

Министерство архитектуры и строительства  
Республики Беларусь  
ФИЛИАЛ «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»  
НАУЧНО-ПРОЕКТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РЕСПУБЛИКАНСКОГО  
УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «СТРОЙТЕХНОРМ»


УДК 691.42

УТВЕРЖДАЮ  
Директор филиала НТЦ  
РУП «СТРОЙТЕХНОРМ»,  
д-р. техн. наук, профессор

  
" В.Н. Деркач  
2024 г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
Выполнить исследование прочностных и деформационных характеристик  
каменной кладки, выполненной из блоков из ячеистого бетона D350 на  
тонкослойных швах


Руководитель НИР,  
директор филиала НТЦ  
РУП «СТРОЙТЕХНОРМ»,  
д-р. техн. наук, профессор

  
В.Н. Деркач

Брест 2024


## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,  
директор, д-р. техн. наук,  
профессор

  
\_\_\_\_\_ 29.11.2024  
подпись, дата

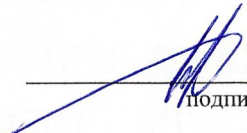
В.Н. Деркач  
(введение, разделы 5 – 6,  
заключение)

Отв. исполнитель,  
начальник управления,  
канд. техн. наук

  
\_\_\_\_\_ 29.11.2024  
подпись, дата


А.В. Галалюк  
(введение, раздел 5,  
заклучение)

Начальник отдела,  
канд. техн. наук

  
\_\_\_\_\_ 29.11.2024  
подпись, дата

И.Е. Демчук  
(введение, разделы 7 – 8,  
заклучение)

Начальник отдела,  
канд. техн. наук

  
\_\_\_\_\_ 29.11.2024  
подпись, дата

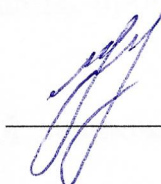
В.А. Самкевич  
(введение, раздел 6,  
заклучение)

Ведущий инженер-  
конструктор,  
инж.-исслед.

  
\_\_\_\_\_ 29.11.2024  
подпись, дата

П.А. Новик  
(раздел 9)

Ведущий инженер-  
конструктор,  
маг. техн. наук

  
\_\_\_\_\_ 29.11.2024  
подпись, дата


П.И. Матяс  
(разделы 2 – 3)

Ведущий инженер-  
конструктор

  
\_\_\_\_\_ 29.11.2024  
подпись, дата


С.О. Бурак  
(разделы 2 – 3)

Начальник сектора

  
\_\_\_\_\_ 29.11.2024  
подпись, дата


Е.Н. Демчук  
(раздел 4)

Ведущий инженер

  
\_\_\_\_\_ 29.11.2024  
подпись, дата

Ю.Е. Турук  
(раздел 4)

Нормоконтроль

  
\_\_\_\_\_ 29.11.2024  
подпись, дата

В.А. Самкевич

## РЕФЕРАТ

Отчет 78 с., 37 рис., 19 табл., 19 форм., 11 источников.

КАМЕННАЯ КЛАДКА, БЛОКИ ИЗ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ, КЛАДОЧНАЯ СМЕСЬ ДЛЯ ТОНКОСЛОЙНЫХ РАСТВОРНЫХ ШВОВ, ПРОЧНОСТЬ НА СЖАТИЕ, МОДУЛЬ УПРУГОСТИ, ПРОЧНОСТЬ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ, НАЧАЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ ПРИ СДВИГЕ ВДОЛЬ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ШВОВ, ПРОЧНОСТЬ ПРИ СДВИГЕ ПОПЕРЕК ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ШВОВ, КОЭФФИЦИЕНТ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ, ПРЕДЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПРИ СДВИГЕ, ПРОЧНОСТЬ НОРМАЛЬНОГО СЦЕПЛЕНИЯ, МОДУЛЬ СДВИГА, ПРЕДЕЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СДВИГЕ.

Объект исследования: каменная кладка из блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения на тонкослойных растворных швах.

Предмет исследования: прочностные и упругие характеристики каменной кладки

Цель исследований заключалась в установлении экспериментальных данных о прочностных и упругих характеристиках каменной кладки, выполненной из блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения (блоки стеновые 625×400×250-1,5-350-35-1 СТБ 1117-98 производства филиала № 5 «Гродненский КСМ» ОАО «Красносельскстройматериалы») на тонкослойных растворных швах (РСС, кладочная, тонкослойная, цементная, D1250, M25, Пк2, F35 ТУ ВУ 100120034.006-2011 производства филиала № 3 «Минский КСИ» ОАО «Белорусский цементный завод»).

В задачи исследований входило:

- определение прочности при сжатии кладочных изделий;
- определение прочности при сжатии, прочности на растяжение при изгибе кладочного раствора (клея);

- выявление механизмов деформирования и разрушения каменных кладок при сжатии, изгибе, сдвиге и растяжении;
- определение прочности на сжатие каменной кладки;
- определение модуля упругости каменной кладки;
- определение прочности на растяжение при изгибе по перевязанному и неперевязанному сечениям каменной кладки;
- определение начальной и предельной прочности при сдвиге вдоль горизонтальных швов каменной кладки, прочности при сдвиге поперек горизонтальных швов каменной кладки;
- определение угла внутреннего трения при сдвиге вдоль горизонтальных швов каменной кладки;
- определение модуля сдвига и предельных деформаций при сдвиге поперек горизонтальных швов каменной кладки;
- определение прочности нормального сцепления методом изгибающего момента.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....	6
ВВЕДЕНИЕ .....	8
1 СИЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА .....	11
2 ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛАДОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ .....	12
3 ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛАДОЧНОГО РАСТВОРА .....	14
4 ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ КАМЕННОЙ КЛАДКИ .....	18
5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ КАМЕННОЙ КЛАДКИ .....	21
5.1 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА СЖАТИЕ .....	21
5.2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА СЖАТИЕ .....	23
6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ КАМЕННОЙ КЛАДКИ.....	32
6.1 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ КАМЕННОЙ КЛАДКИ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ.....	32
6.2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ ПО НЕПЕРЕВЯЗАННОМУ СЕЧЕНИЮ .....	36
6.3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ ПО ПЕРЕВЯЗАННОМУ СЕЧЕНИЮ.....	39
7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПРИ СДВИГЕ ВДОЛЬ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ШВОВ КАМЕННОЙ КЛАДКИ .....	43
7.1 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ПРИ СДВИГЕ ВДОЛЬ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ШВОВ .....	43
7.2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПРИ СДВИГЕ ВДОЛЬ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ШВОВ .....	46
8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПРИ СДВИГЕ ПОПЕРЕК ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ШВОВ КАМЕННОЙ КЛАДКИ .....	56
8.1 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ПРИ СДВИГЕ ПОПЕРЕК ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ШВОВ .....	56
8.2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПРИ СДВИГЕ ПОПЕРЕК ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ШВОВ .....	59
9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЦЕПЛЕНИЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ МЕТОДОМ ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА .....	65
9.1 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ КАМЕННОЙ КЛАДКИ НА РАСТЯЖЕНИЕ МЕТОДОМ ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА .....	65
9.2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА РАСТЯЖЕНИЕ МЕТОДОМ ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА .....	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	74
ПРИЛОЖЕНИЕ А ДОКУМЕНТЫ О КАЧЕСТВЕ.....	76

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей работе применены следующие сокращения и обозначения:

- $b, w_u$  — ширина испытываемого образца;
- $d, t_s$  — толщина испытываемого образца;
- $h_s, h_u$  — высота испытываемого образца;
- $i$  — порядковый номер образца в выборке ( $i = 1, 2, 3 \dots n$ );
- $l_s, l_u$  — длина испытываемого образца;
- $l$  — расстояние между осями опор;
- $f_B$  — прочность на сжатие кладочного изделия;
- $f_b$  — приведенная (нормированная) прочность на сжатие кладочного изделия;
- $f_m$  — прочность при сжатии кладочного раствора;
- $f$  — прочность на сжатие каменной кладки;
- $f_k$  — характеристическое значение прочности на сжатие каменной кладки;
- $E$  — кратковременный (секущий) модуль упругости каменной кладки;
- $f_{xk1}$  — характеристическое значение прочности на растяжение при изгибе параллельно горизонтальным швам каменной кладки;
- $f_{xk2}$  — характеристическое значение прочности на растяжение при изгибе перпендикулярно горизонтальным швам каменной кладки;
- $f_v$  — прочность при сдвиге вдоль горизонтальных швов каменной кладки;
- $f_{v0}$  — прочность при сдвиге вдоль горизонтальных швов каменной кладки при нулевых сжимающих напряжениях (начальная прочность при сдвиге вдоль горизонтальных швов каменной кладки);
- $f_{vk}$  — характеристическое значение прочности при сдвиге вдоль горизонтальных швов каменной кладки;
- $f_{vk0}$  — характеристическое значение прочности при сдвиге вдоль горизонтальных швов каменной кладки при нулевых сжимающих напряжениях (характеристическое значение начальной прочности при сдвиге вдоль горизонтальных швов каменной кладки);
- $f_{vlt}$  — предельное значение  $f_{vk}$ ;

- $tg\alpha$  — угол внутреннего трения каменной кладки;
- $tg\alpha_k$  — характеристическое значение угла внутреннего трения каменной кладки;
- $f_p$  — величина сжимающих напряжений перпендикулярно горизонтальным швам каменной кладки при сдвиге;
- $f_w$  — прочность на растяжение каменной кладки (прочность нормального сцепления)
- $f_{wk}$  — характеристическое значение прочности нормального сцепления каменной кладки
- $f_{vvo}$  — прочность при сдвиге поперек горизонтальных швов каменной кладки при нулевых сжимающих напряжениях (начальная прочность при сдвиге поперек горизонтальных швов каменной кладки);
- $G_{obs}$  — опытное значение модуля сдвига каменной кладки;
- $\gamma_{obs}$  — опытное значение угла сдвиговых деформаций (угла перекоса) каменной кладки.

В настоящем отчете применяют термины, установленные в СП 5.02.01-2021 [1].

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время стеновые изделия из автоклавного ячеистого бетона являются наиболее востребованным материалом для устройства ограждающих конструкций жилых и общественных зданий в Республике Беларусь. Массовому применению ячеистобетонных блоков в строительстве способствует еще и то, что они являются объективно самым дешевым и доступным стеновым материалом.

Республика Беларусь является одним из лидеров в Европе по производству ячеистого бетона автоклавного твердения, представляющего собой систему, которая отвечает основным современным требованиям к строительным стеновым материалам по теплозащитным свойствам. По теплофизическим свойствам каменные кладки из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения отвечают всем требованиям действующих в настоящее время ТНПА, занимая в строительном комплексе одно из ведущих мест при возведении стенового ограждения жилых и общественных зданий. В настоящее время в Республики Беларусь освоен выпуск блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения плотностью 300 – 350 кг/м<sup>3</sup>, прочностью на сжатие 1,5 Н/мм<sup>2</sup>. Проведенные теплофизические исследования и расчеты показывают, что сопротивление теплопередаче каменных кладок из ячеистобетонных блоков плотностью 350 кг/м<sup>3</sup> на тонкослойных швах позволяет проектировать стеновое ограждение толщиной 400 мм без дополнительного утепления, что позволит повысить экономическую и энергетическую эффективность стенового ограждения при одновременном снижении затрат на его возведение. Практика показывает, что снижение средней плотности конструкционно-теплоизоляционного ячеистого бетона до 300 – 350 кг/м<sup>3</sup> позволяет:

- снизить себестоимость продукции;
- уменьшить расход ячеистого бетона на квадратный метр площади дома;
- снизить энергозатраты;

- снизить общий вес постройки, что дает дополнительную экономию на конструктивных элементах и стеновых материалах;
- облегчить доставку, погрузку-разгрузку ячеистобетонных блоков.

В то же время в строительных правилах СП 5.02.01-2021 [1] отсутствуют данные о механических характеристиках каменных кладок из ячеистобетонных блоков плотностью менее  $400 \text{ кг/м}^3$  на тонкослойных швах, а также конкретные указания по проектированию конструкций с применением указанных кладок, что сдерживает их широкое внедрение в строительную практику. Данное обстоятельство определяет актуальность темы НИР, ее научную и практическую значимость.

Настоящие исследования выполнялись в соответствии с договором № 151-ИС/24 от 12.08.2024 г, заключенным между филиалом РУП «Институт БелНИИС» – Научно-технический центр (с 01.11.2024 г. – филиал НТЦ РУП «СТРОЙТЕХНОРМ») и Государственным предприятием «Управляющая компания холдинга «БЦК».

В научно-техническом отчете приводятся результаты экспериментальных исследований прочностных и деформационных характеристик каменной кладки, выполненной из блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения (блоки стеновые 625×400×250-1,5-350-35-1 СТБ 1117-98 производства филиала № 5 «Гродненский КСМ» ОАО «Красносельскстройматериалы») на тонкослойных растворных швах (РСС, кладочная, тонкослойная, цементная, D1250, M25, Пк2, F35 ТУ ВУ 100120034.006-2011 производства филиала № 3 «Минский КСИ» ОАО «Белорусский цементный завод»).

В результате выполненных экспериментальных исследований установлены следующие характеристики кладочных материалов и каменной кладки:

- прочность при сжатии кладочных изделий;
- прочность при сжатии, прочности на растяжение при изгибе кладочного раствора (клея);
- прочность на сжатие каменной кладки;

- модуль упругости каменной кладки;
- прочность на растяжение при изгибе по перевязанному и непере-  
вязанному сечениям каменной кладки;
- значения начальной и предельной прочности при сдвиге вдоль го-  
ризоньальных швов каменной кладки;
- значения модуля сдвига и предельных деформаций при сдвиге по-  
перек горизонтальных швов каменной кладки;
- значения угла внутреннего трения при сдвиге вдоль горизонталь-  
ных швов каменной кладки, модуля сдвига при сдвиге поперек го-  
ризоньальных швов каменной кладки;
- прочность нормального сцепления методом изгибающего момента.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований получены прочностные и деформационные характеристики каменной кладки, выполненной из блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения (блоки стеновые 625×400×250-1,5-350-35-1 СТБ 1117-98 производства филиала № 5 «Гродненский КСМ» ОАО «Красносельскстройматериалы») на тонкослойных растворных швах (РСС, кладочная, тонкослойная, цементная, D1250, M25, Пк2, F35 ТУ ВУ 100120034.006-2011 производства филиала № 3 «Минский КСИ» ОАО «Белорусский цементный завод»).

### Прочностные характеристики кладочных изделий

№ п/п	Показатель	Числовое значение показателя
1	Нормированная прочность на сжатие кладочного изделия $f_b$ в соответствии с [3]	2,1 МПа

### Прочностные характеристики кладочного раствора

№ п/п	Показатель	Числовое значение показателя
1	Прочность кладочного раствора на растяжение при изгибе $f_{m1}$ в соответствии с [4]	3,04 МПа
2	Прочность кладочного раствора при сжатии $f_m$ в соответствии с [4]	14,18 МПа
3	Прочность кладочного раствора при сжатии $R_p$ в соответствии с [5]	14,83 МПа

### Прочностные характеристики кладки

№ п/п	Показатель	Числовое значение показателя
1	Характеристическое значение прочности на сжатие $f_k$ в соответствии с [6]	0,9 МПа
2	Характеристическое значение прочности на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению $f_{xk1}$ в соответствии с [7]	0,05 МПа
3	Характеристическое значение прочности на растяжение при изгибе по перевязанному сечению $f_{xk2}$ в соответствии с [7]	0,08 МПа
4	Характеристическое значение начальной прочности при сдвиге (касательного сцепления) $f_{vko}$ в соответствии с [8]	$0.065 \cdot f_b = 0,14$ МПа
5	Характеристическое значение угла внутреннего трения $tg\alpha_k$ в соответствии с [8]	–
6	Характеристическое значение предельной прочности при сдвиге $f_{vlt}$ в соответствии с [8]	$0.065 \cdot f_b = 0,14$ МПа
7	Среднее значение прочности при сдвиге поперек горизонтальных швов $f_{vvo}$ в соответствии с [9], [10]	0,15 МПа
8	Характеристическое значение прочности при растяжении (нормального сцепления) $f_{wk}$ в соответствии с [11]	0,15 МПа

### Деформационные характеристики кладки

№ п/п	Показатель	Числовое значение показателя
1	Модуль упругости каменной кладки (секущий модуль упругости) $E$ в соответствии с [6]	810 МПа
2	Коэффициент Пуассона	0,27
3	Коэффициент $K_E$	900
4	Среднее значение модуля сдвига при сдвиге поперек горизонтальных швов $G_{obs}$ в соответствии с [9], [10]	200 МПа
5	Среднее значение предельных деформаций при сдвиге поперек горизонтальных швов $\gamma_{obs}$ в соответствии с [9], [10]	0,67 мм/м