

УДК 624.046:624.044:539.383:691.327:666.973.6
DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2023.42.3>

Постернак О.О.

к.т.н., доцент, доцент кафедри залізобетонних конструкцій і транспортних споруд,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

Кравченко С.А.

к.т.н., доцент, доцент кафедри залізобетонних конструкцій і транспортних споруд,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

Уразманова Н.Ф.

асистент кафедри архітектурних конструкцій
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

Агаєва О.А.

к.т.н., доцент, доцент кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд,
Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса

Столевич І.А.

к.т.н., доцент, доцент кафедри опору матеріалів
Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса,

РОБОТА СТІНОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ З КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО БЕЗАВТОКЛАВНОГО ПІНОБЕТОНУ В УМОВАХ ПОЗАЦЕНТРОВОГО СТИСКУ

***Анотація.** Значне подорожчання енергоносіїв призвело до зниження об'ємів будівництва. Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є розробка й впровадження нових ефективних, енергозберігаючих технологій будівельних матеріалів, виробів і конструкцій. У роботі виконане дослідження стінових елементів з конструкційно-теплоізоляційного безавтоклавного пінобетону в умовах позацентрового стиску. Визначений характер утворення і розвитку тріщин, а також руйнування одношарових стінових елементів з конструкційно-теплоізоляційного безавтоклавного пінобетону. Виконано оцінку впливу армування на несучу здатність таких елементів. При виконанні експерименту спостерігали й фіксували на моделях стінових елементів розвиток тріщин з метою дослідження характеру руйнування стінових елементів з конструкційно-теплоізоляційного безавтоклавного пінобетону. Моделі стінових елементів руйнувалися наступним чином: на бічній поверхні більш навантаженої грані спостерігалася поява й розвиток вертикальних тріщин у середній і приопорній ділянках зразка, які ставали надалі магістральними. На торцевих гранях тріщини розвивалися менш інтенсивно. Вертикальні тріщини розвивалися переважно в приопорних ділянках ближче до більш навантаженої грані зразка. На менш навантаженої грані тріщини практично не виникали. Для вивчення впливу армування проаналізовано величини відносних погіршень несучої здатності моделей стінових елементів і коефіцієнта α , використовуваного при розрахунках пінобетонних стінових елементів на дію стискаючої поздовжньої сили.*

***Ключові слова:** ніздрюватий бетон, конструкційно-теплоізоляційний безавтоклавний пінобетон, стінові елементи, тріщини, руйнування.*

Постановка проблеми. Досвід застосування виробів і конструкцій з ніздрюватих бетонів у будівництві показує, що в основі їх виробництва лежить енергозберігаюча тех-

нологія, а за будівельно-експлуатаційними показниками ніздрюватобетонні вироби і конструкції відносяться до високоефективних. Значне подорожчання енергоносіїв призвело

до зниження обсягів будівництва. Одним з можливих шляхів виходу з тривалого будівельного спаду є розробка й впровадження нових ефективних, енергозберігаючих технологій будівельних матеріалів, виробів і конструкцій. Найбільш перспективними конструкційно-теплоізоляційними виробами й конструкціями, визнаними будівельниками в більшості країн Європи, є вироби і конструкції з ніздрюватих бетонів, зокрема і з конструкційно-теплоізоляційного безавтоклавного пінобетону (далі по тексту КТ НПБ) [1...4]. Найпоширенішими конструкціями з цього матеріалу є стінові елементи, розрахунки яких виконуються згідно норм [5].

В умовах енергетичної кризи теплозахисні властивості конструкційно-теплоізоляційного безавтоклавного пінобетону мають першочергове значення, оскільки витрати на утримання будинків при постійно зростаючій вартості енергоресурсів усе більше визначаються витратами на опалення й кондиціювання. Ця обставина дозволяє віднести КТ НПБ до стратегічного матеріалу в питаннях енергозбереження.

Теплопровідність КТ НПБ в 3...4 рази менше, ніж теплопровідність цегли, і в 5...7 раз менше ніж керамзитобетону; його застосування дозволяє зводити одношарові зовнішні стіни товщиною у 0,4...0,5 м, у всіх кліматичних зонах України. За теплотехнічними показниками такі зовнішні стіни відповідають сучасним вимогам енергозбереження у знов зведених будинках, що дозволяє скоротити масу стін в 2...4 рази. Сам КТ НПБ має унікальні властивості, а за шкалою комфортності будівельних матеріалів займає після дерева друге місце [2,3].

Аналіз останніх досліджень. Дослідженнями ніздрюватих бетонів, зокрема конструкційно-теплоізоляційного безавтоклавного пінобетону останнім часом займаються у багатьох країнах Європи, Канаді, Малайзії.

Відомо, що міцність ніздрюватого бетону залежить від міцності міжпорових перегородок і загальної пористості. Також на міцність ніздрюватого бетону виявляють вплив характеристики порової структури – розмір гнізд і їх статистичний розподіл по розмірах. При дрібних порах (менш 0,5-1 мм) ніздрювата структура відрізняється більшою сполученістю гнізд і стає близькою до великокапілярної. У цілому це приводить до падіння міцності ніздрюватого бетону. При вели-

копоровій будові велике значення набуває масштабний фактор і неоднорідність порового складу ніздрюватого бетону, які також приводять до зниження міцності. Структура ніздрюватого бетону подібна стільниковій, з порожнечами різного розміру (сферичної або овальної форми) при цьому товщина стінок між порами менше радіуса порожнин. У результаті зусилля передаються вертикальними стінками в місцях їх перетинання зі стінками суміжного ярусу. Створюється складний напружений стан, у вертикальних стінках виникають крім нормальних стискаючих напруг значні сколюючі напруження. Наявність в елементах стільникової структури деформацій стиску й зрушення пояснює той факт, що руйнування ніздрюватого бетону відбувається, коли деформації перевищують граничні деформації матеріалу в щільному стані при однорідному стиску. Таким чином, критерієм руйнування структури може бути досягнення напруженнями межі міцності матеріалу при стиску або досягнення головними розтягувальними напруженнями в міжпорових перегородках межі міцності матеріалу при розтяганні. Обидва види руйнування пов'язані з появою тріщин у площинах, паралельних напрямку дії стискаючої сили. Крім того, мають місце й "придбані" дефекти (технологічні) – тріщини й мікротріщини, що виникають під час формування виробів, тепловологісної обробки або експлуатації. Вони створюють додаткову концентрацію напружень і є зародками руйнування. Процес руйнування ніздрюватого бетону починається з розриву елементарних хімічних зв'язків і закінчується руйнуванням мембран і їх сукупностей у результаті утворення й розвитку тріщин.

Мета роботи. Метою статті є дослідження характеру утворення і розвитку тріщин, а також руйнування одношарових стінових елементів з КТ НПБ, що працюють в умовах позацентрового стиску, а також оцінці впливу армування на несучу здатність таких елементів.

Результати досліджень. Об'єктом дослідження є стінові елементи з КТ НПБ, більшість яких працює в умовах позацентрового стиску. На думку авторів, їх робота вивчена в недостатньому ступені, оскільки дослідження стінових елементів з даного виду ніздрюватого бетону виконувалися лише при умовному центральному стиску [6, 7].

В експерименті в якості в'язучого застосовувався портландцемент марки ПЦ I – 500. В якості наповнювача прийнятий дрібний кварцовий пісок з різною питомою поверхнею $S_y = 200, 400$ і 600 м²/кг, попередньо розмелений у кульовому млині (табл. 1). Як заповнювач для дослідних зразків застосовувався річковий пісок, а в якості піноутворювача – ПБ-2000.

Для дослідження напружено-деформованого стану експериментальних моделей стінових елементів використовувалися дротяні тензорезистори на паперовій основі з базою 50 мм (ТР1...ТР60), які підключалися до автоматизованого комплексу. Для додаткового виміру зазначених деформацій з метою контролю на бічні грані моделі встановлювали індикатори годинникового типу: Т1, Т2, Т5, Т6 на базі 400 мм із ціною поділки 0,01 мм (поздовжні деформації), Т3, Т4, Т7, Т8 на

базі 600 мм із ціною поділки 0,001 мм (поперечні деформації). Для контролю горизонтального зсуву моделей із площини (прогин у горизонтальному напрямку) по вертикальній осі бічної грані встановлювали прогиноміри П1...П3 із ціною поділки 0,01мм. Під час витримки зразка під навантаженням, аж до руйнування, велося візуальне спостереження за тріщинами. Їх поява і ширина розкриття фіксувалась за допомогою переносного мікроскопу МПБ-2 з 24-х кратним збільшенням.

Дослідні моделі стінових елементів (рис. 1, табл. 2) армувалися звареними просторовими каркасами з арматурного дроту класу Вр-1 діаметром 4 мм (СП – 1_А...СП – 11_А) і арматури гладкого профілю класу А240С діаметром 6 мм (СП – 1_Б...СП – 11_Б). При цьому моделі стінових елементів у поздовжньому напрямку армувалися п'ятьма стрижнями

Таблиця 1. Умови планування експерименту

Фактори		Рівні варіювання			Інтервал зміни
Натуральний вид	Кодований вид	-1	0	+1	
Кількість наповнювача (Н), %	X_1	5	10	15	5
Дисперсність наповнювача (S_y), м ² /кг	$(W_1; W_2; W_3)$	200	400	600	200

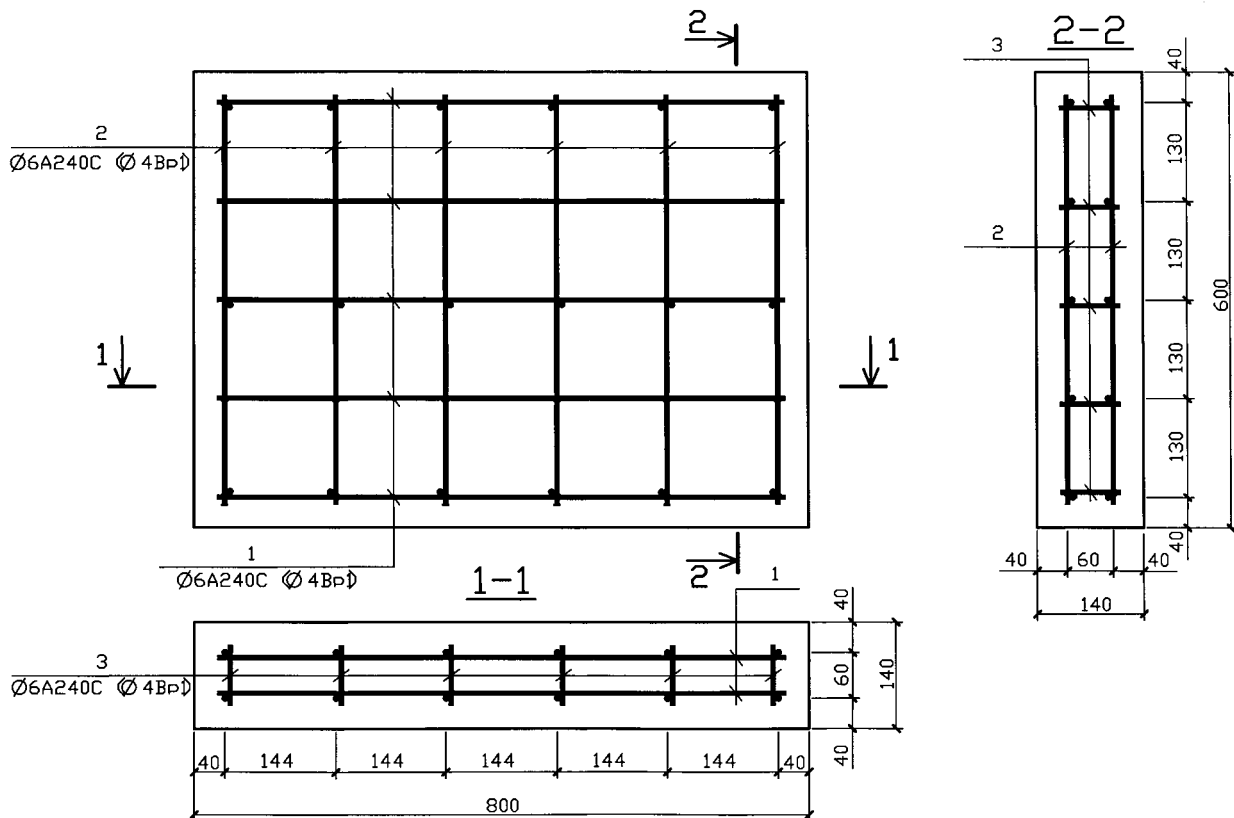


Рис. 1. Схема армування дослідних зразків – моделей стінових елементів

з кроком 130 мм, а в поперечному – шістьма стрижнями з кроком 144 мм.

Для вивчення впливу армування слід проаналізувати величини відносних погрішностей несучої здатності моделей стінових елементів і коефіцієнта α , використовуюваного при розрахунках пінобетонних стінових елементів на дію стискаючої поздовжньої сили.

Відносна погрішність між величинами несучої здатності моделей стінових елементів з різним армуванням СП1_А...СП11_А (Ø4Вр – 1; $\rho_f=0,14$) і СП1_Б...СП11_Б (Ø6А240С; $\rho_f=0,30$) змінюється в межах 0,47...3,99% і представлена в табл. 3.

При цьому для всіх дослідів, крім дослідів № 4 ($\epsilon_{N_{exp}}=3,99\%$), зміна відносних погрішностей складала 0,47...2,68%, отже, вплив конструктивного армування малий, як при зміні кількості й дисперсності наповнювача (досліди №№ 1...10) так і без застосування наповнювача (дослід № 11 – 1,13%).

Відносна погрішність між величинами коефіцієнта α моделей стінових елементів з різним армуванням СП1_А...СП11_А і СП1_Б...СП11_Б змінюється в межах 0,49...3,34% і представлена в табл. 2.

При цьому для всіх дослідів, крім дослідів №№ 4...6 ($\epsilon_{\alpha_{exp}}=3,08...3,34\%$), зміна відносних погрішностей складала 0,49...2,42%, отже, вплив

конструктивного армування малий, як при зміні кількості наповнювача і його дисперсності (досліди №№ 1...10) так і без застосування наповнювача (дослід № 11 – 0,65%).

При виконанні експерименту спостерігали й фіксували на моделях стінових елементів розвиток тріщин з метою дослідження характеру руйнування стінових елементів із КТ НПБ. Моделі стінових елементів (рис. 2) руйнувалися таким чином: на бічній поверхні більш навантаженої грані спостерігалася поява й розвиток вертикальних тріщин у середній і приопорній ділянках зразка, які ставали надалі магістральними. На торцевих гранях тріщини розвивалися менш інтенсивно. Вертикальні тріщини розвивалися переважно в приопорних ділянках ближче до більш навантаженої грані зразка. На менш навантаженої грані тріщини практично не виникали.

Висновки. Визначено, що руйнування всіх стінових елементів відбулося в результаті вичерпання несучої здатності КТ НПБ у середній або приопорній зоні. Проведений аналіз дозволяє укласти, що спочатку руйнування носить локальний характер, а надалі, з ростом навантаження, відбувається дуже швидко "лавинне" об'єднання тріщин, що пояснюється високою структурно-механічною неоднорідністю бетону. Перші видимі

Таблиця 2. Характеристики дослідних зразків – моделей стінових елементів

Найменування	Позначення	Од. вим.	Величина
Захисний шар бетону	a	мм	40
Коефіцієнт армування СП-1 _А ...СП-11 _А	μ_s	%	0,14
Коефіцієнт армування СП-1 _Б ...СП-11 _Б			0,30

Таблиця 3. Величини відносних погрішностей за коефіцієнтом α і несучої здатності моделей стінових елементів

№ дослідів	$N_A^{exp}, Н$	$N_B^{exp}, Н$	$\epsilon_{N_{exp}}(A-B), \%$	α_A^{exp}	α_B^{exp}	$\epsilon_{\alpha_{exp}}(A-B), \%$
1	313000	305000	2,56	0,831	0,814	2,05
2	488000	498000	2,01	0,800	0,804	0,50
3	422000	424000	0,47	0,876	0,886	1,13
4	451000	433000	3,99	0,853	0,826	3,16
5	348000	339000	2,59	0,868	0,839	3,34
6	290000	298000	2,68	0,818	0,843	3,08
7	149000	151000	1,32	0,805	0,809	0,49
8	383000	390000	1,80	0,943	0,960	1,77
9	344000	338000	1,74	0,825	0,805	2,42
10	312000	316000	1,27	0,932	0,954	2,31
11	355000	351000	1,13	0,764	0,759	0,65

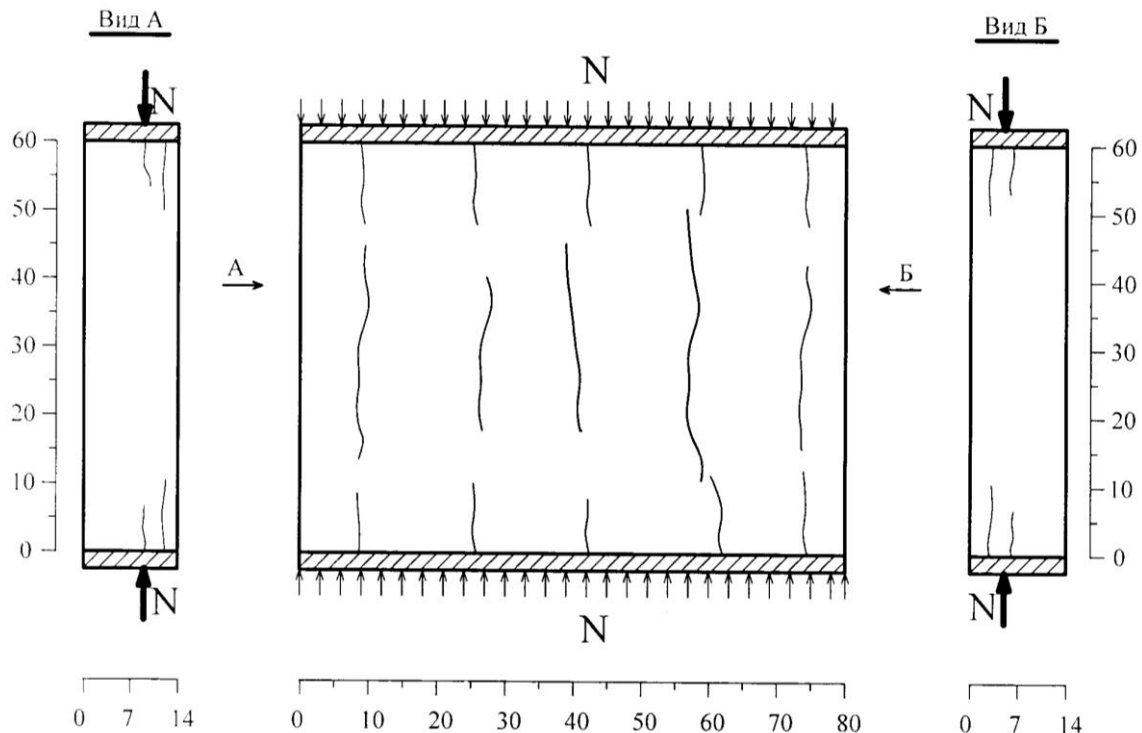


Рис. 2. Схема руйнування моделей стінових елементів, що працюють в умовах позacentрового стиску

тріщини виникли при навантаженнях 0,71-0,8 від руйнуючого.

Аналіз впливу армування, при різному виді арматурного прокату й коефіцієнті армування, показав, що відносні зміни по несучій

здатності (до 3,99%) і коефіцієнту α (до 3,34%) не мають істотного впливу, отже, несуча здатність і коефіцієнт α залежать від кількості й дисперсності мінерального наповнювача і не залежить від армування.

Література

1. Позняк О. Р. Виробництво, властивості і застосування газобетону неавтоклавного тверднення / О. Р. Позняк, В. М. Мельник, І. О. Завадський, А. Я. Мельник. *Вісник Нац. ун-ту Львівська політехніка. Теорія і практика будівництва*. 2017. № 877. С. 160–166.
2. Саницький М. А. Енергозберігаючі технології в будівництві : навч. посібник / М. А. Саницький, О. Р. Позняк, У. Д. Марущак. Львів. Видавництво Львівської політехніки. 2013. 236 с.
3. Опекунов В. В. Пористі композиційні матеріали та їх використання у будівництві. К., Академія будівництва України. 2006. 85 с.
4. Namsone E. Durability Properties of High Performance Foamed Concrete / E. Namsone, G. Sahmenko, A. Korjakins. *Procedia Engineering*. 2017. N. 172. P.760–767.
5. Посібник з проектування бетонних і залізобетонних конструкцій з ніздрюватих бетонів / НДІЗБ. 1986. 92 с.
6. Постернак О.О. Стінові конструкції з конструкційно-теплоізоляційного безавтоклавного пінобетону для малоповерхового будівництва. О.О. Постернак, А.І. Костюк. *Вісник ОДАБА*. 2016. Вип. 61. С. 353–357.
7. Постернак О.О. Пінобетонні стінові елементи для малоповерхового будівництва. О.О. Постернак, А.І. Костюк, С.А. Кравченко. *Збірник тез доповідей 78-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу академії*. Одеса. ОДАБА. 2022. С. 75.

References

1. Pozniak O. R. Vyrobnystvo, vlastyvoli i zastosuvannia hazobetonu neavtoklavnoho tverdnennia / O. R. Pozniak, V. M. Melnyk, I. O. Zavadskyi, A. Ya. Melnyk. *Visnyk Nats. un-tu Lvivska politekhnika. Teoriia i praktyka budyvnystva*. 2017. № 877. S. 160–166.
2. Sanytskyi M. A. Enerhozberihaiuchi tekhnolohii v budyvnytsvi : navch. posibnyk / M. A. Sanytskyi, O. R. Pozniak, U. D. Marushchak. Lviv. *Vydavnytsvo Lvivskoi politekhniky*. 2013. 236 s.
3. Opekunov V. V. Porysti kompozysytsiini materialy ta yikh vykorystannia u budyvnytsvi. K., Akademiia budyvnytsva Ukrainy. 2006. 85 s.
4. Namsone E. Durability Properties of High Performance Foamed Concrete / E. Namsone, G. Sahmenko, A. Korjakins. *Procedia Engineering*. 2017. N. 172. P. 760–767.

5. Posibnyk z proektuvannia betonnykh i zalizobetonnykh konstruksii z nizdriuvatykh betoniv / NDIZB. 1986. 92 c.
6. Posternak O.O. Stinovi konstruksii z konstruksiino-teploizoliatsiinoho bezavtoklavnoho pinobetonu dlia malopoverkhovoho budivnytstva. O.O. Posternak, A.I. Kostiuk. *Visnyk ODABA*. 2016. Vyp. 61. S. 353–357.
7. Posternak O.O. Pinobetonni stinovi elementy dlia malopoverkhovoho budivnytstva. O.O. Posternak, A.I. Kostiuk, S.A. Kravchenko. *Zbirnyk tez dopovidei 78-yi naukovo-tikhnichnoi konferentsii profesorsko-vykladatskoho skladu akademii*. Odesa. ODABA. 2022. S. 75.

WORKING OF STRUCTURAL AND HEAT-INSULATING NON-AUTOCLAVED FOAM CONCRETE WALL ELEMENTS UNDER CONDITIONS OF NONCENTRIC COMPRESSION

Abstract. *A significant rise in cost of energy carrier has led to a decline in construction volumes. One of the way of solving this problem is development and implement of new efficient, energy-saving technologies for building materials, products and structures. In the work, a research of wall elements made of structural and heat-insulating non-autoclaved foam concrete under conditions of noncentric compression was performed. The nature of the cracks formation and development and the destruction of single-layer wall elements made of structural and heat-insulating non-autoclaved foam concrete is determined. The impact of reinforcement on the bearing capacity of such elements was done. During the experiment, the development of cracks on models of wall elements was observed and fixed in order to study the nature of the destruction of wall elements made of structural and heat-insulating non-autoclaved foam concrete. The models of wall elements were destroyed as follows: on the lateral surface of the more loaded face, the appearance and development of vertical cracks was observed in the middle and supporting sections of the sample, which later became main ones. Cracks developed less intensively on the end faces. Vertical cracks developed mainly in the supporting areas closer to the more loaded face of the sample. There were practically no cracks on the less loaded side. To study the influence of reinforcement, the values of the relative errors of the load-bearing capacity of the wall elements models and the coefficient α which used in the calculations of foam concrete wall elements on the action of compressive longitudinal force were analyzed.*

Key words: *cellular concrete, structural and heat-insulating non-autoclaved foam concrete, wall elements, cracks, destruction.*

Posternak O.O.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Reinforced Concrete Structures and Transport Facilities,
Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odessa

Kravchenko S.A.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Reinforced Concrete Structures and Transport Facilities,
Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odessa

Urazmanova N.F.

Assistant at the Department of Architectural Constructions,
Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odessa

Ahaieva O.A.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Reinforced Concrete Structures and Transport Facilities,
Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odessa

Stolevich I.A.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Strength of Materials, Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odessa