

В.А. РАХМАНОВ, В.И. МЕЛИХОВ✉, А.А. САФОНОВ
ООО «Институт ВНИИжелезобетон», ул. Плеханова, 7, г. Москва, 111141,
Российская Федерация

ИСПЫТАНИЯ НА ВЕТРОВЫЕ НАГРУЗКИ СТЕНОВОЙ КЛАДКИ ИЗ НЕГОРЮЧИХ ПОЛИСТИРОЛБЕТОННЫХ БЛОКОВ

Аннотация

Введение. Разработанные ООО «Институт ВНИИжелезобетон» блоки из негорючего полистиролбетона марки по плотности D300, класса по прочности на сжатие В1 с нормированной теплопроводностью $\lambda_0 = 0,078$ Вт/(м·°С) и морозостойкостью марки не ниже F75 были использованы в стеновой кладке толщиной 375 мм без специальной огнезащитной облицовки. Такая кладка успешно прошла стандартные огневые испытания на пожарную опасность и огнестойкость, показавшие возможность ее применения в наружных несущих энергосберегающих стенах многоэтажных зданий (до 25 этажей включительно высотой порядка 75 м).

Цель. Оценка прочностных и деформативных характеристик необлицованной негорючими материалами стеновой кладки из негорючих полистиролбетонных блоков плотностью D300 при расчетных ветровых нагрузках на высоте порядка 75 м.

Материалы и методы. Испытывались фрагменты необлицованной стеновой кладки толщиной 375 мм, высотой 2,7 м и шириной 1,2 м из смонтированных на растворе негорючих полистиролбетонных блоков с габаритными размерами 295 × 375 × 595 мм.

Методика проведения испытаний – по ГОСТ 8829-2018. **Результаты.** Разрушающая изгибающая нагрузка превысила расчетную в среднем в 4,1 раза при прогибе в середине фрагмента в 1,9 раза менее допустимого.

Разработана методика расчета прочности и деформативности кладки из полистиролбетонных блоков при ветровых нагрузках с учетом влияния горизонтальных и вертикальных кладочных швов, которую намечено отразить в Изм. № 1 СП 434.1325800.2018.

Выводы. Результаты испытаний на ветровую нагрузку показали, что для необлицованной кладки из негорючих полистиролбетонных блоков плотностью D300 толщиной 375 мм требования по прочности и деформативности обеспечиваются с существенным запасом.

Результаты испытаний на ветровые и огневые воздействия указанной блочной кладки делают возможным ее использование в несущих наружных стенах многоэтажных жилых энергоэффективных зданий высотой до 75 м фактически во всех регионах России.

Ключевые слова: полистиролбетон, негорючесть, плотность, прочность, наружные стены зданий, ветровая нагрузка

Для цитирования: Рахманов В.А., Мелихов В.И., Сафонов А.А. Испытания на ветровые нагрузки стеновой кладки из негорючих полистиролбетонных блоков // *Бетон и железобетон*. 2023. № 3 (617). С. 15–23. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-15-23](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-15-23)

Вклад авторов

Рахманов В.А. – научное руководство испытаниями и обобщением их результатов.

Мелихов В.И. – обобщение результатов испытаний, уточнение методик расчетов.

Сафонов А.А. – подготовка и проведение испытаний.

Финансирование

Исследование осуществлялось за счет средств ООО «Институт ВНИИжелезобетон».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 13.06.2023

Поступила после рецензирования 29.06.2023

Принята к публикации 06.07.2023

V.A. RAKHMANOV, V.I. MELIKHOV✉, A.A. SAFONOV
LLC "Institute VNIIZhelezobeton", Plekhanova street, 7, Moscow, 111114,
Russian Federation

WIND LOADS TESTS OF EXTERNAL WALLS BLOCKS MASONRY OF NON-COMBUSTIBLE POLYSTYRENE CONCRETE

Abstract

Introduction. Blocks of non-combustible polystyrene concrete of D300 density grade, B1 compressive strength class with normalized thermal conductivity $\lambda_0 = 0,078 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$ and frost resistance grade not lower than F75, developed by LLC "Institute VNIIZhelezobeton", were used in masonry with a thickness of 375 mm without special fire-proof lining. Such masonry successfully passed standard fire tests for fire hazard and fire resistance, which showed the possibility of its use in external non-bearing energy-saving walls of multi-storey buildings (up to 25 floors inclusive, about 75 m high).

Aim. Evaluation of the strength and deformation characteristics of non-combustible wall masonry made of non-combustible polystyrene concrete blocks with a density of D300 at design wind loads at a height of about 75 m.

Materials and methods. Fragments of uncoated wall masonry 375 mm thick, 2,7 m high and 1,2 m wide of noncombustible polystyrene concrete blocks mounted on a mortar with over-all dimensions of $295 \times 375 \times 595 \text{ mm}$ were tested.

The test procedure is in accordance with State Standard 8829-2018.

Results. The destructive bending load exceeded the calculated one by an average of 4,1 times, while the deflection in the middle of the fragment was 1,9 times less than the permissible one.

A methodology has been developed for calculating the strength and deformability of masonry of polystyrene concrete blocks under wind loads, taking into account the influence of horizontal and vertical masonry joints, which is scheduled to be reflected in Amendment No. 1 SP 434.1325800.2018.

Conclusions. The results of wind load tests showed that for unlined masonry made of non-combustible polystyrene concrete blocks with a density of D300 and a thickness of 375 mm, the requirements for strength and deformability are met with a significant margin.

The results of tests for wind and fire effects of the specified block masonry make it possible to use it in non-bearing external walls of multi-storey residential energy-efficient buildings up to 75 m high in virtually all regions of Russia.

Keywords: polystyrene concrete, non-combustibility, density, strength, external walls of buildings, wind load

For citation: Rakhmanov V.A., Melikhov V.I., Safonov A.A. Wind loads tests of external walls blocks masonry of non-combustible polystyrene concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 3 (617), pp. 15–23. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-15-23](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-15-23)

Author contribution statements

Rakhmanov V.A. – science guide of tests and generalization of testing.

Melikhov V.I. – generalization of testing results, clarification of methodologies calculations.

Safonov A.A. – preparing and conducting of tests.

Funding

The study was carried out at the expense of LLC "Institute VNIIZhelezobeton".

Conflict of interest

Authors declare no conflict of interest.

Received 13.06.2023

Revised 29.06.2023

Accepted 06.07.2023

В 1990-х годах на основе проведенных ООО «Институт ВНИИЖелезобетон» НИОКР был создан и стандартизирован уникальный энергосберегающий теплоизоляционно-конструкционный материал – полистиролбетон (ПСБ) марок по средней плотности D150–D600, эффективно сочетающий положительные свойства вспененного полистирола, имеющего низкую теплопроводность, и ячеистого бетона, обладающего относительно высокой прочностью. Вопросы нормирования, изготовления и эффективного применения полистиролбетона подробно изложены в монографии [1].

В последние десятилетия ПСБ эффективно использовался в ограждающих конструкциях энергосберегающих жилых и общественных зданий, построенных в Центральном и других регионах РФ по разработанным ООО «Институт ВНИИЖелезобетон» строительным системам «Юникон» и «Юникон-2», общая площадь зданий порядка 18 млн кв. м.

Однако более массовое и экономичное внедрение полистиролбетона сдерживалось тем, что согласно ГОСТ Р 51263-2012 «Полистиролбетон. Технические условия» ПСБ был нормирован как горючий материал группы Г1 (слабогорючий), поэтому при его использовании в наружных стенах средне- и многоэтажных зданиях он должен облицовываться негорючими материалами (кирпич, штукатурка, гипсоволокнистые листы и т. п.), что заметно повышает стоимость и трудоемкость возведения наружных стеновых конструкций.

Исследования, выполненные ООО «Институт ВНИИЖелезобетон» в последние годы, позволили создать негорючий особо легкий теплоизоляционно-конструкционный полистиролбетон (ПСБ) марок по средней плотности не ниже D300 [2] с нормируемой прочностью, что было отражено в ГОСТ 33929-2016 «Полистиролбетон. Технические условия» [3], запатентовано [4] и рекомендовано для применения в ненесущих однослойных наружных стенах энергоэффективных зданий по инновационной системе «Юникон-3» [5]. Негорючий ПСБ марки по плотности D300 характеризуется минимальной теплопроводностью (в интервале марок D300–D600), классом прочности на сжатие B1 и марками по морозостойкости F75–F100.

Стандартные огневые испытания необлицованных негорючими материалами фрагментов стен из негорючих ПСБ блоков с указанными выше характеристиками, проведенные в 2021 г. ИЦ «Огнестойкость» по техническому заданию ООО «Институт ВНИИЖелезобетон», показали класс конструктивной пожарной опасности K0(45) и предел огнестойкости EI 90, что дает возможность применения таких блоков в наружных ненесущих стенах многоэтажных жилых и общественных зданий высотой до 75 м (порядка 25 этажей).

Для подтверждения возможности применения необлицованного негорючего ПСБ в наружных стенах мно-

гоэтажных энергоэффективных зданий специалистами ООО «Институт ВНИИЖелезобетон» были проведены испытания на изгибающие равномерно распределенные нагрузки, имитирующие максимальные ветровые воздействия на верхних этажах таких зданий.

Испытывались простенки (фрагменты) стен в виде однорядной кладки из негорючих ПСБ блоков плотностью D300. При этом решались задачи:

- определения и оценки прочностных и деформативных характеристик стеновой кладки из негорючих ПСБ блоков при расчетных ветровых воздействиях на высоте порядка 75 м;

- сравнения полученных прочностных и деформативных характеристик ПСБ блочных кладок с нормативными требованиями по прочности к аналогичным конструкциям (каменным кладкам) согласно СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции» [6] и по деформативности (прогибу) согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [7];

- уточнения методики прочностных расчетов стен из необлицованных негорючих ПСБ блоков на ветровые воздействия, нормированной в СП 434.1325800.2018 «Конструкции ограждающие из полистиролбетона. Правила проектирования» [8], в части определения расчетных характеристик кладки из ПСБ блоков: сопротивления растяжению при изгибе и его деформаций.

Следует отметить, что испытания необлицованных однорядных стеновых кладок из негорючих ПСБ блоков на ветровые нагрузки (с проработкой методов их прочностного расчета) были проведены ООО «Институт ВНИИЖелезобетон» впервые, тогда как выполненные в последние годы аналогичные исследования, например, АО «ЦНИИЭПжилища» [9] и ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко [10], относятся только к разработкам методов расчетов сопротивления ветровым нагрузкам многослойных наружных стен с негорючей кирпичной фасадной облицовкой.

Характеристики фрагментов стен

Прочностным испытаниям подвергались два фрагмента стеновой кладки из ПСБ блоков с номинальными габаритными размерами 295(ℓ) × 375(h) × 595(b) мм. ПСБ блоки имели марку по средней плотности D300, класс прочности на сжатие B1, марку по морозостойкости не ниже F75 и группу негорючести НГ по ГОСТ 30244-94 «Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть» [11].

По результатам испытаний выпиленных из блоков образцов-призм 10 × 10 × 10 см при их средней плотности 320 кг/м³ значения прочности ПСБ на растяжение при изгибе составили для блоков первого фрагмента $R_{bt1}^{ic} = 0,38$ МПа и для блоков второго фрагмента $R_{bt2}^{ic} = 0,43$ МПа.

Испытываемые фрагменты наружной стены имели габаритные размеры 2,7(L) × 0,375(h) × 1,2(B) м. Они представляли из себя (рис. 1) кладку из ПСБ блоков

и полублоков (распиленных пополам блоков) на «холодной» клеевой кладочной композиции плотно-стью в затвердевшем состоянии $\rho_{\text{ш}} \approx 1350 \text{ кг/м}^3$ с прочностью на сжатие марки М100 и морозостойко-стью марки F75. Приведенное сопротивление теплопередаче фрагментов оценивалось на уровне $R_0 = 4,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Толщина кладочных швов составляла 3–5 мм. Все 8 горизонтальных швов ($N_{\text{гш}} = 8$) фрагмента были армированы стальной сварной сеткой из проволоки $d = 1 \text{ мм}$ с прямоугольной ячейкой $25 \times 25 \text{ мм}$. Фрагменты не имели специальной огнезащитной облицовки, но для облегчения фиксации трещин перед испытаниями производилась затирка извест-ковой шпаклевкой вертикальной поверхности с одной стороны фрагмента. Этот слой шпаклевки толщиной 1–3 мм в расчетах не учитывался.

Схема и методика испытаний

Схема прочностных испытаний фрагментов стен на равномерно распределенные изгибающие нагруз-ки, имитирующие ветровые воздействия, была при-нята в виде четырех эквивалентных сосредоточен-ных нагрузок ($P/4$) с суммарной эквивалентной нагрузкой P , что показано на рис. 2. Прогиб в середи-

не пролета фиксировали прогибомером – индикато-ром часового типа (ИЧ) с точностью измерения 0,01 мм.

При испытаниях использовалась схема силового воздействия на фрагмент в его естественном вер-тикальном положении. При этом также имело место вертикальное нагружение фрагмента собственным весом, что соответствует реальным условиям сило-вых воздействий при эксплуатации здания с ненесу-щими наружными стенами.

Испытания проводились нагружением двух фраг-ментов по методике ГОСТ 8829-2018 «Изделия стро-ительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещино-стойкости» [12] с определением и фиксацией нагру-зок, при которых появлялись трещины и происходило разрушение образца (фрагмента стены). При этом фиксировались места и величина раскрытия трещин, а также прогиба в середине высоты фрагмента.

Определение расчетной испытательной нагрузки и предельной деформации

Максимальная ветровая нагрузка рассчитывалась по методике СП 20.13330.2016 [7] для I ветрового района РФ.



Рис. 1. Фрагмент стены перед испытанием на ветровую нагрузку
Fig. 1. Fragment of the wall before testing on wind load

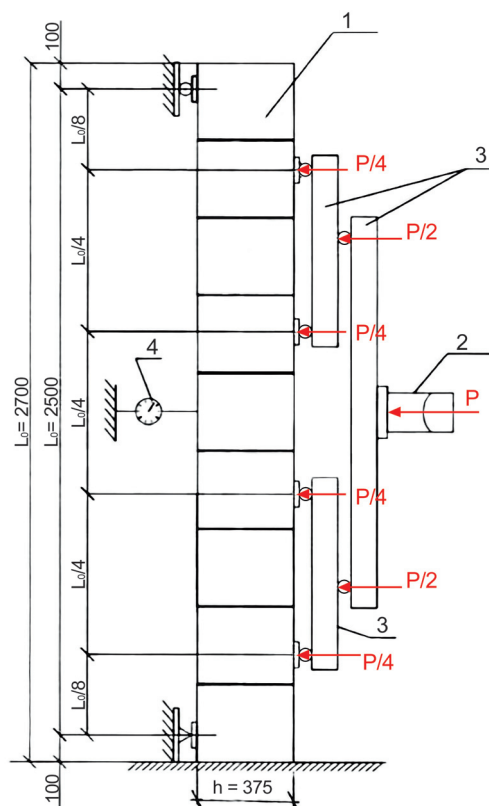


Рис. 2. Схема нагружения фрагмента стены:
1 – фрагмент стены из блочной ПСБ кладки; 2 – нагружающий гидроцилиндр и динамометр; 3 – нагружающая траверса;
4 – индикатор часового типа (прогибомер)

Fig. 2. Loading diagram of a wall fragment:
1 – a fragment of a wall made of polystyrene concrete block masonry;
2 – loading hydraulic cylinder and dynamometer; 3 – loading traverse;
4 – clock type indicator (deflection meter)

На основании такого расчета, выполненного в качестве примера ООО «Институт ВНИИЖелезобетон» в СТО 86549669-001-2012 «Руководство по проектированию и строительству энергоэффективных зданий с системой ограждающих конструкций «Юникон-2» из особо легкого полистиролбетона» [13] для построенного в г. Москве 25-этажного жилого здания шириной 30 м, с высотой этажа – 3 м и расчетным просветом – 2,7 м, в середине наружной стены верхнего этажа максимальная односторонняя ветровая нагрузка (напор с учетом пульсации и при коэффициенте надежности $\gamma_f = 1,4$) составила $w_p = 61,8 \text{ кгс/м}^2$.

Для фрагмента стены шириной $B = 1,2 \text{ м}$ линейная равномерно распределенная нагрузка равна:

$$q_{pv} = w_p \cdot B = 61,8 \cdot 1,2 = 74,16 \text{ кгс/м}.$$

Для испытываемых фрагментов высотой 2,7 м с расстоянием между опорами $L_0 = 2,5 \text{ м}$ максимальный расчетный момент от ветровой нагрузки составил:

$$M_{pv} = \frac{q_{pv} \cdot L_0^2}{8} = \frac{74,16 \cdot 2,5^2}{8} = 57,94 \text{ кгс} \cdot \text{м}.$$

Расчетные характеристики прочности и деформативности фрагментов стены из негорючих ПСБ блоков определялись с учетом рекомендаций СП 15.13330.2020 [6] и СП 434.1325800.2018 [8].

При проведении прочностных испытаний фрагментов проверялось выполнение соотношения:

$$M_{pv} \leq M_{pn} \leq M_{ft} \leq M_{fr}, \quad (1)$$

где M_{pn} – расчетный несущий изгибающий момент фрагмента стены;

M_{ft} – фактический изгибающий момент, при котором фрагмент начинал разрушаться (образовались трещины);

M_{fr} – фактический изгибающий момент, при котором фрагмент разрушился.

При расчетной ветровой нагрузке средний прогиб в середине расчетного пролета фрагмента ($L/2$) не должен превышать значений, нормированных в СП 20.13330.2016 (таблица Д.4, п. 2а) [7], для середины (по высоте) верхнего этажа многоэтажного здания с ненесущими наружными стенами из ПСБ блоков, упруго закрепляемыми к жесткому железобетонному каркасу (перекрытию или ригелю).

Согласно этим требованиям должно соблюдаться соотношение:

$$f_n \leq h_s/300, \quad (2)$$

где f_n – предельно допустимое перемещение (прогиб) в мм;

h_s – высота в мм между осями смежных перекрытий или ригелей смежных этажей для многоэтажных зданий.

Для условий использования негорючих ПСБ блоков в ненесущих стенах многоэтажных жилых зданий высота простенка, подвергающегося ветровым воздействиям, была принята с учетом расстояния между полом и потолком одного этажа $h_s = 2,7 \text{ м} = 2700 \text{ мм}$, при котором:

$$f_n \leq 2700/300 = 9 \text{ мм}.$$

Результаты испытаний фрагментов стен на прочность и деформативность

Результаты испытаний фрагментов стен на прочность и деформативность при ветровых нагрузках представлены в табл. 1.

Испытания показали, что разрушение фрагментов происходило полностью или частично по четвертому снизу горизонтальному кладочному шву (под средним пятым рядом ПСБ блоков).

Анализ результатов прочностных испытаний фрагментов стен, приведенных в табл. 1, показывает, что:

– разрушающая нагрузка превысила расчетную для первого фрагмента в 3,4 раза, а для второго фрагмента в 4,8 раза, т. е. условие (1) соблюдается с существенным запасом (в среднем в 4,1 раза);

– прогиб в середине фрагментов при расчетной ветровой нагрузке был ниже нормируемого ($f_n = 9 \text{ мм}$) также с существенным запасом (в среднем в 1,9 раза).

Результаты испытаний с полученными запасами по прочности дают основания предполагать, что блочная кладка толщиной 375 мм из негорючего ПСБ марки по плотности D300 (с требуемыми характеристиками пожарной безопасности и огнестойкости таких конструкций) может быть использована в ненесущих стенах для многоэтажных зданий высотой до 75 м включительно во всех ветровых регионах России по классификации СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» [14].

Таблица 1
Table 1

Результаты испытаний фрагментов стен на ветровые нагрузки
Results of wall fragments testing for wind loads

Вид нагрузок	Результаты испытаний							
	1-й фрагмент				2-й фрагмент			
	P_1 , кгс	q_1 , кгс/м	M_1 , кгс·м	Прогиб в середине фрагмента, f_{n1} , мм	P_2 , кгс	q_2 , кгс/м	M_2 , кгс·м	Прогиб в середине фрагмента, f_{n2} , мм
1. Расчетные ветровые	1590	74,16	57,94	0,45	1590	74,16	57,94	0,71
		100 %				100 %		
2. Фактические трещинообразующие	3600	144,0	93,7	0,89	8400	336,0	218,6	3,35
		162 %				377 %		
3. Фактические разрушающие	7600	322,0	197,7	4,5	10800	443,4	280,5	4,6
		341 %				484 %		

Уточнение методики определения расчетных прочностных характеристик ПСБ блочных кладок

В формуле (1) расчетный несущий изгибающий момент предложено определять по формуле:

$$M_{pn} = K_{\text{ш}} \bar{R}_{\text{btf}} W_{\text{к}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{ш}}$ – понижающий коэффициент, учитывающий влияние кладочных швов при изгибе нагружаемого простенка;

$\bar{R}_{\text{btf}}$ – приведенная расчетная прочность полистиролбетона на растяжение при изгибе;

$W_{\text{к}}$ – момент сопротивления ПСБ простенка (без кладочных швов).

Согласно рекомендациям СП 434.1325800.2018 [8] для определения приведенной расчетной прочности на растяжение при изгибе кладки из ПСБ с «холодными» клеевыми швами должен использоваться понижающий коэффициент $K = 0,85$ относительно нормируемых ГОСТ 33929-2016 [3] расчетных значений:

$$\bar{R}_{\text{btf}} = 0,85 R_{\text{btf}}. \quad (4)$$

Для ПСБ блоков плотностью D300 расчетная прочность на растяжение при изгибе для предельных состояний первой группы (трещины не допускаются) принималась по данным ГОСТ 33929-2016 [3] равной $R_{\text{btf}} = 0,32$ МПа.

Момент сопротивления простенка без учета влияния швов рассчитывался по формуле для изгибаемого элемента прямоугольного сечения:

$$W_{\text{к}} = \frac{Bh^2}{6}. \quad (5)$$

Для испытываемых фрагментов его величина, вычисленная по формуле (5) при $B = 120$ см и $h = 37,5$ см, составила $W_{\text{к}} = 28125$ см³.

Как видно из формулы (3), расчетный несущий изгибающий момент блочной кладки должен учитывать влияние горизонтальных и вертикальных кладочных швов. При этом вертикальные кладочные швы, являясь в стене при ветровом воздействии ребрами жесткости, повышают сопротивление кладки на растяжение при изгибе, тогда как горизонтальные кладочные швы в значительной мере снижают ее прочность.

$K_{\text{ш}}$ было предложено вычислить по формуле:

$$K_{\text{ш}} = K_{\text{вш}} \cdot K_{\text{гш}} = \frac{N_{\text{вш}} \ell}{L(1+N_{\text{гш}})^{-1}}, \quad (6)$$

где $K_{\text{вш}} = N_{\text{вш}} \ell / L$ – коэффициент влияния вертикальных кладочных швов;

$K_{\text{гш}} = (1+N_{\text{гш}})^{-1}$ – коэффициент влияния горизонтальных кладочных швов;

$N_{\text{вш}}$ и $N_{\text{гш}}$ – соответственно количество вертикальных и горизонтальных кладочных швов в простенке;

ℓ – высота вертикальных кладочных швов в пределах одного горизонтального ряда блоков, м;

L – высота испытываемых простенков, м.

Для испытанных фрагментов стен из блочной ПСБ кладки с параметрами: $N_{\text{вш}} = 13$, $N_{\text{гш}} = 8$, $\ell \approx 0,3$ м и $L = 2,7$ м при расчете по формуле (6) $K_{\text{ш}} = 0,16$.

Фактическую (по данным испытаний) прочность на растяжение при изгибе кладки из ПСБ блоков определяли по формуле:

$$R_{\text{btfk}}^{\Phi} = \frac{M_{\text{фр}}}{W_{\text{к}}}. \quad (7)$$

Сравнение расчетных ветровых, несущих прочностных характеристик простенков и разрушающих нагрузок приведено в табл. 2.

Как видно из данных табл. 2, условие (1) удовлетворяется:

$$M_{\text{рв}} = 57,94 \text{ кгс} \cdot \text{м} < M_{\text{рн}} = 112,5 \text{ кгс} \cdot \text{м} < \\ < M_{\text{фр}} = 156,2 \text{ кгс} \cdot \text{м} < M_{\text{фр}} = 239,2 \text{ кгс} \cdot \text{м}.$$

Нормируемую прочность на растяжение при изгибе кладки из ПСБ блоков D300 по неперевязанному сечению было предложено принять как среднюю для двух испытанных фрагментов равную $R_{\text{btfk}}^{\text{н}} \approx 0,09$ МПа.

Фактическая прочность на растяжение при изгибе кладки на растворе М100 по неперевязанному сечению из ПСБ негорючих блоков D300 ($R_{\text{btfk}}^{\Phi} = 0,071 \div 0,102$ МПа) находилась на уровне приведенных нормированных значений кладки из ячеистобетонных блоков для аналогичных условий, равной:

$$R_{\text{btfk}}^{\Phi} = 0,12(0,7 \div 0,8) = (0,084 \div 0,096) \text{ МПа},$$

Таблица 2
Table 2

Сводные прочностные характеристики блочных кладок из негорючего полистиролбетона плотностью D300 Pivot strength characteristics of block masonry made of non-combustible polystyrene concrete with a density of D300

№ фрагмен- тов	Прочность на растяжение при изгибе, МПа				Изгибающие моменты для кладки, кгс·м			
	полистиролбетон		блочная кладка		расчетный от ветровой нагрузки, М _{рв}	расчетные несущие, М _{рн} , формула (3)	фактические	
	нормируемая по ГОСТ 33929-2016 [3], R _{бтф}	фактическая по результатам испытаний					трещино- образующие, М _{фт}	разрушающие, М _{фр}
		R _{бтф} ^ф	$\bar{R}_{\text{бтф}}^{\text{ф}}$	R _{бтк} ^ф , формула (7)				
1-й	0,32	0,38	0,32	0,071	57,94 (100 %)	104,91	93,7	197,7
2-й		0,43	0,37	0,102		120,09	218,6	280,6
средние		0,41	0,35	0,09			112,5 (194 %)	156,2 (269 %)

где 0,12 МПа – нормируемая прочность на растяжение при изгибе кладки на растворе М100 из сплошных блоков по неперевязанному сечению (табл. 6.11 СП 15.13330.2020 [6]);

0,7 и 0,8 – коэффициенты условий работы при изгибе блочной кладки соответственно из неавтоклавно и автоклавно ячеистых бетонов (п. 6.14 СП 15.13330.2020 [6]).

При этом блоки из ПСБ D300 характеризуются более высокой морозостойкостью и меньшей расчетной теплопроводностью по сравнению с ячеистобетонными блоками аналогичной плотности.

При полученных, казалось бы, невысоких значениях прочности на растяжение при изгибе блочной ПСБ кладки расчетная несущая способность фрагмента превышала расчетную ветровую нагрузку в среднем почти в 2 раза, а разрушающая нагрузка превышала расчетную несущую способность, принятую в качестве контрольной нагрузки, в среднем в 2,1 раза, что удовлетворяет требованию ГОСТ 8829-2018 [12] к коэффициенту безопасности – С (отношение разрушающей нагрузки к контрольной), максимальное значение которого при испытаниях бетонных конструкций должно быть не ниже $C = 1,8$.

Предложенную выше методику вычисления расчетной несущей способности простенков из блочной ПСБ кладки с учетом влияния кладочных швов намечено использовать при внесении изменений и дополнений в СП 434.1325800.2018 [8], разработка которого проводится в 2023 г. по плану Минстроя России.

Расчет по деформациям изгибаемой блочной ПСБ кладки

Расчет по деформациям фрагмента стены без облицовки, изгибаемого под действием ветровой нагрузки, предложено проводить с учетом расположения центра тяжести в середине изгибаемого горизонтального шва блочной кладки, армированного сеткой, и трещинообразования фрагмента по этому шву, с использованием формулы:

$$M_{pb} \leq M_{pt} = \bar{E}_b \varepsilon_n W_k, \quad (8)$$

где ε_n – предельная относительная деформация горизонтального кладочного клеевого шва, армированного

стальной сеткой, принимаемого по данным СТО 86549669-001-2012 [13] $\varepsilon_n = 1,0 \cdot 10^{-4}$;

$\bar{E}_b$ – приведенный модуль упругости полистиролбетона, принимаемый с учетом нормативных значений E_b и рассчитываемый по формуле:

$$\bar{E}_b = 0,85 E_b, \quad (9)$$

где 0,85 – понижающий коэффициент, принятый по рекомендациям СП 434.1325800.2018 [8] для расчета сопротивления ПСБ растяжению при изгибе.

Для ПСБ марки по плотности D300 класса прочности В1 согласно Изменению № 1 ГОСТ 33929-2016 [3] $E_b = 630$ МПа и $\bar{E}_b = 0,85 \cdot 630 \cdot 9,81 = 5253,3$ кгс/см².

При $\bar{E}_b = 5253,3$ кгс/см², $\varepsilon_n = 1,0 \cdot 10^{-4}$ и $W_k = 28125$ см³ расчетный трещинообразующий изгибающий момент, вычисленный по формуле (8), составит $M_{pt} = 14774,9$ кгс·см = 147,7 кгс·м, неравенство (8) выполняется:

$$M_{pb} = 57,94 \text{ кгс·м} < M_{pt} = 147,7 \text{ кгс·м}$$

с запасом в $147,7/57,94 = 2,5$ раза.

Сравнение расчетных и испытательных нагрузок по трещинообразованию приведено в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что фактический изгибающий момент при трещинообразовании (начало развития трещин) в среднем выше расчетного момента ($M_{фт} = 156,2$ кгс·м > $M_{pt} = 147,7$ кгс·м), что свидетельствует о хорошей корреляции расчетных и фактических значений деформаций при трещинообразовании блочной кладки.

Приведенную выше методику оценки деформативности при трещинообразовании ПСБ блочной кладки намечено отразить в Изменении № 1 к СП 434.1325800.2018 [8].

Выводы

1. Результаты испытаний фрагментов (простенков) наружных ненесущих стен зданий из не облицованной кладки негорючих ПСБ блоков толщиной 375 мм, плотностью марки D300 и прочностью класса В1 на изгибающие нагрузки, имитирующие расчетные ветровые воздействия на верхних этажах многоэтажных зданий, показали, что несущая способность такой кладки по прочности и требования по деформативности обеспечиваются с существенным запасом.

Таблица 3
Table 3

Сводные деформативные характеристики фрагментов стен из негорючих ПСБ блоков D300
Pivot deformation characteristics of wall fragments of non-flammable polystyrene concrete blocks

№ фрагментов	Модуль упругости ПСБ, МПа·10 ⁻³		Изгибающие моменты по трещинообразованию кладки из ПСБ блоков, кгс·м		Прогибы в середине фрагмента, мм			
	E_b , по Изм. № 1 ГОСТ 33929-2016 [3]	$\bar{E}_b$, по формуле (9)	расчетный, M_{pt} , по формуле (8)	фактические, $M_{фт}$	нормируемый, f_n , по СП 20.13330.2016 [7]	фактические		
						при расчетной ветровой нагрузке	при трещинообразовании	при разрушении фрагмента
1-й	0,63	0,54	147,7	93,7	9,0	0,45	0,89	4,5
2-й				218,6		0,71	3,35	4,6
среднее				156,2		0,58	2,12	4,55

2. Данные испытаний на ветровые нагрузки фрагментов стен толщиной 375 мм из негорючих ПСБ блоков с указанными размерами и характеристиками по плотности и прочности с учетом положительных результатов огневых испытаний конструкций делают возможным их использование по новой строительной системе «Юникон-3» в наружных несущих стенах, необлицованных негорючими материалами, для многоэтажных энергосберегающих зданий высотой до 75 м практически во всех ветровых регионах России.

3. Предложена методика расчета на ветровые нагрузки несущих стен из ПСБ блоков по прочности и деформациям с учетом влияния горизонтальных и вертикальных кладочных швов, которую намечено отразить в Изменении № 1 СП 434.1325800.2018 [8].

Список литературы

1. Рахманов В.А. Монография «Полистиролбетон системы «Юникон» – энергоэффективный материал XXI века». Москва: Изд. «Золотое сечение»; 2017. 512 с.
2. Рахманов В.А., Мелихов В.И., Капаев Г.И., Козловский А.И. Инновационная спецтехнология получения полистиролбетона нового поколения // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 2. С. 29–31.
3. ГОСТ 33929-2016. Полистиролбетон. Технические условия.
4. Патент № 2753832 RU Способ получения негорючего полистиролбетона. Рахманов В.А., Мелихов В.И., Капаев Г.И. Заявитель и патентообладатель ВНИИЖелезобетон. Приоритет 10.08.2020 г. Опубликовано 23.08.2021 г. Бюл. № 24.
5. Рахманов В.А. Негорючий полистиролбетон и его конструктивно-технические свойства. *Сборник научных трудов РААСН*. 2022, том 2.
6. СП 15.13330.2020. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81*.
7. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.
8. СП 434.1325800.2018. Конструкции ограждающие из полистиролбетона. Правила проектирования.
9. Киреева Э.И., Валь Е.Г. К вопросу расчета трехслойных несущих наружных стен с облицовкой кирпичом на ветровые нагрузки // *Жилищное строительство*. 2016. № 4. С. 40–43.
10. Обозов В.И. Аналитический метод расчета простенков наружных многослойных стен на ветровую нагрузку // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2022. № 2 (301). С. 9–14.
11. ГОСТ 30244-94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть.
12. ГОСТ 8829-2018. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости (с Изменением № 1).

13. СТО 86549669-001-2012. Руководство по проектированию и строительству энергоэффективных зданий с системой ограждающих конструкций «Юникон-2» из особо легкого полистиролбетона.

14. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*.

References

1. Rakhmanov V.A. Monograph Polystyrene concrete of the Unicon system is an energy-efficient material of the 21st century. Moscow: Ed. Golden Section; 2017. 512 p. (In Russian).
2. Rakhmanov V.A., Melikhov V.I., Kapaev G.I., Kozlovskiy A.I. Special innovative technology for producing polystyrene concrete of new generation. *Proyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2017, no. 2, pp. 29–31. (In Russian).
3. State Standard 33929-2016. Concrete with polystyrene aggregates. Specifications. (In Russian).
4. Patent No. 2753832 RU Method for producing non-combustible polystyrene concrete. Rakhmanov V.A., Melikhov V.I., Kapaev G.I. Applicant and patent holder VNIIZhelezobeton. Priority 08.10.2020 Published 08.23.2021. Bull. No. 24. (In Russian).
5. Rakhmanov V.A. Non-combustible polystyrene concrete and its construction and technical properties. *Collection of scientific papers of the RAASN*. 2022, volume 2. (In Russian).
6. SP 15.13330.2020. Masonry and reinforced masonry structures. Updated version of SNiP II-22-81*. (In Russian).
7. SP 20.13330.2016. Loads and actions. Updated version of SNiP 2.01.07-85*. (In Russian).
8. SP 434.1325800.2018. Enclosing structures of buildings with the use of polystyrene concrete. Design requirements. (In Russian).
9. Kireeva E.I., Val E.G. To the problem of calculation of three-layered non-bearing external wall with brick facing for wind loads. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016, no. 4, pp. 40–43. (In Russian).
10. Obozov V.I. Analytical method for calculating the piers of external multilayer walls for wind load. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2022, no. 2 (301), pp. 9–14. (In Russian).
11. State Standard 30244-94. Building materials. Methods for combustibility test. (In Russian).
12. State Standard 8829-2018. Prefabricated construction concrete and reinforced concrete products. Load testing methods. Rules for assessment of strength, rigidity and crack resistance (with change No. 1). (In Russian).
13. STO 86549669-001-2012. Guidelines for the design and construction of energy-efficient buildings with a system of enclosing structures Unicon-2 made of extra light polystyrene concrete. (In Russian).

14. SP 131.13330.2020. Building climatology. Updated version of SNiP 23-01-99*. (In Russian).

**Информация об авторах /
Information about the authors**

Виктор Алексеевич Рахманов, член-корреспондент РААСН, профессор, председатель совета директоров ООО «Институт ВНИИЖелезобетон», Москва
Viktor A. Rakhmanov, Corresponding Member of RAASN, Professor, Chairman of the Board of Directors, LLC "Institute VNIIZhelezobeton", Moscow

Владислав Иванович Мелихов ✉, канд. техн. наук, заместитель генерального директора по науке ООО «Институт ВНИИЖелезобетон», Москва
e-mail: V.Melikhov@vniizhbeton.ru
Vladislav I. Melikhov ✉, Cand. Sci. (Engineering), Deputy General Director for Science, LLC "Institute VNIIZhelezobeton", Moscow
e-mail: V.Melikhov@vniizhbeton.ru

Александр Александрович Сафонов, инженер, руководитель ИЦ «НИЦстром» ООО «Институт ВНИИЖелезобетон», Москва

Alexandr A. Safonov, Engineer, Head of Tests Center "NITSstrom", LLC "Institute VNIIZhelezobeton", Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Вышло в свет учебное пособие «Долговечность бетона».

Автор пособия – заведующий лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», доктор технических наук, профессор, академик Российской инженерной академии, Почетный строитель России и г. Москвы, дважды лауреат премии Правительства РФ Валентина Федоровна Степанова.

В пособии приведена теория коррозии бетона и металла, рассматривается правильный подход к выбору строительных материалов, приготовлению бетона и железобетона, обеспечивающих требуемую долговечность конструкций. Даны основные признаки коррозии бетона в жидких агрессивных средах, механизм коррозии арматуры. Показаны способы повышения коррозионной стойкости бетона и обеспечения сохранности арматуры на стадии проектирования состава бетона в процессе приготовления и эксплуатации конструкций. Приведены математические модели коррозии бетона, позволяющие совершенствовать технологию получения бетонов повышенной долговечности.

Пособие ориентировано на студентов, обучающихся по направлению «Строительство», а также будет полезно всем специалистам, занимающимся изучением бетона и железобетона.