

УДК 69.056.6

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-42-49](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-42-49)**А.А. БЕСПАЕВ^{1,✉}, И.Д. ТЕШЕВ², Е.К. БЕКБАЕВ¹**¹ АО «КазНИИСА», 3 микрорайон, д. 44А, г. Алматы, 050062, Республика Казахстан² МХ «Инжиниринг». Алматы, Республика Казахстан

ПРОЧНОСТЬ ОБЪЕМНО–БЛОЧНЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ

Аннотация

Введение. Развитие крупных городов Республики Казахстан сопровождается возведением многоэтажных зданий из объемных блоков, при котором основные строительные процессы выполняются в заводских условиях, что обеспечивает автоматизацию производства, повышает его качество, сокращает сроки и сезонность работ, обеспечивает возможность применения эффективных строительных материалов, снижает стоимость строительства. В городе Астане построен завод объемно-блочного домостроения, выпускающий объемные блоки типа «лежачий стакан», на котором выполняется проверка основных типов объемных блоков для различных конструктивных решений зданий.

Цель. Проверка основных типов объемных блоков на действие вертикальных и горизонтальных нагрузок.

Материалы и методы. Испытания объемных блоков проводились на испытательном стенде, представляющем собой жесткую стержневую систему из переставных вертикальных и горизонтальных рам. Нагружение объемных блоков осуществлялось с помощью гидравлических домкратов мощностью по 200 тс через распределительную железобетонную плиту. В процессе испытаний замерялись сжимающие деформации бетона с помощью вертикальных тензодатчиков с базой 50 мм, горизонтальные и вертикальные перемещения стен и перекрытий – с помощью цифровых прогибомеров ПА0-6, а также ширина раскрытия трещин – с помощью микроскопа МПБ-3.

Результаты. В статье представлены результаты экс-

периментальных исследований напряженно-деформированного состояния натуральных объемных блоков типа «лежачий стакан» при совместном действии вертикальных и горизонтальных нагрузок, описаны последовательность образования и раскрытия трещин, распределение продольных деформаций и напряжений бетона по периметру стен, эпюры горизонтальных перемещений стен из плоскости, характер разрушения, а также даны рекомендации по ограничению этажности зданий.

Ключевые слова: трещиностойкость, деформации, напряжения, бетон, горизонтальные перемещения стен, прочность, объемные блоки

Для цитирования: Беспаяев А.А., Тешев И.Д., Бекбаев Е.К. Прочность объемно-блочных многоэтажных зданий при горизонтальных нагрузках // *Бетон и железобетон*. 2025. № 5 (630). С. 42–49. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-42-49](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-42-49). EDN: ZRDVPL

Вклад авторов

Беспаяев А.А. – руководство проектом.

Тешев И.Д., Бекбаев Е.К. – испытания и камеральная обработка данных.

Финансирование

Договор на научные исследования № 3.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 21.05.2025

Поступила после рецензирования 18.08.2025

Принята к публикации 21.08.2025

A.A. BESPÆEV^{1,✉}, I.D. TESHEV², E.K. BEKBAEV¹

¹ KazNIISA JSC, 3rd Microdistrict, 44A, Almaty, 050062, Republic of Kazakhstan

² MX "Engineering". Almaty, Republic of Kazakhstan

STRENGTH OF VOLUMETRIC-BLOCK MULTI-STOREY BUILDINGS UNDER HORIZONTAL LOADS

Abstract

Introduction. The development of large cities in the Republic of Kazakhstan is accompanied by the construction of multi-storey buildings from bulk blocks, in which the main construction processes are carried out in factory conditions, which ensures automation of production, improves its quality, reduces the timing and seasonality of work, provides the possibility of using effective building materials, reduces the cost of construction. A volumetric-block housing construction plant has been built in Astana, producing volumetric blocks of the "recumbent glass" type, that checks the main types of volumetric blocks for various structural solutions of buildings.

Aim. Checking the main types of volumetric blocks for vertical and horizontal loads.

Materials and methods. The volumetric blocks were tested on a test bench, which is a rigid rod system of adjustable vertical and horizontal frames. The volumetric blocks were loaded using hydraulic jacks with a capacity of 200 tons each through a reinforced concrete distribution plate. During the tests, compressive deformations of concrete were measured using vertical strain gauges with a base of 50 mm, horizontal and vertical movements of walls and floors using digital deflection meters PA0-6, as well as crack opening width using an MPB-3 microscope.

Results. The article presents the results of experimental studies of the stress-strain state of full-scale volumetric blocks of the "recumbent glass" type under the combined action of vertical and horizontal loads, describes the

sequence of formation and opening of cracks, the distribution of longitudinal deformations and stresses of concrete along the perimeter of walls, diagrams of horizontal movements of walls from the plane, the nature of destruction, and recommendations for limiting the number of buildings floors.

Keywords: crack resistance, deformations, stresses, concrete, horizontal wall movements, strength, bulk blocks

For citation: Bepaev A.A., Teshev I.D., Bekbaev E.K. Strength of volumetric-block multi-storey buildings under horizontal loads. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 5 (630), pp. 42–49. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-42-49](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-42-49). EDN: ZRDVPL

Authors contribution statement

Bepaev A.A. – project management.

Teshev I.D., Bekbaev E.K. – testing and desk data processing.

Funding

Research Agreement No. 3.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 21.05.2025

Revised 18.08.2025

Accepted 21.08.2025

В конце пятидесятих годов в Советском Союзе началось проектирование и строительство многоэтажных жилых зданий из железобетонных объемных блоков. Преимущества объемно-блочного строительства заключаются в переносе основных строительных процессов в заводские условия, что позволяет повысить качество строительства, автоматизировать производство, применять эффективные строительные материалы, снижает влияние сезонности работ, резко сокращает сроки строительства, существенно снижает стоимость строительства. Основные особенности объемно-блочных зданий связаны с повышенной гибкостью стеновых элементов, что сопровождается ранней потерей устойчивости стен. К недостаткам объемно-блочного домостроения следует отнести ограниченный объем экспериментально-теоретических исследований таких конструктивных систем. В городе Астане (Республика Казахстан) построен домостроительный завод «ModeX Astana», который изготавливает железобетонные объемные блоки типа «лежачий стакан» увеличенных размеров. Здание монтируется из столбов объемных модулей, опирающихся друг на друга через слой раствора. В процессе освоения технологии на заводе проведены контрольные испытания основных несущих конструкций объемно-блочных многоэтажных зданий, позволяющие совершенствовать технологию их изготовления и конструктивное решение с учетом применения современных материалов.

В статье приводятся результаты испытаний натурных объемных блоков, различающихся видом и прочностью бетона их армирования, позволяющие изучить особенности поведения объемных блоков при действии вертикальных и горизонтальных нагрузок.

Опытные образцы объемных блоков имели две боковые стены ребристой конструкции со стенкой толщиной 50 мм и ребрами высотой 100 мм, а также торцевую плоскую стену толщиной 100 мм. Плита пола объемного блока ребристая с полкой толщиной 80 мм и ребрами высотой 170 мм. Плита потолка объемного блока плоская со сбежкой толщиной 80–97 мм. Объемные блоки армированы пространственными каркасами и арматурными сетками из холоднокатанной проволоки $\varnothing$ 4–5 мм класса Y500C, объединенными в единый пространственный блок, а также дополнительной стержневой арматурой $\varnothing$ 12 S500. Наружные вставные стеновые панели многослойные, с несущим слоем из бетона, эффективным утеплителем и облицовочным слоем устанавливаются в виде фасадной системы.

Испытания объемных блоков проводились на испытательном стенде, представляющем собой жесткую стержневую систему из переставных вертикальных и горизонтальных рам. Нагружение объемных блоков осуществлялось с помощью гидравлических домкратов мощностью по 200 тс через распределительную железобетонную плиту. В процессе испытаний замерялись сжимающие деформации бетона с помощью вертикальных тензодатчиков с базой 50 мм, горизонтальные и вертикальные перемещения стен и перекрытий – с помощью цифровых прогибомеров ПА0-6, а также ширина раскрытия трещин – с помощью микроскопа МПБ-3.

Объемный блок № 1 изготовлен из керамзитобетона класса по прочности на осевое сжатие LC20/22 и марке по плотности D1800 с использованием дробленого керамзита и был испытан при равномерном сжатии объемного блока (рис. 1). При вертикальной нагрузке $N = 728,4$ тс наблюдалось



Рис. 1. Общий вид испытательного стенда с объемным блоком (фото авторов)
Fig. 1. General view of the test bench with a volumetric block (photo by the authors)

образование трещин по углам объемного блока, вертикальных трещин в перемычке над окном в стеновой панели и перемычке над дверным проемом в торцевой стене. При этом ширина раскрытия существующих технологических трещин увеличилась на 0,05 мм.

На рис. 2 представлена эпюра продольных деформаций бетона по периметру стен объемного блока при вертикальной нагрузке $N = 829,86$ тс. Величина вертикальных деформаций по длине продольных стен находилась в пределах $(26-61) \cdot 10^{-5}$ относительных единиц и в среднем составляла $(42-53) \cdot 10^{-5}$ относительных единиц. Деформации бетона в торцевой стене и стеновой панели были почти на 20 % меньше. При этой нагрузке ширина раскрытия трещин в перемычках достигала величины 0,05–0,10 мм, а ширина раскрытия трещин в продольных стенах находилась в пределах 0,10–0,25 мм.

Разрушение объемного блока произошло при вертикальной нагрузке $N = 1083,88$ тс, составляющей 76 % от разрушающей нагрузки, и вызывалось раздроблением верхней части продольной стены в зоне примыкания к стеновой панели при непрерывающемся росте горизонтальных деформаций стен из плоскости и образовании новых трещин. Ширина раскрытия трещин в перемычках достигала трещин 0,15–0,20 мм, а ширина раскрытия трещин в продольных стенах находилась в пределах 0,20–0,25 мм (рис. 3).

На рис. 4 представлены эпюры горизонтальных перемещений стен из плоскости объемного блока. Наибольшие перемещения верха продольных стен достигали 2,10–2,45 мм, перемещения торцевой стены составляли 3,08 мм, а стеновой панели – 4,24 мм. Увеличение перемещений практически линейно зави-

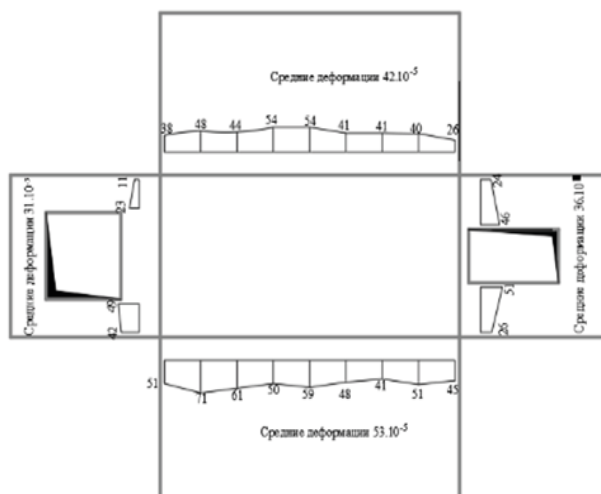


Рис. 2. Распределение деформаций сжатия бетона по периметру стен объемного блока № 1 при 76 % от разрушающей нагрузки

Fig. 2. Distribution of concrete compression deformations along the perimeter of the walls of volumetric block No. 1 at 76 % of the destructive load

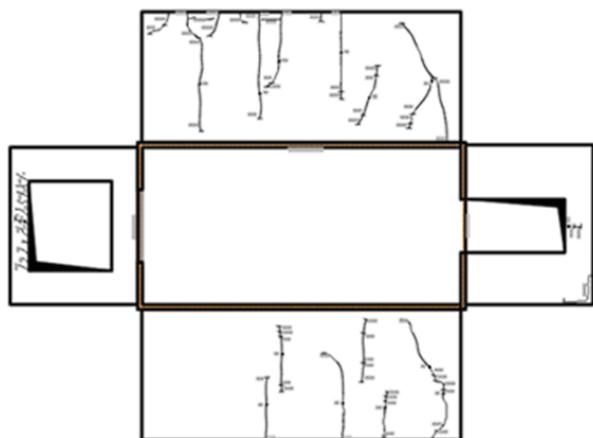


Рис. 3. Схема расположения трещин на развертке объемного блока № 1

Fig. 3. The layout of cracks on the sweep of volumetric block No. 1

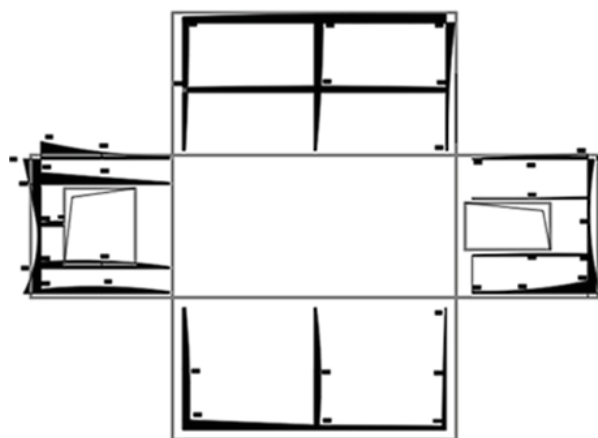


Рис. 4. Горизонтальные перемещения стен при разрушающей нагрузке

Fig. 4. Horizontal movement of walls under destructive load

село от вертикальной нагрузки, и лишь на последнем этапе нагружения наблюдалось резкое увеличение горизонтальных перемещений (депланация) стен (рис. 5). Средние сжимающие напряжения бетона в продольных стенах были равны 8,74 МПа, то есть составляли 43,7 % от прочности бетона. Средние сжимающие напряжения в бетоне продольных стен были равны 8,33 МПа, то есть составляли 41,7 % от прочности бетона. Опытная разрушающая нагрузка превышает контрольную разрушающую нагрузку для 16-этажных зданий в г. Астане на 4 %.

Испытание объемного блока № 2 проводилось при совместном действии вертикальных и горизонтальных нагрузок. Особое внимание заслуживают повышенные горизонтальные отклонения продольных стен, достигающие 2,32 мм, горизонтальные деформации торцевой стены достигали 1,06 мм, а стеновой панели – 0,38 мм. Вертикальные прогибы продольных стен составляли 2,68–3,06 мм, прогибы торцевой стены составляли 0,94 мм, прогибы стеновой панели – 0,8 мм. При этом не наблюдалось увеличения ширины раскрытия существующих трещин, за исключением продольной трещины в плите потолка с наклонными

трещинами на концах по линии излома прямоугольных плит, которая раскрылась до 0,30 мм (рис. 6).

При вертикальной нагрузке $N = 782,72$ тс, составляющей 49 % от разрушающей нагрузки, новых трещин не появилось, а ширина раскрытия существующих трещин увеличилась только в плите потолка до 0,40 мм, продольные деформации бетона в стенах увеличились на $(15-20)10^{-5}$ относительных единиц. Горизонтальные отклонения продольных стен достигали 3,66–4,90 мм, горизонтальные перемещения стеновой панели увеличились до 1,22–1,32 мм, наибольшие горизонтальные отклонения торцевой стены увеличились до 0,92–1,40 мм. Вертикальные прогибы продольных стен составляли 6,46–6,54 мм, прогибы торцевой стены составляли 2,44 мм, а прогибы стеновой панели – 1,46 мм.

При вертикальной нагрузке $N = 1166,6$ тс, составляющей 73 % от разрушающей нагрузки, существенного увеличения раскрытия существующих трещин не наблюдалось, за исключением увеличения трещины плиты потолка до 0,45 мм и в перемычках дверных проемов до 0,20–0,25 мм; продольные деформации бетона в стенах увеличились на $(20-30)10^{-5}$ относи-



Рис. 5. Повреждения участков сопряжения стен и плиты потолка
Fig. 5. Damage of the wall and ceiling plate interface areas

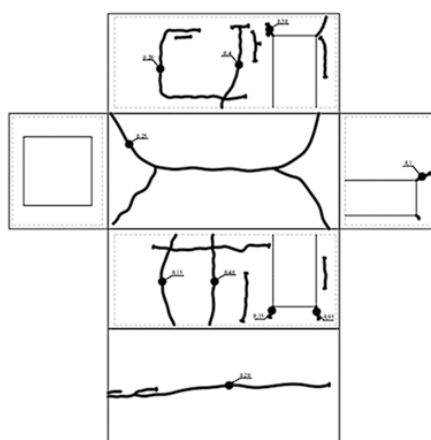


Рис. 6. Схема расположения трещин
Fig. 6. The layout of cracks

тельных единиц, а горизонтальные отклонения продольных стен увеличились до 5,06–7,64 мм, горизонтальные перемещения стеновой панели увеличились до 2,48–2,84 мм, а наибольшие горизонтальные отклонения торцевой стены увеличились до 1,54–1,58 мм. Вертикальные прогибы продольных стен составляли 10,06–10,42 мм, прогибы торцевой стены составляли 3,6 мм, а прогибы стеновой панели – 3,94 мм (рис. 7).

При вертикальной нагрузке $N = 1566,1$ тс, составляющей 98% от разрушающей нагрузки, ширина раскрытия трещин в плите потолка составляла 0,50 мм, в плитах пола трещины не увеличились и составляли 0,25 мм, а в перемычках дверных проемов составляли 0,30 мм; продольные деформации бетона в продольных стенах находились в пределах $(70–114) \cdot 10^{-5}$ относительных единиц, в среднем составляя 78×10^{-5} относительных единиц; деформации бетона в зонах расположения каналов электропроводки увеличивались в 2,0–2,5 раза

по сравнению с окружающим бетоном; горизонтальные отклонения продольных стен увеличились до 6,7–10,5 мм, горизонтальные перемещения стеновой панели увеличились до 5,02 мм, наибольшие горизонтальные отклонения торцевой стены увеличились до 2,16 мм. Вертикальные прогибы продольных стен составляли 13,06–13,74 мм, прогибы торцевой стены составляли 4,36 мм, а прогибы стеновой панели составляли 4,82 мм.

Разрушение объемного блока произошло при вертикальной нагрузке $N = 1598,1$ тс и развивалось постепенно, начиная с разрушения наиболее сжатой угловой части бетона продольной стены по сопряжению ее с потолком с дальнейшим разрушением бетона по всей длине всего периметра сопряжения стен с потолком, и сопровождалось громким звуком раздавливания бетона с резким звуком падения плиты потолка (рис. 8).

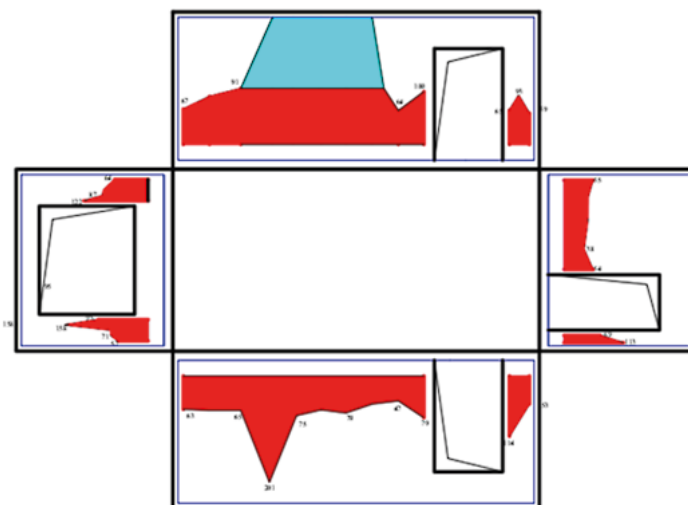


Рис. 7. Эпюра распределения сжимающих деформаций бетона по периметру стен
Fig. 7. Plot of the distribution of compressive deformations of concrete along the perimeter of the walls



Рис. 8. Разрушение стен объемного блока № 2
Fig. 8. The destruction of the walls of the volumetric block No. 2

Заключение

В целом разрушение объемных блоков при вертикальных нагрузках вызывается потерей устойчивости продольных стен и происходит при сжимающих напряжениях в бетоне, существенно меньших проектной прочности бетона при ограниченных напряжениях в вертикальной рабочей арматуре стен.

Этажность многоэтажных зданий из объемных блоков типа «лежачий стакан» рекомендуется определять расчетом прочности при усредненных напряжениях сжатия с учетом частных коэффициентов условий работы бетона и арматуры. Допустимая этажность объемно-блочного здания определяется сопоставлением прочности нижнего этажа от собственного веса объемных блоков N с контрольной вертикальной нагрузкой N_k :

$$N > N_k.$$

Расчетные сопротивления бетона объемных блоков определяются как сумма деления характеристических сопротивлений бетона на частные коэффициенты безопасности по бетону и усилий от вертикальной арматуры в стенах объемного блока, деленные на частные коэффициенты безопасности арматуры.

Жесткость и трещиностойкость объемных блоков из тяжелого бетона гораздо выше, чем объемных блоков из керамзитобетона. Поэтому при проектировании стен объемных блоков из тяжелого бетона на действие вертикальных нагрузок следует учитывать увеличение расчетной длины стен на 43 %.

Список литературы

1. Вайсман Э.П., Тучнин А.А. Статические исследования объемных блоков типа «стакан» в г. Сызрани. Объемно-блочное домостроение в СССР. Москва: ЦНИИЭП жилища, 1967.
2. Дроздов П.Ф. Расчет многоэтажных зданий из объемных блоков // *Бетон и железобетон*. 1969. № 12. С. 39–43.
3. Березовский Л.Ф., Кедич И.Н., Смех И.В., Фурунжиев Р.И., Михайловский Д.А. О работе монолитных объемных блоков, применяемых для строительства жилых зданий // *Строительные конструкции. Сборник трудов ИСА БССР*, вып. 14. Минск, 1973.
4. Инструкции по испытанию объемных блоков типа «лежачий стакан», изготавливаемых на Краснодарском ДСК и заводе ОБД ЦНИИЭП жилища. Москва, 1974.
5. Вероцкий В.И. Исследование деформаций объемных блоков в системе построенного здания. Объемные блоки в жилищном строительстве. Киев: Будівельник, 1975.
6. Киркоров С.С. Производство и строительство зданий из объемных блоков для поселков энергетиков (обзор). Москва: Информэнерго, 1975.

7. Объемно-блочное домостроение // *Сборник научных трудов*. Москва: ЦНИИЭП жилища, 1985.
8. Бронников П.И. Объемно-блочное домостроение. Москва: Стройиздат, 1979.
9. Ильенко И.А. Производство железобетонных изделий для объемно-блочного домостроения в СССР. Москва: ВНИИЭСМ, 1979.
10. Методические указания по статическим испытаниям железобетонных несущих объемных блоков. Киев: М-во пром. стр-ва УССР, 1976.
11. Рекомендации по расчету и конструированию зданий до девяти этажей из несущих железобетонных блоков. Киев: Будівельник, 1976.
12. Руководство по проектированию крупнопанельных зданий с применением несущих объемных блоков. Москва: Стройиздат, 1983.
13. Рекомендации по проектированию, заводскому производству, транспортированию и монтажу объемных блоков Краснодарского технического направления. Москва: ЦНИИЭП жилища, 1983.
14. Рекомендации по расчету многоэтажных зданий панельно-блочной и объемно-блочной конструктивных систем с учетом особенностей пространственной работы. Москва: Стройиздат, 1984.
15. Рекомендации по конструированию и расчету объемно-блочных зданий с применением объемных блоков типа «колпак». Москва: Стройиздат, 1986.
16. Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). Москва, 1989.
17. СП 501.1325800.2021. Здания из крупногабаритных модулей. Правила проектирования и строительства. Основные положения. Москва, 2021.
18. СП РК EN 1992-1-1:2004/2011. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. Алматы, 2016.

References

1. Vaisman E.P., Tuchnin A.A. Static studies of volumetric blocks of the "glass" type in the city of Syzran. Three-dimensional block housing construction in the USSR. Moscow: Central Research and Design Institute of Residential and Public Buildings, 1967. (In Russian).
2. Drozdov P.F. Calculation of multi-storey buildings made of volumetric blocks. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 1969, no. 12, pp. 39–43. (In Russian).
3. Berezovsky L.F., Kedich I.N., Smekh I.V., Furunzhiev R.I., Mikhailovsky D.A. About the operation of monolithic volumetric blocks used for the construction of residential buildings. *Building structures. Proceedings of the Institute of Construction and Architecture of the State Construction Committee of the BSSR*, vol. 14. Minsk, 1973. (In Russian)
4. Instructions for testing volumetric blocks of the "re-

- cumbent glass" type, manufactured at the Krasnodar house-building plant and the volumetric-block housing construction plant of Central Research and Design Institute of Residential and Public Buildings. Moscow, 1974. (In Russian).
5. Verotsky V.I. Investigation of deformations of volumetric blocks in the building construction system. Volumetric blocks in housing construction. Kiev: Budivelnik Publ., 1975. (In Russian).
 6. Kirkorov S.S. Production and construction of buildings from volumetric blocks for power engineering settlements (review). Moscow: Informenergo Publ., 1975. (In Russian).
 7. Volumetric-block housing construction. *Collection of scientific papers*. Moscow: Central Research and Design Institute of Residential and Public Buildings, 1985. (In Russian).
 8. Bronnikov P.I. Volumetric-block housing construction. Moscow: Stroyizdat Publ., 1979. (In Russian).
 9. Ilyenko I.A. Production of reinforced concrete products for bulk-block housing construction in the USSR. Moscow: All-Union Scientific Research Institute of Scientific and Technical Information and Economics of the Building Materials Industry, 1979. (In Russian).
 10. Guidelines for static testing of reinforced concrete load-bearing volumetric blocks. Kiev: Ministry of Industrial Construction of the Ukrainian SSR, 1976. (In Russian).
 11. Recommendations for the calculation and construction of buildings up to nine floors of load-bearing reinforced concrete blocks. Kiev: Budivelnik Publ., 1976. (In Russian).
 12. Guidelines for the design of large-panel buildings using load-bearing volumetric blocks. Moscow: Stroyizdat Publ., 1983. (In Russian).
 13. Recommendations on the design, factory production, transportation and installation of volumetric blocks of the Krasnodar technical area. Moscow: Central Research and Design Institute of Residential and Public Buildings, 1983. (In Russian).
 14. Recommendations for the calculation of multi-storey buildings of panel-block and volume-block structural systems, taking into account the features of spatial work. Moscow: Stroyizdat Publ., 1984. (In Russian).
 15. Recommendations for the design and calculation of three-dimensional block buildings with the use of three-dimensional blocks of the "hood" type. Moscow: Stroyizdat Publ., 1986. (In Russian).
 16. Handbook on the design of residential buildings. Issue 3. Constructions of residential buildings (to SNiP 2.08.01-85). Moscow, 1989. (In Russian).
 17. SP 501.1325800.2021. Buildings made of large modules. Rules of design and construction. The main provisions. Moscow, 2021. (In Russian).
 18. SP RK EN 1992-1-1:2004/2011. Design of reinforced concrete structures. Part 1-1. General rules and regulations for buildings. Almaty, 2016. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Алий Аббасович Беспяев✉, д-р техн. наук, заведующий лабораторией железобетонных конструкций, АО «КазНИИСА», Алматы
e-mail: aliy40@mail.ru

Aliy A. Bespaev✉, Dr. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of Reinforced Concrete Structures, KazNIISA JSC, Almaty
e-mail: aliy40@mail.ru

Илья Дмитриевич Тешев, директор, МХ «Инжиниринг», Алматы
Ilya D. Teshev, Director, MX "Engineering", Almaty

Ерзат Куанышбекович Бекбаев, ведущий инженер, АО «КазНИИСА», Алматы
Erzat K. Bekbaev, Senior Engineer, KazNIISA JSC, Almaty

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author