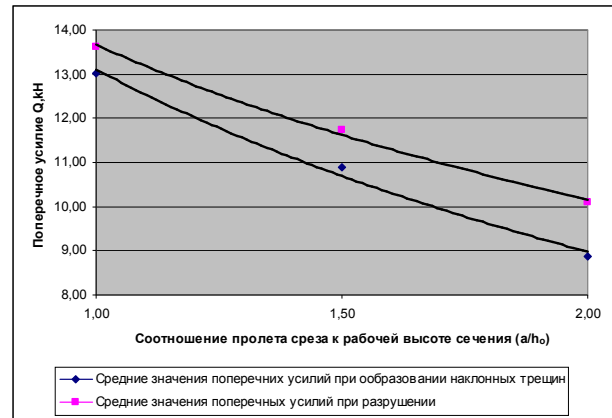


Рис.5. Нагрузки образования наклонных трещин и разрушения трехслойных образцов без поперечной арматуры / Load the formation of inclined cracks and destruction of sandwich specimens without shear reinforcement

Разрушение трехслойных образцов без поперечной арматуры по наклонным сечениям происходило при нагрузках, превышающих нагрузки образования наклонных трещин на 4%, 7% и 12%, соответственно для пролетов среза  $h_0$ ,  $1,5 h_0$  и  $2h_0$  (рис.5).

В СНиП [8] расчет изгибаемых элементов без поперечной арматуры производится по усилию образования критической наклонной трещины из условия

$$Q = \frac{\varphi_{b4} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{c},$$

но не более  $Q \leq 2,5 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0$  и не менее

$$Q \leq \varphi_{b3} \cdot (1 + \varphi_n) \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0.$$

Значения коэффициентов  $\varphi_{b4}$  и  $\varphi_{b3}$  принимаются в зависимости от вида бетона: для тяжелого бетона соответственно 1,5 и 0,6, а для легкого 1,0 и 0,4.

Данное условие, учитывая влияние прочности и вида бетона, пролет среза на усилие образования наклонных трещин, не отражает особенности конструктивного сечения элемента, в частности влияние более прочных наружных слоев из тяжелого бетона в трехслойных элементах монолитного сечения со средним малопрочным теплоизоляционным слоем.

По выше приведенному условию был выполнен расчет опытных трехслойных образцов со средним слоем из полистиролбетона с использованием прочности на растяжение бетона среднего слоя (табл.1).

Как видно из данных таблицы 1 значение эмпирического коэффициента  $\varphi_{b4}$  по СНиП [8] для трехслойных элементов оказалось слишком занижено по сравнению с полученными экспериментальными значениями. Поэтому для данного типа конструкций значение коэффициента  $\varphi_{b4}$  было откорректировано и принято равным 5.

При анализе опытных данных полученных при испытании трехслойных образцов было замечено явление сдерживания внешними слоями из более прочного бетона развития наклонных трещин в среднем слое, тем самым повышая их несущую способность по наклонным сечениям. Что является положительной чертой характера работы трехслойных железобетонных элементов с монолитной связью слоев, по сравнению с однослойными. В связи с этим актуальным будет введение в формулу для определения прочности наклонных сечений по СНиП [8] коэффициента  $\alpha_1$  (см. формула 1), который отразит величину увеличения несущей способности. А численно он может зависеть от соотношения прочности слоев бетона, а также их толщин. Но так как в проведенных исследованиях данной работы этот вопрос не изучался, значение коэффициента  $\alpha_1$  было принятым 1, а потом было определено по экспериментальным данным.

При проверке прочности испытанных трехслойных образцов по наклонной сжатой полосе также был введен коэффициент  $\alpha_2=1$  (см. формула 2), которых может зависеть от конструктивных особенностей трехслойного сечения. Несущая способность трехслойных образцов определенная теоретическим путем по формуле 2 была явно ниже фактической (см. табл. 3.2).

$$2,5 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0 \geq Q = \frac{\alpha_1 \cdot \varphi_{b4} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{a} \geq \varphi_{b3} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0 \quad (1)$$

$$Q \leq 0,3 \cdot \alpha_2 \cdot \varphi_{w1} \cdot \varphi_{b1} \cdot R_b \cdot b \cdot h_0 \quad (2)$$

Значения поперечных усилий полученных при разрушении в ходе испытания образцов, а также полученные теоретическим путем по формулам 1 и 2 СНиП представлены в таблице 2

Расчет прочности наклонных сечений по [7] без поперечной арматурой начинается с определения расчетной величины сопротивления сдвига:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d_{HO}$$

не менее  $V_{Rd,c} = (V_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$

Расчетная величина сопротивления сдвига равна 2,14кН и не менее 1,19кН.

Несущая способность на поперечные усилия по формуле

$$V_{ed} \leq 0,5 \cdot b_w \cdot v \cdot f_{cd}$$

равна 3,36 кН.

**Выводы.** При испытании образцов наблюдалось образование часто расположенных наклонных трещин в среднем слое приопорных зон, что означало, что более прочные наружные слои создавали сопротивление развитию образовавшихся наклонных трещин и увеличивали несущую способность.

Усилия образования наклонных трещин при одинаковых пролетах среза для трехслойных балочных образцов со средним слоем из полистиролбетона уменьшались с увеличением пролета среза.

Коэффициент  $\varphi_{b4}$  для трехслойных элементов оказался заниженным по сравнению с экспериментальными.

Таблица 1

Усилия образования наклонных трещин определенных по СНиП [8] и сопоставление их с опытными значениями / Education efforts inclined cracks

Шифр балочного образца	a/h <sub>0</sub>	R <sub>bt</sub> , Мпа	Усилия образования наклонных трещин			φ <sub>b4</sub> exp	φ <sub>b4</sub> exp среднее
			Q <sub>exp.тр.</sub> , кН	Среднее Q <sub>exp.тр.</sub> , кН/%	по СНиП 2.03.01-84* при φ <sub>b4</sub> =1,0, кН/%		
Б-1-1	2	0,07	6,85	7,86 / 100	1,59 / 20,24	4,96	
Б-1-2			8,86				
Б-2-1	2		8,86	8,86 / 100	1,59 / 17,94	5,59	
Б-2-2			8,14				
Б-2-3			9,59				
Б-3-1	1,5		9,18	10,89 / 100	2,11 / 19,37	5,16	
Б-3-2			11,03				
Б-3-3			12,47				
Б-4-1	1		13,42	13,03 / 100	3,17 / 24,33	4,11	
Б-4-2			12,11				
Б-4-3		13,55					

Экспериментальные и теоретические значения разрушающих нагрузок по наклонным сечениям  
/ Experimental and theoretical values of the failure loads of oblique sections

Шифр балочного образца	a/h <sub>0</sub>	R <sub>b</sub> , МПа R <sub>bt</sub> , Мпа	Разрушающая нагрузка, кН/%								
			Q <sub>exp</sub> , кН	Среднее Q <sub>exp</sub> , кН	Формула 1	α <sub>1</sub>	Формула 1	α <sub>1</sub>	Формула 2	α <sub>2</sub>	
					при φ <sub>в4</sub> =1		при φ <sub>в4</sub> =5				
Б-1-1	2	0,25 0,07	8,55	9,13/100	1,59/17	5,67	7,92/87	1,15	3,38/37	2,7	
Б-1-2			9,71								
Б-2-1	2		10,43	10,11/100	1,59/16	6,38	7,92/78	1,28	3,38/33	2,99	
Б-2-2			9,95								
Б-2-3			9,95								
Б-3-1	1,5		10,24	11,73/100	2,11/18	7,40	10,57/90	1,48	3,38/29	3,47	
Б-3-2			12,11								
Б-3-3			12,83								
Б-4-1	1		13,77	13,63/100	3,17/23	8,60	15,85/116	1,72	3,38/25	4,03	
Б-4-2			12,83								
Б-4-3		14,27									
			α <sub>1</sub> <sup>ср</sup> =		7	α <sub>1</sub> <sup>ср</sup> =		1,4	α <sub>2</sub> <sup>ср</sup> =		3,3

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Стронгин Н. С. Легкобетонные конструкции крупнопанельных, жилых домов / Н. С. Стронгин, Д. К. Баулин. — М. : Стройиздат, 1984. — 184 с.

Strongin N. C. Lightweight concrete construction of large-panel residential buildings / N. S. Strongin, D. K. Baulin. - M. : Stroizdat, 1984. - 184 p.

2. Dall D. Durisol. Lightweight Precast Concrete / Dall D. Durisol // Paper trade. - 1950. - Vol. 130. - № 23.

Dall D. Durisol. Lightweight Precast Concrete / Dall D. Durisol // Paper trade. - 1950. - Vol. 130. - № 23.

3. Эпп А. Я. Ограждающие конструкции безопалубочного формования из керамзитобетона / А. Я. Эпп, Р. В. Сакаев, В. В. Чижевский и др. // Развитие производства и применения легких бетонов и конструкций из них, в том числе с использованием промышленных отходов: тез. докл. III Всесоюз. конф. По легким бетонам. - М. : Стройиздат, 1985. - С. 65.

Epps A. J. Walling without shuttering forming of claydite-concrete / A. J. Epp, P. C. Sakaev V. A. Chizhevsky, etc. // Development of production and application of light-weight concrete and structures, which use industrial waste: abstracts. III all-Union conference on lightweight concretes. - M. : Stroizdat, 1985. - p. 65.

4. Вайнтштейн М. З. Двухслойные наружные ограждающие конструкции из легкого бетона, изготавливаемые в один прием формования / М. З. Вайнтштейн // Развитие производства и применения легких бетонов и конструкций из них, в том числе с использованием промышленных отходов: тез. докл. III Всесоюз. конф. по легким бетонам. - М. : Стройиздат, 1985. - С. 61-62.

Wainstein M. Z. Double-layer walling structures with lightweight concrete manufactured in a single molding

M. C. Winstein // Development of production and application of light-weight concrete and structures, which use industrial waste: abstracts. III all-Union conference on lightweight concretes. - M. : Stroizdat, 1985. - p. 61-62.

5. Король Е. А. Трехслойные ограждающие железобетонные конструкции из легких бетонов и особенности их расчета/ Е. А. Король.- М. : ABC, 2001. - 256 с. - (Монография)

Korol E. A. Three-layer walling reinforce concrete structures from light-weight concrete and features of their calculation/ E. A. Korol - M : ABC, 2001. - 256 p. - (Monograph)

6. Король Е. А. Совершенствование технологии изготовления трехслойных стеновых панелей с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона/ Е. А. Король, В. В. Полетаев// Передовой научно-производственный опыт, рекомендуемый для внедрения в строительстве объектов агропромышленного комплекса. Науч.-техн. информ. сб. Вып. - № 19. - М. - 1990. С 4 - 5.

Korol E. A. The improvement of manufacturing three-layer wall panels with insulating layer of polystyrene/ E. A. Korol, B. V. Poletaev // Advanced research and production experience, recommended for implementation in the construction of agro-industrial complex. Scientific and technical information collection. - №. 19. - M - 1990. p. 4 - 5.

7. ДБН В.2.6-98:2009. «Бетонні та залізобетонні конструкції» К.: Мінрегіонбуд України, 2009.

DBN B 2.6-98:2009. "Concrete and reinforced concrete structures", K.: the Ministry of regional development of Ukraine, 2009.

8. СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции» М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985.

SNiP 2.03.01-84 "Concrete and reinforced Concrete structures" M: CИTP of Gosstroy of the USSR, 1985.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Н. В. Савицким (Украина);  
д.т.н., проф. Е.А. Егоровым (Украина)

Статья поступила в редколлегию 20.04.2015