

**ЧИАДИГХИКАОБИ ПАСКАЛ ЧИМЕРЕМЕЗЕ**

**ОБЛЕГЧЕННЫЕ БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ С БАЗАЛЬТО-  
КОМПОЗИТНЫМ СТЕРЖНЕВЫМ И СЕТЧАТЫМ АРМИРОВАНИЕМ ДЛЯ  
СТРОИТЕЛЬСТВА В ПРИБРЕЖНЫХ ЗОНАХ НИГЕРИИ**

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения

**АВТОРЕФЕРАТ**

Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Работа выполнена в департаменте строительства инженерной академии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН)

Научный руководитель:	Галишникова Вера Владимировна доктор технических наук, доцент, профессор департамента строительства инженерной академии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»
Официальные оппоненты:	Давидюк Алексей Николаевич доктор технических наук, председатель совета директоров группы компаний КТБ Бучкин Андрей Викторович кандидат технических наук, заместитель директора по производственной работе «Научно- исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. Гвоздева (НИИЖБ)»
Ведущая организация:	ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН)

Защита состоится 28 декабря 2022 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета ПДС 2022.009 созданного на базе ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» по адресу: г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3, ауд. 370

С диссертацией можно ознакомиться в Учебно-научном информационном библиотечном центре (Научной библиотеке) РУДН по адресу: 117998, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

Электронная версия диссертации, автореферат и объявление о защите диссертации размещены на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки РФ (<http://vak.ed.gov.ru/>) и на сайте <https://www.rudn.ru/science/dissovet>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ г.

Ученый секретарь диссертационного совета ПДС 2022.009  
кандидат технических наук

Маркович А.С.

**Актуальность темы исследования** обусловлена проблемами внедрения и использования базальтовых материалов в строительстве гражданских зданий и сооружений в Нигерии. Наибольшее воздействие на строительные конструкции в нашем современном мире оказывают природные факторы. Принимая во внимание определенные свойства железобетона и бетона с крупнозернистым гранитным наполнителем, мы считаем важным внедрение новых материалов для изготовления бетонных конструкций, которые будут служить человеку лучше и дольше, в зависимости от места и назначения такой конструкции. Из темы диссертации, «Облегченные базальтофибробетонные конструкции с базальто-композитным стержневым и сетчатым армированием для строительства в прибрежных зонах Нигерии» следует, что мы должны учитывать показатели прочности используемого в данном регионе строительного бетона, гарантирующие надежность и долговечность. Крайне важной становится разработка бетона с меньшим собственным весом, соответствующей прочностью, более высокими характеристиками по сравнению с обычным бетоном и способным выдерживать суровые условия окружающей среды.

**Степень разработанности темы.** Этой и близким темам посвящены работы российских и зарубежных авторов (Абдаллах М.Т., Баженов Ю.М., Василовская Н.Г., Волков И.В., Габрусенко В.В., Грановский А.Ф., Долголаптев В.М., Ключев А.В., Лещинский М.Ю., Окольникова Г.Э., Оснос С.П., Перфилов В.А., Рабинович Ф.Н., Сарайкина К.А., Шляхтина Т.Ф., Abdelhamid С., Ahmad S.H., Arisoy B., Balendran R.V., Carrasquillo R.L., Ceroni F., Chaohua J., Hamadallah A., High C., Holm T.A., Hong Zh.C., Iyer P., Koh C.G., Tumadhir M.B., Wang J., Zhang M.H., и др.). Они исследовали вопросы прочности, трещин, деформацию и прогиба облегченных керамзитобетонных конструкций с разным содержанием рубленого базальтового волокна, с базальтовой арматурой, а также усиленные базальтовой сеткой бетонные колонны при воздействии нагрузок, оказываемых непосредственно на элементы этих конструкций. Особенности работы изогнутых и сжатых бетонных элементов с базальто-композитным армированием при нагрузках изучены недостаточно.

**Цели исследования.** Чтобы определить цели исследования, важно иметь представление о более ранних исследованиях в данной области. Чтобы сформулировать цели текущего исследования, необходимо принимать во внимание результаты предшествующих. Задача также состоит в том, чтобы провести исследование полностью независимо. Рассматриваются вопросы разработки экспериментальных проверок и реализации метода расчета на прочность и трещиностойкость поперечных сечений при изгибе базальтофибробетонных и обычных или предварительно напряженных конструкций с базальто-композитным стержневым армированием при статическом нагружении.

**Задачи исследования.** Для достижения указанной цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Построение экспериментальной модели пропорций бетонной смеси и разработка технологии получения облегченного керамзитобетона с базальтофибровым армированием.
2. Исследование и анализ прочностных характеристик облегченного керамзитобетона с базальтофибровым армированием в конструктивных элементах, таких как балки, колонны и плиты перекрытия.
3. Исследование и прояснение вклада керамзита в бетон как заполнителя.
4. Исследование и определение оптимальной доли рубленого базальтового волокна в облегченном керамзитобетоне с базальтофибровым армированием.
5. Исследование роли базальтовой фибры в облегченном керамзитобетоне с базальтофибровым армированием в трещиностойкости.
6. Вывод экспериментальной формулы прочности бетона.

**Научная новизна** диссертации состоит в получении новых сведений, касающихся прочности, деформативности и трещиностойкости изгибаемых керамзитобетонных элементов с дисперсным рубленым базальтовым волокном, базальто-композитным сетчатым армированием и базальтовой арматурой при воздействии статических нагрузок.

**Практическая и теоретическая значимость** проведенных исследований заключается в получении научно обоснованных результатов (диаграмм и зависимостей), применяемых для расчетов на прочность и трещиностойкость керамзитобетонных элементов с базальтовой фиброй и стержневым армированием базальтовой фиброй; в разработке на основе нелинейной деформируемой модели метода расчета на прочность и трещиностойкость керамзитобетонных элементов.

**Личное участие** соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, состоит в:

1. Постановке целей и задач исследования;
2. Составлении программы эксперимента, определении состава бетонов, технологии получения легкого бетона с базальтофибровым армированием;
3. Исследовании и анализе прочностных характеристик легкого бетона с базальтофибровым армированием в конструктивных элементах (балки, колонны и плиты);
4. Изучении особенностей применения керамзита в качестве заполнителя для получения легких бетонов;
5. Определении оптимального процента содержания рубленого базальтового волокна в легком бетоне с базальтофибровым армированием;
6. Исследовании влияния содержания базальтовой фибры на трещиностойкость керамзитобетонных конструкций;
7. Получении экспериментальных зависимостей для определения прочностных и деформативных характеристик легких бетонов;
8. Подготовке и публикации основных результатов исследований в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, SCOPUS и прочих изданиях.

**Методология и методы исследования.** Методы исследования, используемыми в данной диссертации, - обзор литературы, экспериментальные и аналитические. Для получения бетонных смесей был использован ряд компонентов. Эти компоненты оказывают индивидуальное воздействие на бетон. Бетонные кубы и призмы тестируются на 7-й, 14-й и 28-й день для проведения необходимого анализа. БФ добавляют в бетонную смесь в отношении 0,45%, 0,9%, 1,2% и 1,6%, не забывая о контрольной смеси без БФ. Эти образцы подвергались двум основным испытаниям: на сжатие и изгиб. Хотя порядок их проведения различен.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Аналитические зависимости расчетной диаграммы нелинейной деформации базальто-фибро-армированного облегченного керамзитобетона под воздействием статической нагрузки.
2. Методика расчета на прочность и трещиностойкость поперечных сечений при сжатии и изгибе бетонных элементов с дисперсным рубленым базальтовым волокном, базальто-композитным сетчатым и армированием и с базальтовой арматурой при статическом нагружении, реализация деформационной модели, принимающей в расчет неармированный и базальто-фибро-армированный керамзитобетон.
3. Результаты численных исследований прочности, сжимаемости, деформирования и трещиностойкости при изгибе поперечных сечений бетонных элементов с армированием базальтовой фиброй при статическом нагружении.
4. Методы и результаты экспериментальных исследований прочности, деформирования и трещиностойкости при сжатии и изгибе поперечных сечений бетонных элементов с базальто-композитным армированием при статическом нагружении.

**Степень достоверности результатов** проведенных исследований обоснована корректным использованием общепринятых положений теории железобетона, строительной механики, механики твердого тела и предпосылок, установленных на основе обширного анализа теоретических и экспериментальных методик исследования прочности материалов и конструкций при статическом нагружении. Верификация предлагаемого метода расчета керамзитобетонных конструкций проводилась на основе результатов экспериментов, проведенных в лаборатории строительных материалов и строительных конструкций департамента строительства Инженерной академии РУДН с использованием современного

сертифицированного испытательного оборудования и проверенных измерительных приборов. Точность разработанного метода подтверждается удовлетворительной сходимостью результатов расчета с экспериментальными данными.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы были представлены в докладах и одобрены на научных семинарах Департамента строительства Инженерной академии РУДН (2017-2020 годы). Часть диссертации была представлена на семинаре и лекции в Технологическом университете Кросс-Ривер, Калабар, Нигерия (2018, 2019).

**Публикации.** Материалы диссертационного исследования полно представлены в 9 научных публикациях, в том числе 3 статьи опубликованы в журналах, включенных в Перечень РУДН/ВАК, 6 статей в изданиях, индексируемых в БД Scopus и Web of Science.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 167 наименований. Содержание диссертации изложено на 131 страницах, включая 70 иллюстраций, 12 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В аннотации** кандидатской диссертации объясняется актуальность предмета исследования, степень проработки темы, объем исследования, цели исследования, объект исследования, предмет исследования, методология и методы исследования, научная новизна диссертации, теоретическая и практическая значимость диссертации, достоверность результатов работы, положения о защите, степень достоверности и апробации работы.

**В первой главе** были объяснены и проанализированы предпосылки проверки системой конструкции Нигерии, материалы, используемые в строительстве, свойства и недостатки. Причиной использования современных волокнистых композиционных материалов при строительстве в Нигерии является улучшение, прочность и долговечность конструкций. Учитывая тип окружающей среды, полученный в Нигерии, лучшие армирующие материалы, такие как армированные фиброволокном полимеры (ФВП), рассматриваются для использования в строительстве бетонных конструктивных элементов для сжатия, растяжения и изгиба.

Дано описание современного уровня знаний о прочностных и деформационных характеристиках, коррозионной стойкости и трещиностойкости конструкций из облегченного керамзитобетона с армированием базальтовой фиброй и базальтовой арматурой. Также дан анализ эффективности керамзита, базальтового волокна и базальтовых стержней.

Несколько исследований показали, что базальтовое волокно является хорошей заменой стекловолокну с точки зрения прочности, деформации разрушения, коррозионной устойчивости и стоимости J. Sim, K. Velde, A.B. Ключев.

Большая часть исследований базальтофибробетона была сосредоточена на его механических свойствах M.H. Zhang, Y. Xie, C. High, P. Iyer, ACI Committee 544, M. Quattrociochi, Ф.Н. Рабинович.

В строительстве используется и такой современный арматурный материал, как базальтовая сетка. Как и многие другие армирующие композитные материалы, эта сетка имеет в основе неметаллические волокна. Сетка не проводит тепло, не подвержена коррозии, воздействию щелочей и низких температур в соответствии с F. Monni.

Керамзитовые заполнители используются в различных отраслях промышленности в силу их технических характеристик и многочисленных преимуществ в сравнении со многими другими видами промышленного сырья. Свойства, характеристики и производство указаны в работах R. Vijayalakshmi, S. Rattanachan, L. Vodnárová.

Влияние процентного содержания и размеров рубленой базальтовой фибры в легком керамзитобетоне обсуждено в работе Zh.C. Hong, C.G. Koh, M.Q. Teng, T.H. Wee, J. Chaohua, F. Ke, W. Fei, Ch. Da, J.A. Bogas, M.G. Gomes, A. Gomes, J. J. Shideler, T. A. Holm, T. V. Bremner, В.А. Перфилов, М.О. Зубова, Т.Ф. Шляхтина, С.В. Ключев.

Интересным свойством базальто-фибро-армированного бетона (БФАБ) является его дуктильность. Однако задокументировано очень немного экспериментов по исследованию данного свойства. Некоторые из работ, в которых рассматривались вопросы пластичности R.

Park, C. High, H.M. Satsem, A.E. Safty, S.H. Rizkalla, C.G. Koh, M.Q. Teng, T.H. Wee, M.J. Muyasser, H.A. Daham, M.R. Saad, C. Abdelhamid, M.S. Jamal, D. Saleh, Т.Ф. Шляхтина, В.А. Перфилов.

Влияние базальтовой фибры в легком керамзитобетоне на прочность на сжатие и изгиб были обсуждены и анализированы А. Hamadallah А, А. Benedetti, Т. А. Holm, Т. V. Bremner, Т. Faust. Далее, прочность на разрыв была исследована М. Н. Zhang, О. Е. Gjörv, R. V. Balendran, F. P. Zhou, A. Nadeem, A. Y. T. Leung.

**Вторая глава** представлена материалы, методики и экспериментальные исследования прочности, трещиностойкости и деформируемости свободно опирающихся обычных и предварительно напряженных гнутых и сжатых рубленых базальтовых волокон легкого керамзитобетона с базальтовой арматурой в качестве композиционных арматурных элементов со статическим нагружением. В настоящей главе подробно рассмотрены материалы, необходимые для проведения экспериментов.

Изобретение касается состава облегченного керамзитового базальтофибробетона и может найти применение в промышленности строительных материалов.

Пропорции/проценты рубленого базальтового волокна (фибры), которые будут рассмотрены: 0,45% БФ, 0,9% БФ, 1,2% БФ и 1,6% БФ. Для получения этих процентных соотношений использовалось уравнение (1). Средняя плотность используемого облегченного керамзитобетона составляет 1500 кг/м<sup>3</sup>.

$$\frac{\%БФ}{100} \times \text{Плотность бетона} \quad (1)$$

Экспериментальные исследования проводился в соответствии с Межгосударственным стандартом СНГ ГОСТ 10180-2012.

Согласно плану исследования, для приготовления облегченного керамзитобетона использовались следующие материалы:

- Керамзит фракцией 5-8 мм = 200 кг/м<sup>3</sup> в качестве крупнозернистого заполнителя.
- Кварцевый песок фракции 0,8-1,4 мм с модулем крупности 2,7 = 585 кг/м<sup>3</sup> в качестве мелкого заполнителя.
- Кварцевая мука 50 мкм = 100 кг/м<sup>3</sup> в качестве минерального наполнителя.
- Портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н = 500 кг/м<sup>3</sup> в качестве вяжущего.
- Микрокремнезем = 62,5 кг/м<sup>3</sup> и МБ 10-50С = 62,5 кг/м<sup>3</sup> в качестве добавок на органической основе.
- SikaPlast Concrete = 8 л/м<sup>3</sup> в качестве суперпластифицирующей и водопонижающей добавки.
- Водопроводная вода = 255 л/м<sup>3</sup> для смешения.

Для волокнистых добавок и армирования:

- Рубленое базальтовое волокно длиной 20 мм и диаметром 15 мкм.
- Арматура из базальтового волокна диаметром 10 мм.
- Базальтовая сетка с ячейками 25 мм x 25 мм. Стальная арматура Ø10mm

В процессе данного эксперимента для определения наилучшего процентного содержания базальта (БФ) при сжатии и изгибе был произведен общий набор из 5 (пяти) бетонных смесей. Каждая из этих смесей дала в общей сложности 135 образцов кубов размерами 100 x 100 x 100 мм. Эти 135 образцов кубиков были распределены по 3 различным дням испытаний (7-й, 14-й и 28-й день), что составило 27 кубов в день. Экспериментальные испытания облегченного керамзитобетона проводились на гидравлическом прессе до 1500 кН при испытании на сжатие.

Для проведения эксперимента по испытанию на изгиб будет подготовлено всего 5 бетонных смесей. Из каждой из этих смесей было изготовлено 27 образцов прямоугольных призм размером 40 x 40 x 160 мм. Эти 27 кубических образцов будут распределены на 3 разных дня испытаний (день 7, 14 и 28), что составит в общей сложности 135 кубических образцов для испытания на изгиб. Такой размер призм используется в экономических целях. Чтобы установить наилучшее процентное содержание рубленого базальтового волокна для этого облегченного керамзитобетона, подтверждение этого процента будет проведено на образцах размером 100 x 100 x 400 мм с меньшими образцами. Будут подготовлены 5 бетонных смесей. Из каждой из этих смесей было изготовлено 9 образцов прямоугольных призм. Эти 9 образцов призм будут

распределены на 3 разных дня испытаний (день 7, день 14 и день 28), что составит в общей сложности 45 образцов призм для испытания на изгиб. 5 бетонных смесей те же, что и в призмах 40 x 40 x 160 мм. Экспериментальное исследование керамзитобетона при испытании на изгиб, до 150 кН, проводилось на гидравлическом прессе.

После испытания на прочность на сжатие и на изгиб выбирается подходящий процент рубленого базальтового волокна, который будет использоваться во всех последующих бетонных смесях в настоящей диссертации.

Колонны формируются в евро-форме для цилиндрических колонн диаметром  $\varnothing 150$  мм x 300 мм высотой. Всего было изготовлено 18 цилиндрических колонн из 3-х комплектов, из которых по 6 элементов в каждом комплекте. Тип цилиндра 1, Тип цилиндра 2, Тип цилиндра 3.

Три тензометрических датчика расположены на корпусе цилиндрической керамзитобетонной колонны и пронумерованы цифрами 1, 2, 3, как показано на рисунке 1. Тензометрические датчики 1 и 2 предназначены для измерения деформации в следствие напряжения вертикальной зоны колонны, а тензометрический датчик 3 - для измерения горизонтальной деформации колонны. Испытание на сжатие на гидравлическом прессе ПГ-100. На рисунке 2 показаны схемы тензометрических датчиков для керамзитобетонных цилиндрических колонн.



Рисунок 1. Расположение тензометрических датчиков на цилиндрической керамзитобетонной колонне

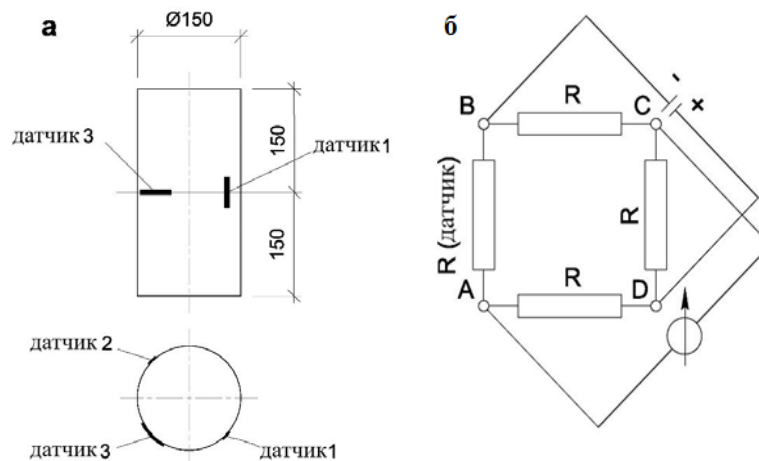


Рисунок 2. Испытание цилиндрической колонны из керамзитобетона: а – расположение тензометрических датчиков; б – схема подключения тензометрических датчиков

Для сгибающих элементов, испытание на изгиб/прогиб проводится на 24 керамзитобетонных балках. Эти 24 балки армированы по четырем разным схемам, описанным ниже.

- Балка типа 1: 6 балок из облегченного керамзитобетона, усиленные двумя базальтовыми арматурами  $2\varnothing 10$ mm.

- Балка типа 2: 6 балок из облегченного керамзитобетона, усиленных двумя базальтовыми арматурами  $2\phi 10$  мм дисперсной БФ, длиной 20 мм, диаметром 15 мкм.

- Балка типа 3: 6 балок из облегченного керамзитобетона, усиленных одной базальтовой арматурой  $1\phi 10$  мм и одной стальной арматурой  $1\phi 10$  мм в области балки, работающей на растяжение, и дисперсной БФ.

- Балка типа 4: 6 балок из облегченного керамзитобетона, усиленных двумя базальтовыми арматурами  $2\phi 10$  мм, дисперсной БФ, длиной 20 мм, диаметром 15 мкм, и базальтофибровым полимером (сеткой) с размером ячеек 25 x 25 мм.

В рамках проведения четырехточечного испытания на изгиб наверху балки для определения зоны сжатия выбираются две симметричные точки нагружения (см. рисунок 3а). Для определения прогиба используется электронный тензометрический датчик (см. рисунок 3б). Измеритель прогиба размещается под балкой.

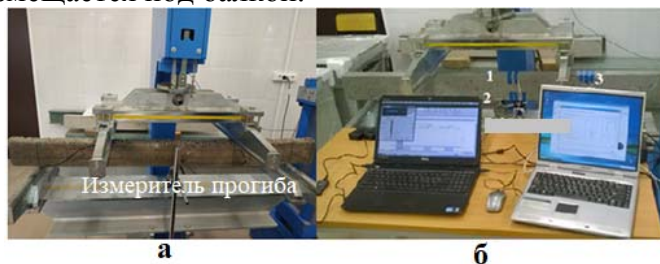


Рисунок 3. Расположение датчика и измерителя прогиба на балке

Три тензометрических датчика расположены на корпусе керамзитной балки и пронумерованы цифрами 1, 2, 3, как показано на рисунке 3б and рисунке 4.

Тензометрические датчики 1 и 2 для измерения трещин и деформаций в зоне сдвига и изгиба балки в то время как тензометрический датчик 3 предназначен для измерений в зоне деформационного изгиба.

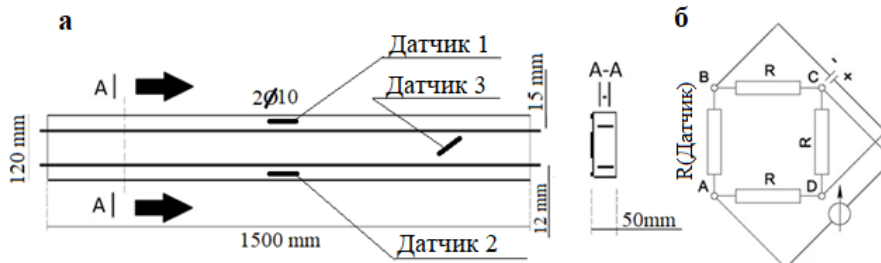


Рисунок 4. Испытание керамзитобетонных балок: а – тензометрические датчики на керамзитобетонной балке; б – схема подключения тензометрических датчиков

Испытание на изгиб/прогиб проводилось на 12 керамзитобетонных плитах. Эти 12 плит были армированы четырьмя различными способами, описанными ниже.

- 3 плиты из облегченного керамзитобетона, усиленных  $5\phi 10$  мм на продольном сечении плит и  $15\phi 10$  мм на в поперечном сечении плит и дисперсной БФ, длиной 20 мм, диаметром 15 мкм (плита 1-го типа).

- 3 плиты из облегченного керамзитобетона, усиленных базальтовыми арматурами  $5\phi 10$  мм на продольном сечении плит и  $15\phi 10$  мм на в поперечном сечении плит (плита 2-го типа).

- 3 плиты из облегченного керамзитобетона, усиленного базальтовыми арматурами  $5\phi 10$  мм на продольном сечении плит и  $15\phi 10$  мм на в поперечном сечении плит + базальтофибровым полимером (сеткой) с ячейкой 25 x 25 мм (плита 3-го типа).

- 3 плиты из облегченного керамзитобетона, усиленных базальтовыми арматурами  $5\phi 10$  мм на продольном сечении плит и  $15\phi 10$  мм на в поперечном сечении плит и дисперсной БФ, длиной 20 мм, диаметром 15 мкм, и базальтофибровым полимером (сеткой) с размером ячеек 25 x 25 мм (плита 4-го типа).

Размеры керамзитобетонных плит: длина 1500 мм x ширина 500 мм x толщина 65 мм.



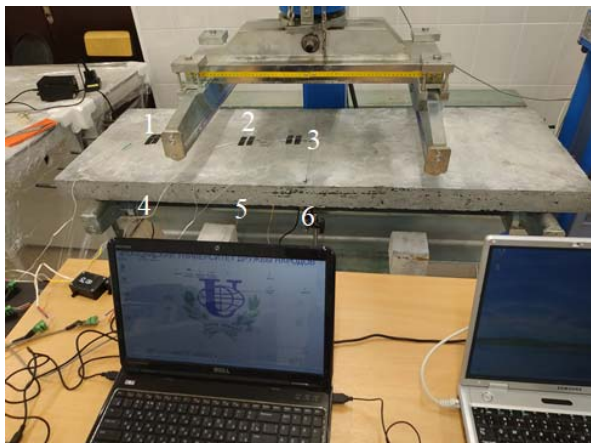


Рисунок 5. Расположение тензометрических датчиков на керамзитобетонной балке

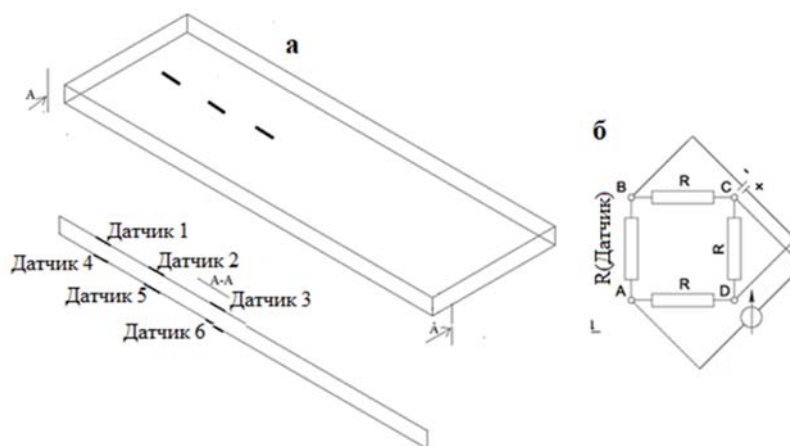


Рисунок 6. Испытание керамзитобетонных плит: а – расположение тензометрических датчиков; б – схема подключения тензометрических датчиков

Шесть тензометрических датчиков расположены на керамзитобетонных плитах и пронумерованы как 1, 2, 3, 4, 5 и 6, как показано на рисунке 5 и 6а. Датчики 2, 3, 5 и 6 предназначены для измерения трещин и деформаций в зонах сдвига и изгиба балки, а датчики 1 и 4 - для измерения деформаций зоны изгиба. Тензометрические датчики 4, 5 и 6 устанавливаются в зоне натяжения плиты и непосредственно под датчиками 1, 2 и 3 соответственно.

Для регистрации деформаций тензодатчики были подключены к тензометрической станции Zetlab по схеме "полный мост" (Рис. 2б, 4б, 6б). Сопротивление тензометрических датчиков 200 Ом.

**В третьей главе** представлены результаты исследований и обсуждения диссертации с выводами.

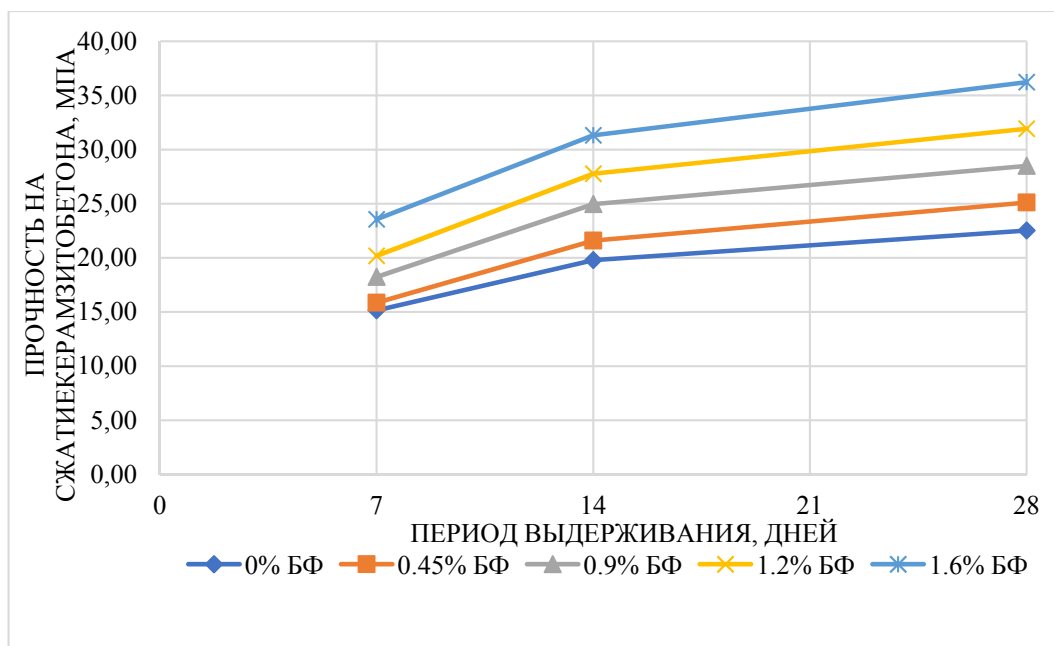


Рисунок 8. Прочность керамзитобетона на сжатие в зависимости от периода выдерживания образцов размером 100x100x100 мм

Результаты оценки прочности на сжатие показаны на рисунке 8. Это средний результат 9 образцов керамзитобетонных кубов для БФ% и дня испытания.

Экспериментальное исследование керамзитобетонных образцов (рисунок 8) показало, что добавление БФ в керамзитобетон приводит к повышению прочности на сжатие. Результаты также показали, что прочность на сжатие за 7 дней выдерживания может достигать около 60% от прочности на сжатие за 28 дней, независимо от того, содержит ли керамзитобетон БФ.

На основе аналитических данных с использованием теории вероятностей и математической статистики была разработана математическая модель прочности на сжатие керамзитобетона в зависимости от процентного содержания цемента и периода выдерживания (2).

$$R_c = R_c^t + \frac{1,245te^{45F}}{e^{45F} + \frac{e^{45F}}{t_F}} \quad (2)$$

где  $R_c$  – прочность на сжатие керамзитобетона, МПа;  $R_c^t$  – прочность на сжатие керамзитобетона (без БФ) соответствующей марки на заданный день, МПа; 1,245 – коэффициент изменения прочности на сжатие керамзитобетона с БФ за период, МПа/сут;  $e$  – экспоненциальная функция,  $e \approx 2,71828$ ;  $F$  – доля БФ в керамзитобетоне, в относительных единицах;  $t$  – период выдерживания, сут ( $t \leq 28$  дней);  $t_F$  – экспозиция БФ в керамзитобетоне,  $t_F = t$ , без единиц измерения.

Предложенную аналитическую модель целесообразно применять для оценки прочности на сжатие керамзитобетона с точностью  $\pm 4-5\%$  и коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,935$ . Он позволяет определить допустимую нагрузку на конструкцию, работающую на сжатие, например, на стены.

Из результатов, приведенных в рисунке 8, следует, что 1,6% БФ является лучшим вариантом для добавления в керамзитобетон. Поэтому для последующих экспериментов в рамках настоящей диссертации именно 1,6% БФ принято для армирования керамзитобетонной смеси.

Для определения прочности на изгиб в экономических соображениях используются образцы керамзитобетона размером 40x40x160 мм. Там же определено оптимальное содержание БФ в керамзитобетонных структурных элементах. Вышесказанное рассмотрено далее в настоящей диссертации. После этого проанализировано меньшее число прямоугольных призм размером 100x100x400 мм для подтверждения результатов, полученных по керамзитобетонным

образцам размером 40x40x160 мм. Результаты лабораторных испытаний образцов керамзитобетона размером 40x40x160 мм на прочность на изгиб приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты лабораторных испытаний образцов керамзитобетона размером 40x40x160 мм на прочность на изгиб

Выдерживание бетона, дней	Прочность на изгиб, МПа				
	0% БФ	0.45% БФ	0.9% БФ	1.2% БФ	1.6% БФ
7	0.235	0.377	0.418	0.468	0.611
14	0.359	0.546	0.637	0.737	0.887
28	0.479	0.702	0.783	0.913	1.111

Результаты лабораторных испытаний образцов из керамзитобетона размером 100x100x400 мм на изгиб приведены в рисунке 9.

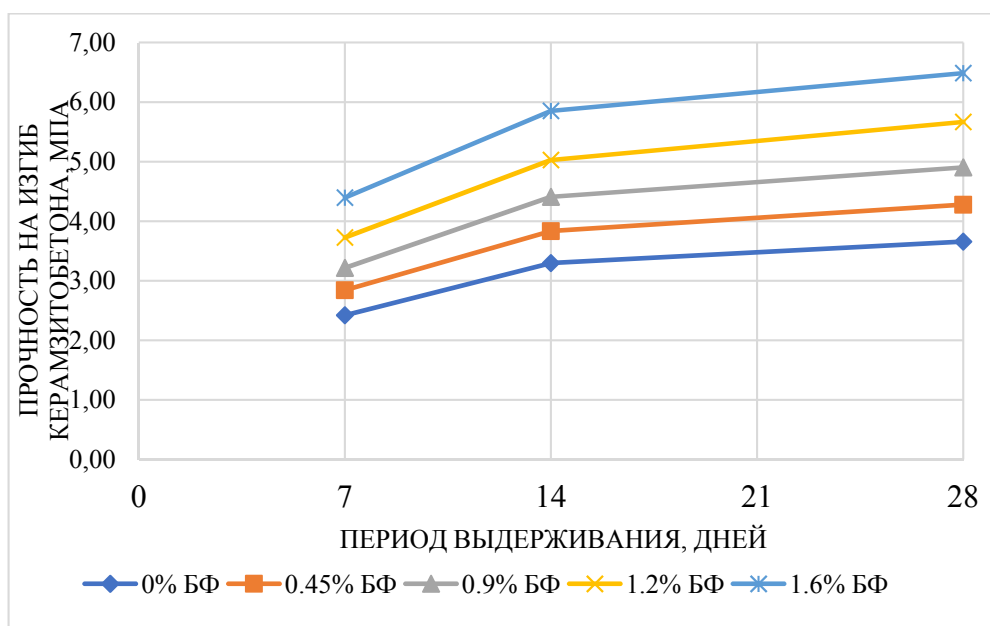


Рисунок 9. Прочность керамзитобетона на изгиб в зависимости от периода выдерживания образцов размером 100x100x400 мм

Анализируя диаграммы на рисунке 9, можно сделать вывод, что керамзитобетон с 0,9 мас.% БФ увеличивает прочность на сжатие более чем на 20%, в то время как 1,6 мас.% БФ – более чем на 50%, а прочность на изгиб 0,9 мас.% БФ увеличивает более чем на 30%, в то время как 1,6 мас.% БФ – более чем на 75%, т. е. высокий процент содержания БФ в керамзитобетоне дает более высокую прочность.

Анализ диссертации показывает, что характер изменения прочности на сжатие и прочности на изгиб керамзитобетона в зависимости от доли БФ и периода выдерживания идентичен и растет экспоненциально.

На основе аналитических данных с использованием теории вероятностей и математической статистики была разработана аналитическая модель прочности на изгиб керамзитобетона в зависимости от процентного содержания цемента и периода выдерживания (3).

$$R_f = R_f^t + \frac{0.215te^{53F}}{e^{53F} + \frac{e^{53F}}{t_F}} \quad (3)$$

где  $R_f$  – прочность на изгиб керамзитобетона, МПа;  $R_f^t$  – прочность на изгиб керамзитобетона (без БФ) соответствующей марки на заданный день, МПа; 0,215 – коэффициент изменения прочности на изгиб керамзитобетона с БФ за период, МПа/сут;  $e$  – экспоненциальная функция,  $e \approx 2.71828$ ;  $F$  – доля БФ в керамзитобетоне, в относительных единицах;  $t$  – период выдерживания, сут ( $t \leq 28$  дней);  $t_F$  – экспозиция БФ в керамзитобетоне,  $t_F = t$ , без единиц измерения.

Предложенную аналитическую модель целесообразно применять для оценки прочности на изгиб керамзитобетона с точностью  $\pm 4-5\%$  и коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,927$ . Она позволяет определить допустимую нагрузку на конструкцию, работающую на изгиб, например, на плиты перекрытий.

Испытания на изгиб показывают, что добавление 1,6% БФ в керамзитобетон дает наилучшие прочностные результаты. Поэтому именно 1,6% БФ принимается для конструктивных бетонных элементов, работающих на изгиб.

### Испытания цилиндров

**Тип цилиндра 1.** Из экспериментов следует, что керамзитобетонная цилиндрическая колонна выдержала нагрузку до 19,6 тонн. Деформации измерялись с шагом в 5 тонн. На рисунке 10, датчик 1 (синяя кривая), датчик 2 (оранживая кривая) и датчик 3 (серая кривая), а среднее сжатие (жёлтая кривая) где датчик 1 продолжал считывание с 18:53:00 с деформацией 0,000004 до 18:56:33 с деформацией -0,001206, датчик 2 - с 18:53:00 с деформацией 0,000004 до 18:57:30 с деформацией -0,001162, а датчик 3 – с 18:53:00 с деформацией 0,000004 до 18:56:07 с деформацией -0,000257.

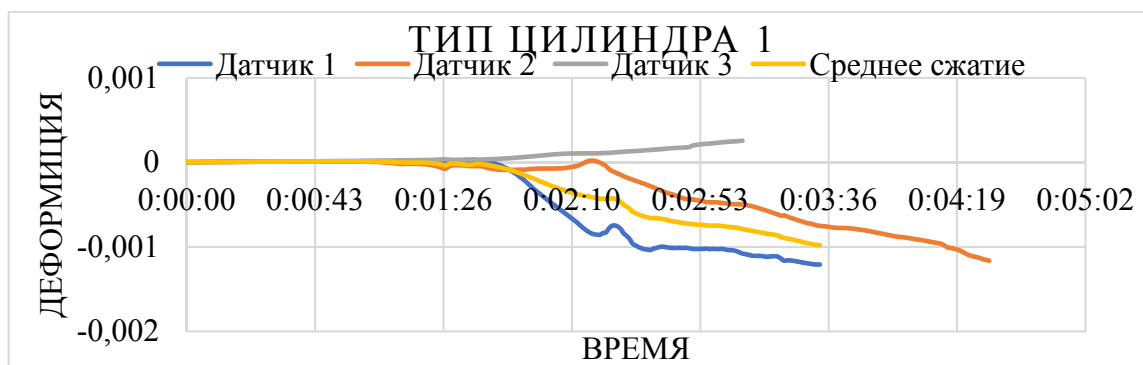


Рисунок 10. Время-деформация со средним сжатием цилиндра типа 1

**Тип цилиндра 2.** Из экспериментов следует, что керамзитобетонная цилиндрическая колонна с БФ выдерживает нагрузку до 26,67 тонн. На рисунке 11 даны показания датчиков: датчик 1 (синяя кривая), датчик 2 (оранжевая) и датчик 3 (серая) где датчик 1 продолжал считывание с 18:53:00 с деформацией 0,000023 до 18:54:50 с деформацией -0,00136, датчик 2 в 18:53:00 имел 0 (нулевую) деформацию, продолжал считывание с 15:53:09 с деформацией -0,000012 до 18:53:59 с деформацией -0,000575, а датчик 3 - с 18:53:00 с деформацией 0,000011 до 18:53:59 с деформацией 0,000127.

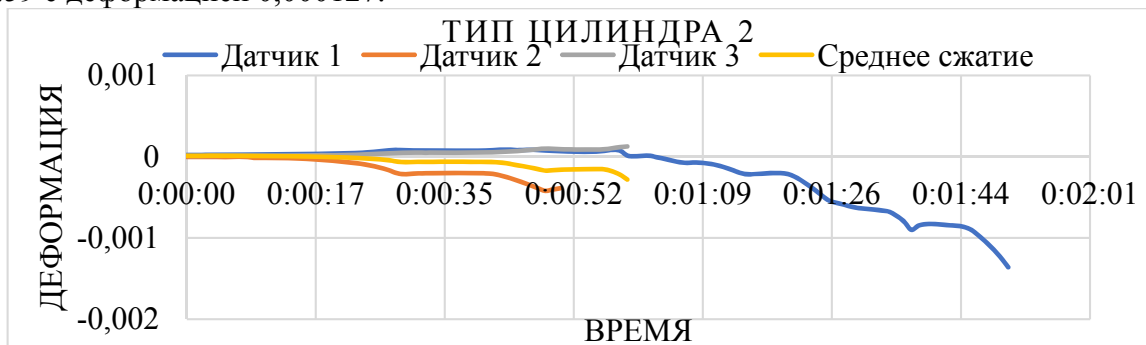


Рисунок 11. Время-деформация со средним сжатием цилиндра типа 2

**Тип цилиндра 3.** Керамзитобетон с БФ и базальтовой сеткой выдержал нагрузку в 29 тонн. На рисунке 12 даны показания датчиков: датчик 1 (синяя кривая), датчик 2 (оранжевая) и датчик 3 (серая) где датчик 1 продолжал считывание с 18:53:00 с деформацией 0,000014 до 18:54:40 с деформацией -0,001466, датчик 2 – с 18:53:00 с деформацией 0,000004 до 18:54:40 с деформацией -0,001466.

деформацией -0.001889, а датчик 3 – с 18:53:00 с деформацией 0.000013 до 18:54:30 с деформацией 0.0002.

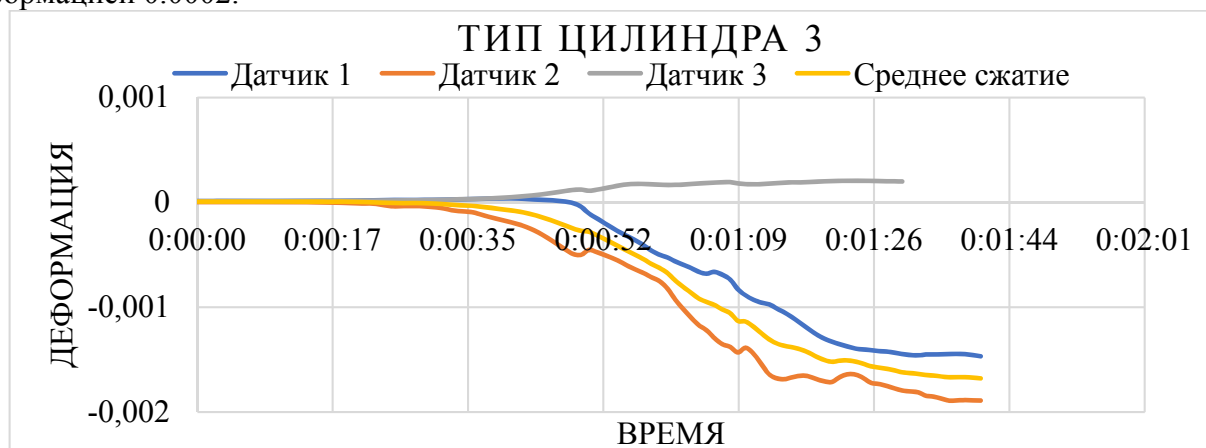


Рисунок 12. Время-деформация со средним сжатием цилиндра типа 3

Прочность на сжатие керамзитобетонных цилиндров, показанна на рисунке 13, показанно, что керамзитобетонный цилиндр, армированный БФ и базальтовой сеткой (цилиндр типа 3), обладает лучшим прочностью на сжатие.

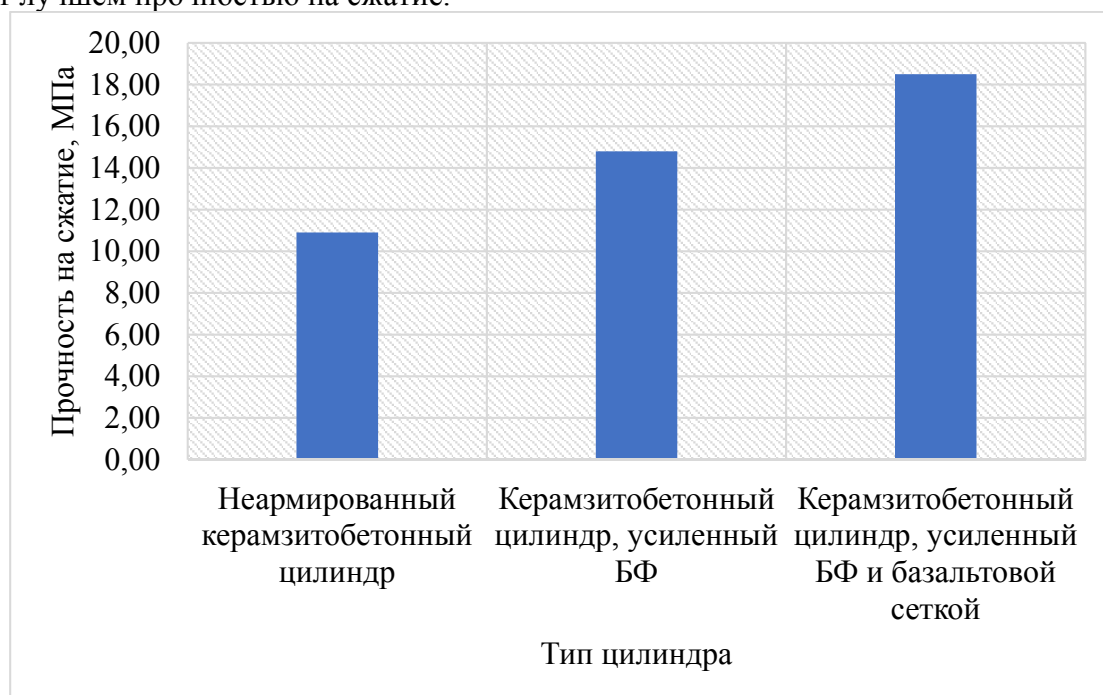


Рисунок 13. Прочность на сжатие цилиндрических колонн из керамзитобетона

Диаграмма деформации-напряжения керамзитобетонных цилиндрических колонн типа 3 проиллюстрирована на рисунке 14. Схема деформации керамзитобетона при сжатии, показанная на рисунке 14, может быть аппроксимирована полиномом третьей степени (пунктирной линией) (5):

$$\sigma(\varepsilon) = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon^3 + \alpha_2 \varepsilon^2 + \alpha_3 \varepsilon, \quad (5)$$

где  $\sigma$  – напряжение;  $\varepsilon$  – деформация;  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – постоянные коэффициенты. Значения постоянных коэффициентов являются  $\alpha_0 = -1,4743, \alpha_1 = 2 * 10^{10}, \alpha_2 = 4 * 10^7, \alpha_3 = 30659$ .

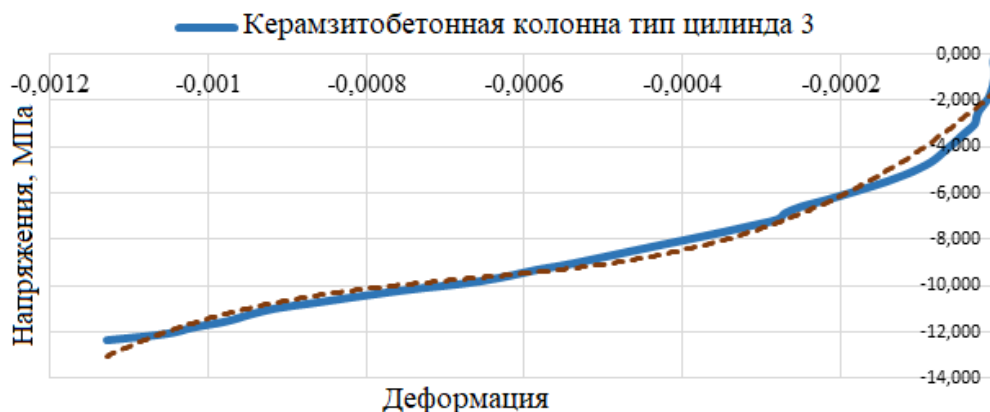


Рисунок 14. Напряжение–деформация цилиндрической керамзитобетонной колонны типа 3

### Испытания балок

В рамках проведения четырехточечного испытания на изгиб наверху балки для определения зоны сжатия выбираются две симметричные точки нагружения (см. рисунок 15).

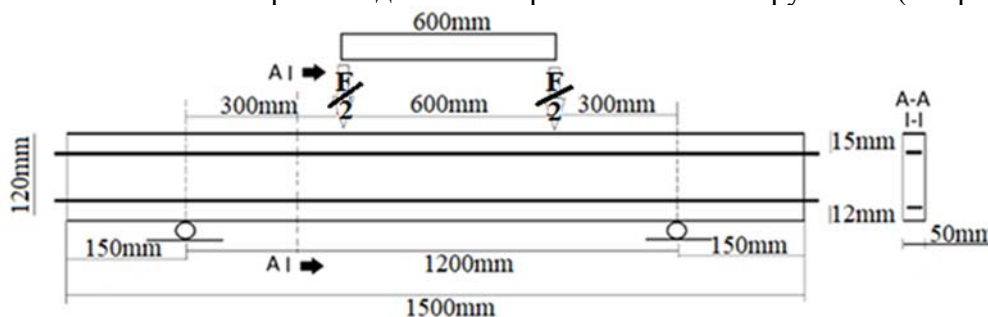


Рисунок 15. Нагружение керамзитобетонной балки

**Балка типа 1.** При проведении экспериментальных испытаний керамзитобетонной балки с дисперсной базальтовой фиброй и базальтовой арматурой ширина первой трещины в растянутой бетонной балке для измеренного и скорректированного составляет 3,64 и 2,573 мм соответственно при нагрузке до 4 кН. Однако ширина трещины балки в растянутой зоне для измеренного и скорректированного составляет 4,34 мм и 3,068 мм соответственно при приложенной нагрузке 4,9 кН. А ширина разрушения балки от плоскости скалывания у фиксатора для измеренного и скорректированного составляет 6,07 мм и 4,291 мм соответственно при приложении нагрузки 7,1 кН.

**Балка типа 2.** В ходе экспериментального испытания прогиб балки наблюдался 1,796 мм при приложении нагрузки 2,7 кН. Однако, когда ширина трещины балки находится в зоне натяжения, прогиб составляет 2,446 мм при приложении нагрузки 3,6 кН. А ширина разрушения балки от расщепления опоры с прогибом 2,884 мм при приложении нагрузки 4,2 кН., см. таблицу 3.8 ниже.

**Балка типа 3.** Балка разрушилась в зоне сдвига. Сначала на балке были видны трещины от изгиба, затем трещина от сдвига + трещина от изгиба.

**Балка типа 4.** Сначала на балке были видны трещины от изгиба, затем трещина от сдвига + трещина от изгиба. Балка типа 4 показала больший прогиб со средней нагрузкой по сравнению с нагрузками 4-х типов балки. После снятия нагрузки с балки наблюдался характер пластичности, т.к. балка вернулась на 96% в исходное состояние с очень небольшими трещинами.

На рисунке 16 балка типа 3 соответствует оранжевая кривая на графиках датчиков 1, 2 и 3. На рисунке 16 для балки типа 2 датчик 1 продолжал считывание с 17:30:00 с деформацией 0,000007 до 17:57:14 с деформацией -0,000868, датчик 2 – с 17:30:00 с деформацией 0,000024 до 17:57:14 с деформацией 0,000052, а датчик 3 – с 17:30:00 с деформацией 0,000039 до 17:57:14 с

деформацией 0,000383. Испытание на деформацию началось в 17:30:00 и закончилось в 17:54:14. На рисунке 16 показан график времени-деформации балки типа 3.

На рисунке 16 балка типа 4 соответствует синяя кривая на графиках датчиков 1, 2 и 3. На рисунке 16 с балки типа 4 датчик 1 продолжал считывание с 17:30:00 с деформацией -0.000007 до 17:49:22 с деформацией -0.000982, датчик 2 продолжал считывание с 17:30:00 с деформацией 0.000007 до 17:49:22 с деформацией 0.000059, в то время как датчик 3 продолжал считывание с 17:30:00 с деформацией 0.000002 до 17:49:22 с деформацией 0.000096. Испытание на деформацию началось в 17:30:00 и закончилось в 17:49:22.

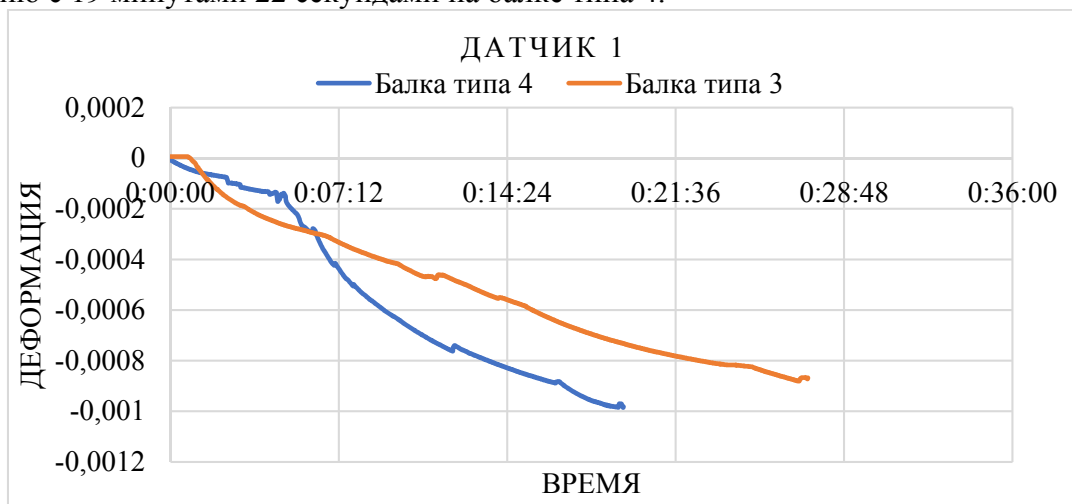
На рисунке 16 показан график времени-деформации балки типа 3 и балки типа 4. Проиллюстрированы графики времени-деформации по 3 (трем) датчикам, расположенным на балке типа 3 и балке типа 4.

На рисунке 16а видно, что датчик 1 на балке типа 3 выдержал дольше (27 минут 15 секунд) по сравнению с 19 минутами 22 секундами на балке типа 4.

На рисунке 16б видно, что датчик 2 на балке типа 3 выдерживал дольше (27 минут 15 секунд) по сравнению с 19 минутами 22 секундами на балке типа 4.

На рисунке 16в видно, что датчик 3 на балке типа 3 выдержал дольше (27 минут 15 секунд) по сравнению с 19 минутами 22 секундами на балке типа 4.

а)



б)



в)

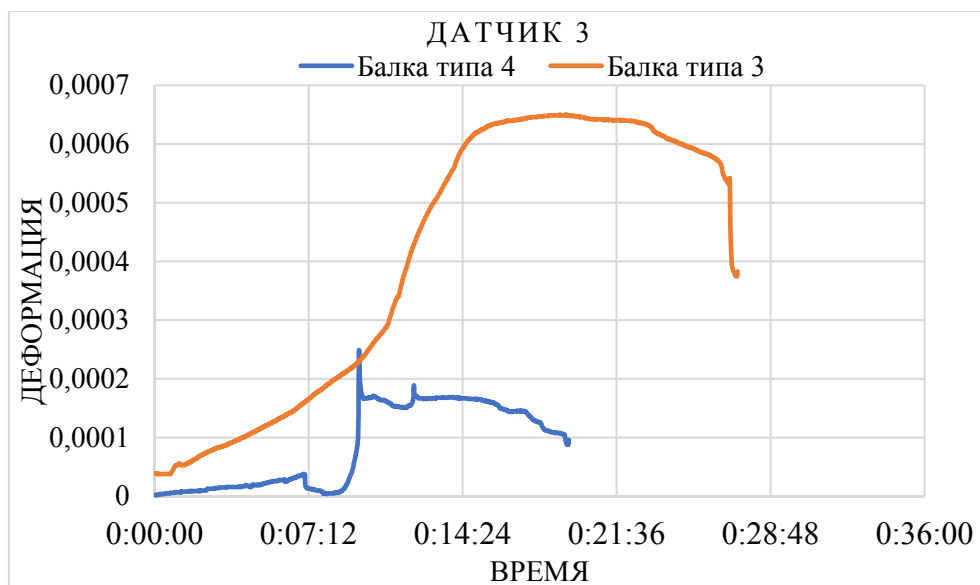


Рисунок 16. Нагрузка-деформация балки типа 3 и 2: а) график времени-деформации по датчику 1 в балках типов 1 и 2; б) график времени-деформации по датчику 2 в балках типов 1 и 2; в) график времени-деформации по датчику 3 в балках типов 1 и 2.

**Плита 1-го типа.** В рамках проведения четырехточечного испытания на изгиб наверху плиты для определения зоны сжатия выбираются две симметричные точки нагружения (рисунок 17). Это приводит к образованию промежутка посередине между точками нагружения, с постоянным изгибающим моментом и высокой подверженностью силе сдвига. Когда приложенная статическая нагрузка была удалена, трещины в зоне натяжения плиты были отмечены так, как показано на рисунке 18.



Рисунок 17. Прогиб под нагрузкой плита типа 1



Рисунок 18. Образование трещин плита типа 1

Плита обрушилась от зоны сдвига. Датчики измеряли деформацию на плите. Когда налагаемая нагрузка была снята с плиты, плита возвращалась в исходную форму с небольшим количеством заметных трещин.

**Плита 2-го типа.** Когда приложенная статическая нагрузка была удалена, трещины в зоне натяжения плиты были отмечены так, как показано на рисунке 19. Сравнивая плиту 1 с плитой 2, видно, что плита 1 выдержала больше трещин, чем плита 2, причиной чего является включение дисперсного рубленого базальтового волокна в плиту 1, которой нет в плите 2.



Рисунок 19. Результаты трещин плита типа 2

**Плита 3-го типа.** В рамках проведения четырехточечного испытания на изгиб наверху плиты для определения зоны сжатия выбираются две симметричные точки нагружения, как показано на рисунке 20. Когда приложенная статическая нагрузка была удалена, трещины в зоне



натяжения плиты были отмечены так, как показано на рисунке 20. Сравнивая плиту 3, плиту 2 и плиту 1, видно, что плита 1 выдержала больше трещин, чем плита 2, а плита 1 выдержала больше трещин, чем плита 3, причиной чего являются включение дисперсного рубленого базальтостружки в плиту 1. А плита 3 выдержала больше трещин чем плитой 2 из за базальтовую сетку на нижней поверхности плиты 3, которых нет у плиты 2. В силу того, что достигнут предел нагрузки, в поперечном сечении среза плиты на рисунке 21 наблюдается заметная трещина.



Рисунок 20. Прогиб под нагрузкой плита типа 3



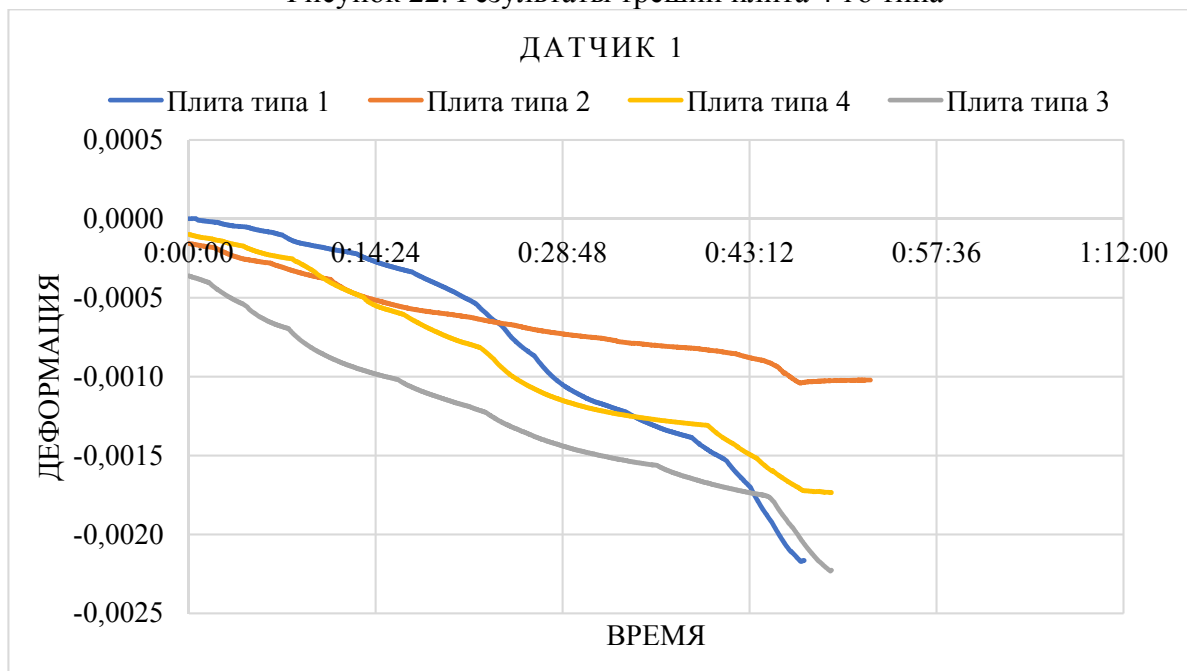
Рисунок 21. Образование трещин плита типа 3

**Плита 4-го типа.** Когда приложенная статическая нагрузка была удалена, трещины в зоне натяжения плиты были отмечены так, как показано на рисунке 22. Сравнивая плиту 4, плиту 3, плиту 2 и плиту 1, видно, что плита 1 выдержала больше трещин, чем плита 2, а плита 1 выдержала больше трещин, чем плита 3, а плита 4 выдержала больше трещин, чем плита 3, причиной чего является включение дисперсного рубленого базальтостружки и армирование нижней плиты 4 базальтовой сеткой.

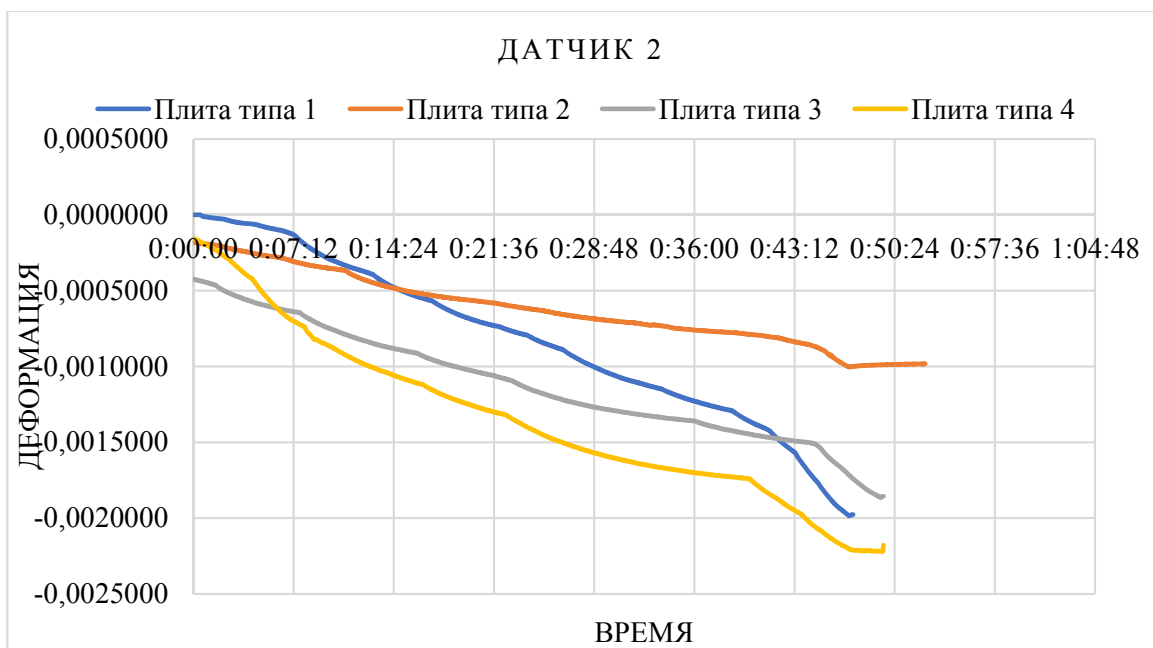


Рисунок 22. Результаты трещин плита 4-го типа

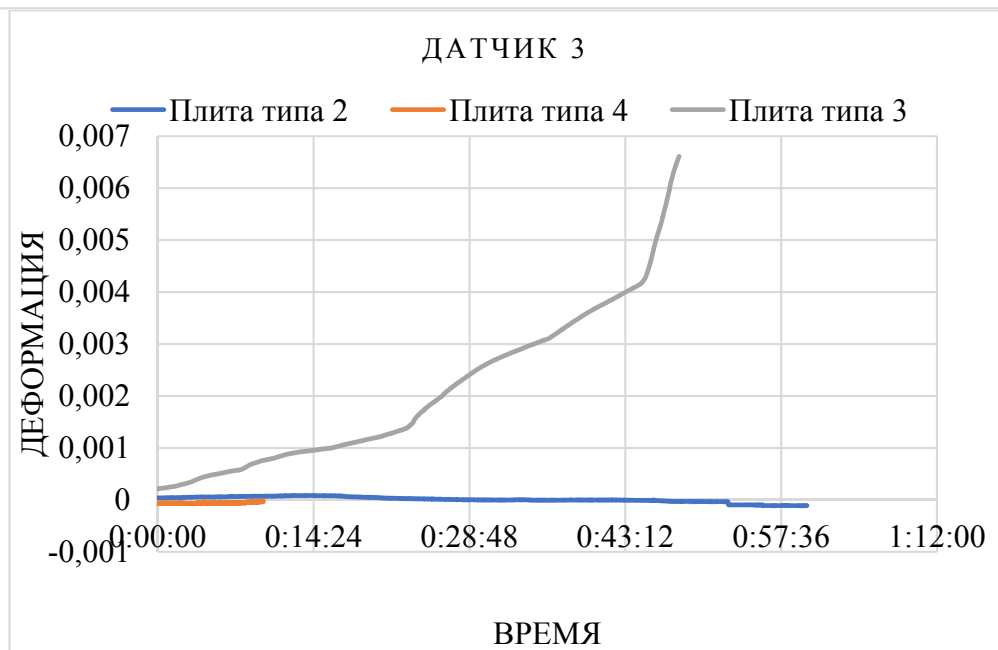
а)



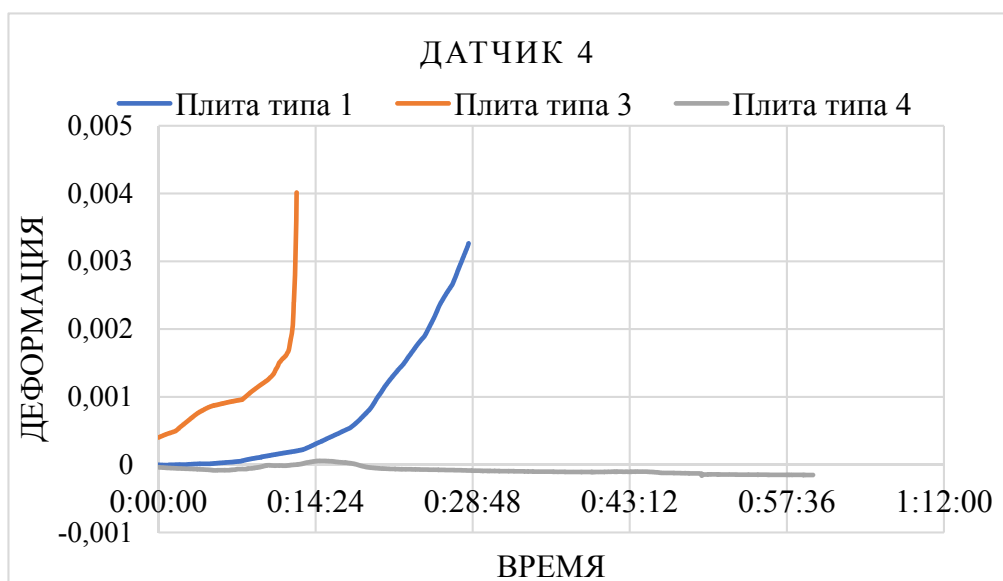
б)



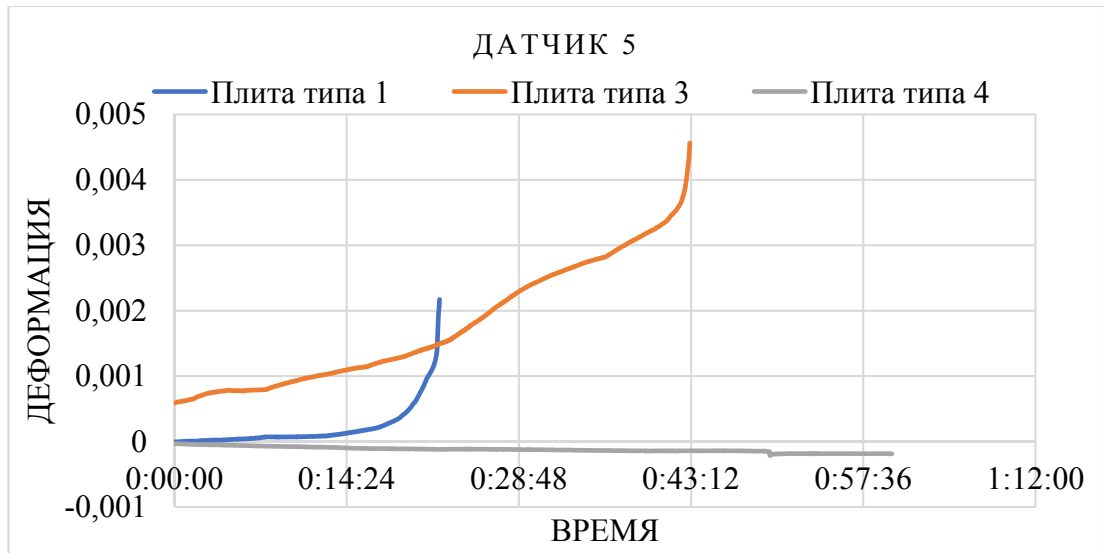
в)



г)



д)



е)

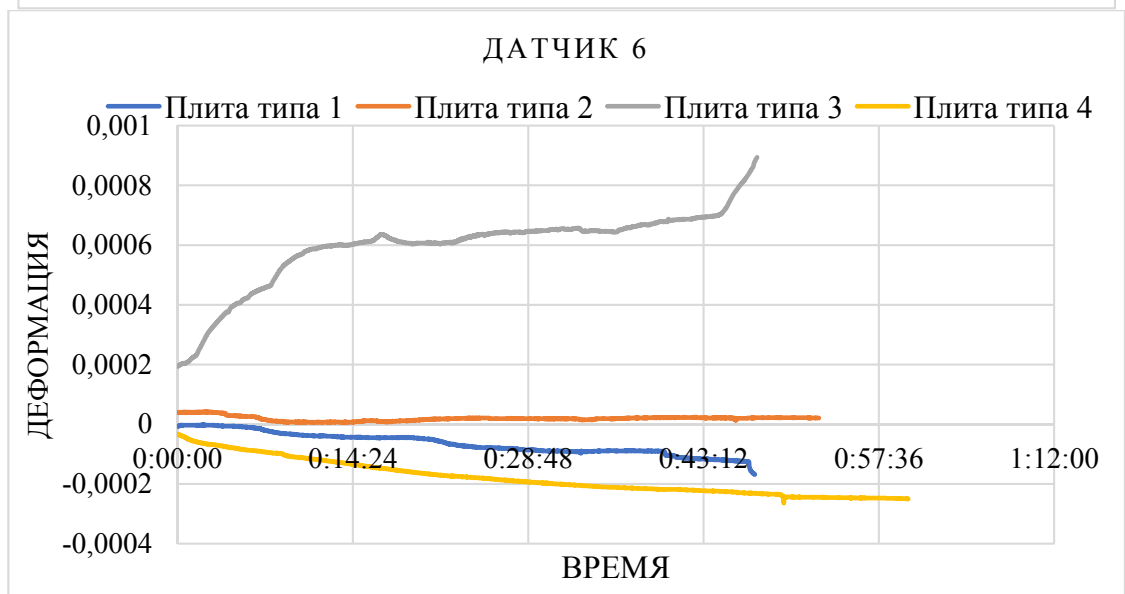


Рисунок 23. Время-деформация керамзитобетонных плит: а) график времени-деформации по датчику 1 в 4 типах плит; б) график времени-деформации по датчику 2 в 4 типах плит; в) график времени-деформации по датчику 3 в 4 типах плит; г) график времени-деформации по датчику 4 в 4 типах плит; д) график времени-деформации по датчику 5 в 4 типах плит; е) график времени-деформации по датчику 6 в 4 типах плит.

На рисунке 23 показаны графики времени-деформации по 6 (шести) датчикам, расположенным на плитах типов 1, 2, 3 и 4.

На рисунке 23а видно, что у датчика 1 на плите типа 1 время работы (47 минут 24 секунды) с деформацией -0,002164, на плите типа 2 время работы (52 минуты 30 секунд) с деформацией -0,001021, на плите типа 3 время работы (49 минут 30 секунд) с деформацией -0,002226, на плите типа 4 время работы (49 минут 30 секунд) с деформацией -0,001734.

На рисунке 23б видно, что у датчика 2 на плите типа 1 время работы (47 минут 24 секунды) с деформацией -0,0019760, на плите типа 2 время работы (52 минуты 35 секунд) с деформацией -0,000982, на плите типа 3 время работы (49 минут 35 секунд) с деформацией -0,001855, на плите типа 4 время работы (49 минут 35 секунд) с деформацией -0,002178.

На рисунке 23в датчик 3 на плите типа 1 не был активен, на плите типа 2 время работы (59 минут 59 секунд) с деформацией -0,000108, на плите типа 3 время работы (48 минут 10 секунд) с деформацией 0,006613, на плите типа 4 время работы (09 минут 45 секунд) с деформацией -0,000031.

На рисунке 23г видно, что у датчика 4; на плите типа 1 время работы (28 мин 25 сек) с деформацией 0,003266, на плите типа 2 датчик 4 не был активен, на плите типа 3 время работы (12 мин 40 сек) с деформацией 0,004015, на плите типа 4 время работы (1 час 00 мин 00 сек) с деформацией -0,00015.

На рисунке 23д видно, что у датчика 5; на плите типа 1 время работы (22 мин 10 секунд) с деформацией 0,002173, на плите типа 2 датчик 5 не был активен, на плите типа 3 время работы (43 мин 05 секунд) с деформацией 0,004563, на плите типа 4 время работы (1 час 00 мин 00 сек) с деформацией -0,000185.

На рисунке 23е видно, что у датчика 6 на плите типа 1 время работы (47 минут 24 секунды) с деформацией -0,000168, на плите типа 2 время работы (52 минуты 40 секунд) с деформацией 0,000021, на плите типа 3 время работы (47 минут 35 секунд) с деформацией 0,000894, на плите типа 4 время работы (1 час 00 минут 00 секунд) с деформацией -0,00025.

График нагрузки-прогиба все 4 тип плит показан в рисунке 24 где максимальная нагрузка 16,2 кН, прогиб 8,075 мм для плиты 1-го типа а для плиты 2-го типа имеет максимальной нагрузки 32 кН, прогиб 15,29 мм. Далее на рисунке 3.37, плита 3-го типа имеет максимальной нагрузки 32,5 кН, прогиб 19,15 мм а для плиты 4-го типа имеет максимальной нагрузки 24,7 кН, прогиб 17,26 мм.

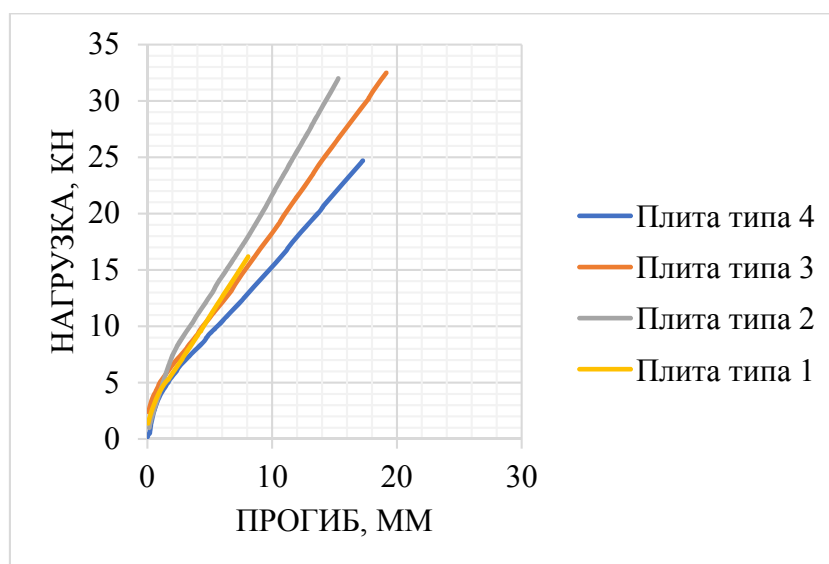


Рисунок 24. Прогиб под нагрузкой 4 типов керамзитобетонных плит

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании исследований, проведенных в настоящей диссертации, сделаны следующие выводы:

1. БФ хорошо работает в керамзитобетоне, и ее высокое процентное содержание в керамзитобетоне дает более высокую прочность на сжатие и изгиб.
2. Предложенные аналитические модели позволяют определять допустимые нагрузки на конструкции при проведении строительных работ.
3. Использование рубленого базальтового волокна повышает прочность на растяжение при скалывании, не влияя на обрабатываемость бетона.
4. Увеличение доли БФ до 1,6% приводит к увеличению прочности на растяжение при скалывании керамзитобетона с 2,415 МПа до 5,258 МПа через 28 дней.
5. Предложенная аналитическая модель может быть использована для расчета прочности на растяжение при скалывании керамзитобетона в возрасте от 7 до 28 дней с высокой точностью.  $R^2$  уравнения равен 95,73%.
6. Правило, прочность на сжатие и прочность на изгиб зависят от процентного содержания базальтовой фибры.

7. Значение дисперсного рубленого базальтового волокна проявляется при образовании трещин в конструктивных керамзитобетонных элементах (колоннах, балках, плитах).

8. Базальтовая сетка допускает больший прогиб, но дает меньше трещин на балках и плитах при изгибе.

9. Замена базальтовой арматуры стальной подтверждает более высокую ductility при базальто-фибровом армировании.

10. Показатель пористости керамзитобетонных колонн выше у цилиндра типа 3 благодаря наличию и дисперсного рубленого базальтового волокна, и базальтовой сетки - по сравнению с цилиндром типа 2 с одним лишь дисперсным рубленым базальтовым волокном и цилиндром 1 из неармированного керамзитобетона.

**Перспективы дальнейших исследований в развитие темы.** Дальнейшее развитие исследований может быть направлено на совершенствование методов расчета прочности и трещиностойкости сжимаемых и изгибаемых керамзитобетонных элементов с различным поперечным сечением, параметров и типов дисперсно-фибрового и арматурного усиления, а также схем их применения.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в журналах, включенных в перечень РУДН/ВАК

1. Comprehensive view on the ductility of basalt fiber reinforced concrete focus on lightweight expanded clay / V.V. Galishnikova, P.C. Chiadighikaobi, D.A. Emiri // Строительная механика Инженерных конструкций и сооружений, (15(5), pp. 359–365, 2019) <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-201915-5-359-365>

2. Basalt chopped fiber: A solution to cracks in concrete / P.C. Chiadighikaobi, D. A. Emiri // Наука и Бизнес: Пути Развития, (№ 11(89), 2018. Pp. 129-132, 2018), [http://globaljournals.ru/assets/files/journals/science-and-business/89/sb-11\(89\)-2018-main.pdf](http://globaljournals.ru/assets/files/journals/science-and-business/89/sb-11(89)-2018-main.pdf)

3. Design of a sustainable steel frame building using basalt materials for increased structural sustainability / P.C. Chiadighikaobi, I.B. Adejuyigbe // Экономика строительства 4(52), 2018. pp. 71-78, <http://elibrary.ru/item.asp?id=36654263>

### Статьи в журналах, индексируемых в Web of Science и SCOPUS

1. Mechanical characteristics of hardened basalt fiber expanded clay concrete cylinders / P.C. Chiadighikaobi, A.M. Adegoke, I.M. Abu Mahadi, A.A. Abd Noor, E.M. Ibitogbe, A.M. Niazmand // Case Studies in Construction Materials. 17 (2022) e01368. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01368>

2. Compressive and split tensile strength of dispersed basalt fiber lightweight expanded / P.C. Chiadighikaobi, M.A. Adegoke, A.A. Abd Noor, O.I. Kalinina, V. Jean paul // Engineering Letters. 2021; 29:4, EL\_29\_4\_11.

3. Durability assessment of basalt fiber polymer as reinforcement to expanded clay concrete in harsh environment / P.C. Chiadighikaobi, H.A.A. AlAraza, N.U. Ibeh, M.A. Niazmand, M.A. Adegoke, B.B. Tefera, V. Jean paul // Cogent Engineering. 2021; 918855. <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1918855>

4. Basalt fiber reinforced expanded clay concrete for building structures / V. Galishnikova, M. Kharun, D. D. Koroteev, P.C. Chiadighikaobi // Magazine of Civil Engineering. 2021;101(1): Article No. 10107. DOI: 10.34910/MCE.101.7

5. Expanded clay basalt fiber concrete: Solving structural defects caused by water penetration/ P.C. Chiadighikaobi, B.B. Tefera, R.O. Tarka, V. Jean Paul//Cogent Engineering. 2021; 8(1), 1868128. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1868128>

6. Heat Treatment of Basalt Fiber Reinforced Expanded Clay Concrete with Increased Strength for Cast-In-Situ Construction / M. Kharun, S. Klyuev, D. Koroteev, P.C. Chiadighikaobi, R. Fediuk, A. Olisov, N. Vatin, N. Alfimova // Fibers. 2020, 8, 67. doi:10.3390/fib8110067

7. Sustainability comparison for steel and basalt fiber reinforcement, landfills, leachate reservoirs and multi-functional structure / I.B. Adejuyigbe, P.C. Chiadighikaobi, D. A. Okpara // Civil Engineering Journal, Vol. 5, No. 1, January 2019, pp. 172-180. <http://dx.doi.org/10.28991/cej-2019-03091235>
8. Contribution to refined basalt in modern Nigerian civil and structural engineering / V.V. Galishnikova, P.C. Chiadighikaobi // Journal of Mechanics of Continua and mathematical sciences, Special Issue-1, March (2019) pp 557-567. <https://doi.org/10.26782/jmcms.2019.03.00056>

### **АННОТАЦИЯ ДИССЕРТАЦИИ Чиадигхикаоби Паскал Чимеремезе**

**«Облегченные базальтофибробетонные конструкции с базальто-композитным стержневым и сетчатым армированием для строительства в прибрежных зонах Нигерии»**

Актуальность темы исследования обусловлена проблемами внедрения и использования базальтовых материалов в строительстве гражданских зданий и сооружений в Нигерии. Природные факторы влияют на долговечность и надежность возводимых конструкций. Базальтовое волокно на сегодняшний день высоко зарекомендовало себя как армирующий материал для бетонных конструкций. Рассмотрена возможность применения керамзита в качестве легкого крупнозернистого заполнителя бетона и рубленого базальтового волокна, базальтовой сетки и базальтовой арматуры для его армирования. Целью диссертации является разработка на основе экспериментальных данных метода расчета на прочность и трещиностойкость базальтофибробетонных обычных или предварительно напряженных конструкций с базальто-композитным стержневым армированием при статическом нагружении. Новизна диссертационного исследования заключается в получении новых данных о прочности, деформациях и трещиностойкости изгибаемых бетонных элементов с дисперсным рубленым базальтовым волокном, базальто-композитным сетчатым армированием и базальтовой арматурой при воздействии статических нагрузок. Для определения наилучшего процентного содержания базальтового волокна для дисперсного армирования бетона были проведены серии экспериментов. Результаты эксперимента показали, что включение базальтовой фибры в легкий керамзитобетон увеличило прочность на сжатие и изгиб, а также повысило трещиностойкость бетона. Положительные результаты по прочности, пластичности и трещиностойкости были отмечены в конструктивных элементах (колоннах, балках и плитах) в результате применения арматуры из базальтового волокна, базальтовой сетки и дисперсного измельченного базальтового волокна.

### **DISSERTATION ABSTRACT Chiadighikaobi Paschal Chimeremeze**

**«Lightweight basalt fiber reinforced concrete structures with basalt composite core and mesh reinforcement for construction in coastal Nigeria»**

The relevance of study stems from the problems of implementation and use of basalt materials in civil engineering construction in Nigeria. Natural factors affect the durability and endurance of erected structures. Considering some of the properties of steel reinforcement materials and granite coarse aggregate, it becomes very important to innovate other materials for concrete construction that will serve human with better properties and effectiveness depending on where the concrete structure is intended to be constructed. Basalt fiber has proven so far to be a reinforcing material for concrete design. Today, basalt fiber (BF) has proven itself as a reinforcing material for concrete structures. Concrete is a material that has all the characteristics required for an ideal building material, so the possibility of implementing expanded clay aggregate as a lightweight coarse aggregate and chopped BF, basalt mesh and basalt reinforcement for its reinforcement was considered. The aim was to develop experimental verification and implementation of a method for calculating the strength and crack resistance of cross-sections under bending of BF concrete and conventional or prestressed structures with basalt-composite rod reinforcement under static loading. The novelty was to derive new strength, deflection, deformation, crack resistance data for the lightweight concrete reinforced with dispersed chopped BF, basalt rebars

and basalt mesh acting under imposed static load. Series of experiments and concrete mixes were done to ascertain the best BF percentage for the concrete dispersed reinforcement. The experimental results show that incorporation of BF in lightweight expanded clay concrete improved the compressive and flexural strength also enhanced the crack resistance ability of the concrete. Positive results in the strength, ductility and crack resistance were seen in the concrete structural elements (columns, beams, and slabs) because of the BF rebars, basalt mesh and dispersed chopped BF.