

Л.Ю. СТУПИШИН¹, А.В. МАСАЛОВ², Е.В. САВЕЛЬЕВА²

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,

²ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ КОМПОЗИТНОГО АРМИРУЮЩЕГО СТЕРЖНЯ НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬТОВОЙ КОМПЛЕКСНОЙ НИТИ

Аннотация. Рассматриваются вопросы построения методики испытаний и проведение испытаний базальтовых стержней предложенных авторами. Базальтовый стержень представляет собой пучок скрученных нитей базальтового ровинга, упакованных в ламину из эпоксидной смеси. Ввиду отсутствия аналогов строится методика испытания армирующих стержней с применением существующих испытательных машин.

Проведен анализ Российских и зарубежных нормативных документов, которые могли бы лечь в основу методики испытания. Отмечается общий недостаток испытательного оборудования, приводящий к разрушению базальтовой крученой нити в захватах до начала испытания.

Предложена методика испытания и приведены результаты экспериментов, позволяющие оценить несущую способность армированного образца. Приведены выводы и рекомендации по испытанию конструкций, армированных базальтовыми стержнями - ламинами.

Ключевые слова: испытание на растяжение, композитный материал, композитный арматурный стержень, прочность на растяжение, базальтовая крученая комплексная нить, ровинг.

L.U. STUPISHIN¹, A.V. MASALOV², E.V. SAVELEVA²

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

²South-West State University, Kursk, Russia

TEST METHOD FOR A COMPOSITE REINFORCING ROD ON THE BASE OF BASALT COMPLEX THREAD

Abstract. The paper considers issues of construction of test methods and testing of basalt rods proposed by the authors. A basalt rod is a bundle of twisted basalt roving threads packed in an epoxy laminate. Due to the lack of analogues, a methodology for testing reinforcing rods using existing testing machines is being developed.

The analysis of Russian and foreign normative documents, which could form the basis of the test methodology, was carried out. A general lack of testing equipment is noted, leading to the destruction of the basalt twisted yarn in the grippers prior to testing.

A test procedure is proposed and the results of experiments are presented, which make it possible to assess the bearing capacity of a reinforced specimen. Conclusions and recommendations for testing structures reinforced with basalt rods - laminates are presented.

Keywords: tension test, composite material, composite reinforcing rod, tensile strength, basalt twisted multifilament thread, roving.

Введение

Армирование бетонных и каменных конструкций, работающих в агрессивных средах, а также в местах повышенной влажности требует использования арматуры, не подвергающейся коррозии. В связи с этим с начала прошлого века активно исследуются композитные конструкции с целью применения их в строительстве [1]. С появлением стеклопластиковых, базальтовых и углеродно-волоконных материалов, работы в этом

направлении возобновились с новой силой [2-7]. Такие материалы имеют физико-механические характеристики, значительно отличающие их от металлических армирующих элементов. Поэтому необходимы исследования взаимодействия бетонной матрицы с армирующими элементами на основе композитных волокон [8-16].

Особенности поведения композитной арматуры в материале под нагрузкой требуют построения методики испытаний композиционных конструкций [13, 16-19]. Это связано как с отсутствием нормативной литературы по новым композициям армирующих стержней, нитей и конструкций с дисперсным армированием, так и с непригодностью современных захватов испытательных машин к испытаниям хрупких композитных нитей.

В работе [20] приведен подход к испытанию базальтового ровинга и комплексной базальтовой нити на испытательном оборудовании с жесткими захватами. Отмечено, что вследствие большой хрупкости базальтового ровинга и его малого диаметра весьма сложно добиться того, чтобы базальтовый ровинг не разрушился до приложения нагрузки. Серьезные трудности возникают при определении разрушающей нагрузки вследствие проскальзывания элементарных нитей базальтового волокна при растяжении комплексной базальтовой нити. Чтобы избежать этих проблем авторами была предложена конструкция базальтового стержня – ламины, представленная на рисунке 1.



Рисунок 1 - Базальтовый стержень – ламина

Подробное описание строения предложенного авторами армирующего материала представлено в источнике [14]. Ввиду хрупкости единичных волокон базальтового ровинга и несовместности работы под нагрузкой волокон базальтовой комплексной нити [13, 20], вопрос об армировании строительных конструкций первичной и вторичной структурой материала на основе базальтового волокна не рассматривается. Основной идеей разработки композитного арматурного стержня на основе базальтовой комплексной нити является создание удобоукладываемой армирующей конструкции, обладающей повышенными прочностными характеристиками. Такая форма применения базальтового ровинга, как армирующего материала, исключает ломкость и проскальзывание волокон в захватах испытательной машины при проведении испытаний на прочность.

Композитный арматурный стержень на основе базальтовой комплексной нити представляет собой пластину (ламину) из эпоксидного связующего, в центре которой располагается несущий элемент в виде базальтовой комплексной нити. Края пластины обработаны с приданием им рифления в плоскости ламины в виде зубцов.

В поперечном сечении арматура образована волокнами базальтового ровинга, объединенными в комплексную нить путем закручивания вокруг продольной оси и обработки полимерным связующим. Волокна, составляющие базальтовую комплексную нить, непрерывны по всей длине нити. Базальтовая комплексная нить непрерывна по всей длине композитного арматурного стержня. Нить имеет в сечении круглую форму.

Для обеспечения совместности работы волокон в составе формуемого арматурного стержня базальтовая комплексная нить обработана эпоксидным связующим. Эпоксидное связующее полностью пропитывает базальтовую комплексную нить, тем самым объединяя отдельные волокна, составляющие нить в стержень. Это обеспечивает равномерное распределение напряжений по всему диаметру стержня и, следовательно, более полно включает в работу под нагрузкой волокна базальтовой комплексной нити. Благодаря полной пропитке улучшаются прочностные свойства изделия. Эпоксидное связующее покрывает базальтовую комплексную нить и тем самым образует защитный слой, защищающий волокна ровинга от агрессивной щелочной среды бетона. В плоскости ламины излишкам эпоксидного связующего придана форма зубцов, чтобы осуществлять анкеровку арматурного стержня в бетоне. Отступы от базальтовой комплексной нити до основания зубца необходимы для предотвращения появления под нагрузкой трещин в эпоксидном слое, обнажающих поверхность базальтовой нити и тем самым создающих появление ослабленных зон армирующего материала.

Отвержденное эпоксидное связующее фиксирует положение базальтовой комплексной нити и придает форму арматурному стержню.

Благодаря наличию этих признаков новая конструкция композитного арматурного стержня на основе базальтовой комплексной нити обладает высокими прочностными свойствами. Предел прочности при растяжении композиционного арматурного стержня на основе базальтовой комплексной нити составляет в среднем 330 МПа, что ставит такой армирующий элемент в один ряд со стальной арматурой по прочности.

2 Анализ нормативной базы по методикам исследования прочностных характеристик материалов

Существенную роль в разработке методики испытания армирующего элемента на основе базальтовой комплексной нити играет его правильная классификация. В связи с тем, что заявленный армирующий элемент обладает свойствами, присущими нити, стержню и ламинату, подбор ближайшей по смыслу методики испытания осуществляется с использованием нормативных документов, затрагивающих методики испытаний всех вышеперечисленных классов материалов.

Согласно определению строительной механики стержень представляет собой тело удлиненной формы, два размера которого (высота и ширина) малы по сравнению с третьим размером (длиной). Термином «стержень» называют тела удлиненной формы, которые сопротивляются только усилиям сжатия и растяжения.

Основное назначение стержней — воспринимать осевые (растягивающие и сжимающие силы), а также изгибающие моменты. Частным случаем стержней являются гибкие нити, которые работают только на растяжение, не оказывая сопротивления сжатию и изгибу.

В России испытания текстильных нитей проводят согласно ГОСТ 6611.2-73 «Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве». Данный стандарт касается вопросов продолжительности и скорости растяжения нитей. По результатам испытаний определяется величина разрывной нагрузки и удлинение при разрыве. Известен нормативный документ ГОСТ 6943.10-2015 «Материалы текстильные стеклянные. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве», который

описывает методику испытаний нитей, ровинга, полосок, вырезанных из ткани, сеток, лент, нетканого материала. Аналогичный зарубежный документ ASTM D7269 D7269M-11 регламентирует большее число методов определения физико-механических параметров нитей. В дополнение к Российским документам, в нем описана методика определения предела прочности на разрыв, сопротивления разрыву при растяжении, усилия, соответствующего конкретному удлинению, линейной плотности, модуля упругости, работы, затраченной на разрыв. Сущность обоих стандартов сводится к закреплению нити в захватах испытательной машины, приложению нагрузки для достижения определенного предварительного натяжения, растяжению нити до разрыва и определению ее физико-механических параметров.

Источник [19] приводит действующие зарубежные стандарты, которые применимы для определения физико-механических характеристик нитей (методы испытания на растяжение):

ISO 2307:2010. Канаты из волокон — определение некоторых физических и механических свойств (Fibre ropes-Determination of Certain physical and mechanical properties);

ISO 5079:1995. Волокна текстильные — определение разрывного усилия и относительного удлинения при разрыве одиночных волокон (Textile fibres — Determination of breaking force and elongation at break of individual fibres);

ISO 2062:2009. Текстиль — пряжа в паковках — определение разрывного усилия и относительного удлинения при разрыве одиночной нити с применением прибора для испытания на растяжение с постоянной скоростью (CRE) (Textiles — Yarns from packages — Determination of single-end breaking force and elongation at break using constant rate of extension (CRE) tester);

JIS L 1013:2010. Методы испытаний искусственных волоконных нитей (Testing methods for man-made filament yarns (соответствует, но не эквивалентен международным стандартам ISO 2060:1994);

JIS L 1095:2010. Методы испытаний крученых нитей (Testing methods for spun yarn) соответствует (модифицированный стандарт) международным стандартам ISO 2061:1995, ISO 2062:1993, ISO 6939:1988).

Предложенные документы применимы для определения прочностных характеристик волокон и нитей, однако на данном этапе исследования, как уже было сказано, изучение свойств первичной и вторичной, соответственно, структур армирующих базальтовых материалов утратило свою актуальность в связи с хрупкостью базальтовых волокон и другими проблемами, обозначенными в работах [1, 13, 20, 21].

Методика исследования прочностных и деформационных свойств композитных материалов, выполненных в форме ламинатов, приводится в нормативных документах:

ГОСТ 25.601-80 «Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах»

ГОСТ 34261-2017 (ISO 9163:2005) «Стекловолокно. Ровинги. Изготовление испытательных образцов и определение прочности на растяжение пропитанных ровингов».

ГОСТ 10213-2002 (ISO) «Волокно штапельное и жгут химическое. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве».

ГОСТ 33345-2015 (ISO) «Композиты полимерные, производство пластин для изготовления образцов для испытаний».

ГОСТ 56785-2015 «Композиты полимерные. Метод испытания на растяжение плоских образцов».

В перечисленных источниках в испытательные захваты устанавливаются предварительно изготовленные пластины (ленты) армирующего материала прямоугольной

или сложной формы с переменным сечением. Изготовление таких образцов в условиях исследований, проводимых авторами нецелесообразно, поскольку исследуется иная форма применения материала.

По мнению авторов, на данном этапе исследований, ближайшим нормативным документом, регламентирующим определение прочностных свойств композитного арматурного стержня на основе базальтовой комплексной нити [14] является ГОСТ 31938-2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия». Данный нормативный документ позволяет рассматривать предложенный армирующий материал как стержень и предполагает устройство не кнехтовых, как в случае с нитью, а обжимающих захватов, не требующих клеевой обработки участков образцов в захватах. Именно эта методика была взята за основу и подвергалась модернизации с целью обеспечения наибольшего соответствия заявляемому материалу.

3 Подготовка испытательных стендов для ручного и автоматического нагружения. Описание устройства закрепления композитного армирующего элемента в захватах испытательной машины

Согласно ГОСТ 31938-2012 для проведения испытаний на растяжение образцов ПКА, их концы перед испытанием необходимо замоноличивать в специальные стальные трубы, анкера. Описанная методика предполагает разрушение образца на рабочем участке без разрыва и проскальзывания образца в захватах или в зоне анкера. Однако предложенная методика не исключала бы возможность вырывания или проскальзывания элементарных волокон ровинга, не позволяла бы следить за поведением исследуемого стержня внутри анкера, местами появления разрывов, а так же разрывов на границе рабочей зоны. В исследованиях, проведенных в КГАСУ [13], при использовании данной методики при испытании арматуры малого диаметра, наблюдалась тенденция появления разрывов в зоне границы с анкером.

В связи с этим было принято решение об устройстве открытых захватов, представляющих собой вспомогательные хватные устройства в виде деревянных накладок из мягкой древесины (сосна) для равномерного распределения обжимающего усилия по поверхности стержня композитной арматуры.

В исследовании использовались вспомогательные хватные устройства двух типов:

1. Штучные деревянные накладки из мягкой сухой древесины, устанавливаемые непосредственно в металлические захваты разрывной испытательной машины (рисунок 2а).
2. Деревянные обжимающие накладки с выносом из захватов разрывной испытательной машины с применением дополнительных металлических обжимающих устройств (рисунок 2 б, в).

Обжимающее устройство устанавливалось в хват испытательной машины по обе стороны от испытуемого стержня. Деформация сухой древесины при зажиме хвата обеспечивала плотное неповреждающее обжатие стержня, и как следствие, более надежное защемление испытуемого образца, исключала проскальзывание образца в захватах при приложении нагрузки и его разрушение. Устройство перфорированной обжимающей пластины (рисунок 2б) на выносе из захватов в дальнейшем позволит авторам проводить испытания независимо от площади захватов разрывных машин, а так же от площади и формы исследуемого образца.

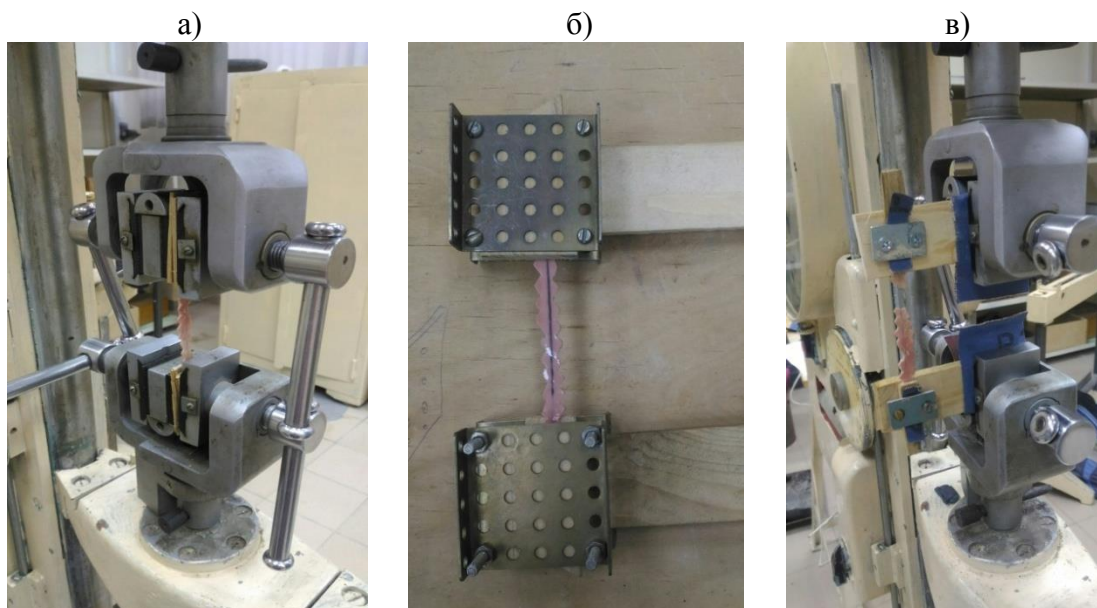


Рисунок 2 – Общий вид испытаний: а) обжимающие устройства для передачи усилия от захвата испытуемым композитным стержням; б) накладки из мягкой сухой древесины; в) деревянные накладки с выносом из захватов

Стержни устанавливались в захваты испытательной машины так, чтобы длина рабочей зоны составляла не менее трети длины самого стержня согласно методике ГОСТ. Положение продольной оси тщательно выверялось по осевым рискам на захватах прибора.

После проведения испытаний, осмотр рельефа деревянных накладок установил появление отпечатка профиля стержня на деревянных волокнах (рисунок 3). При обжатии стержня захватами, происходило его вдавливание в деревянные накладки со смятием накладок. Сами накладки не изменяли своего положения в захватах. Структура, форма и целостность стержней так же не была нарушена. Это может свидетельствовать об эффективности примененного способа защемления.



Рисунок 3 – След композитного стержня на деревянных накладках для обжатия

Для определения относительного удлинения исследуемых образцов использовался индикатор деформации часового типа (рисунок 4). Шкала индикатора позволяла измерять приращение длины образца в нанометрах. Такой прибор, как правило, устанавливается вертикально, используется для измерения удлинения конструкций при изгибе и имеет ножки- конусы, перемещения которых отражаются на показаниях шкалы. Для исключения

повреждения исследуемых стержней- ламин, ножки прибора устанавливались не на сам стержень, а так же на деревянную насадку. (рисунок 4)

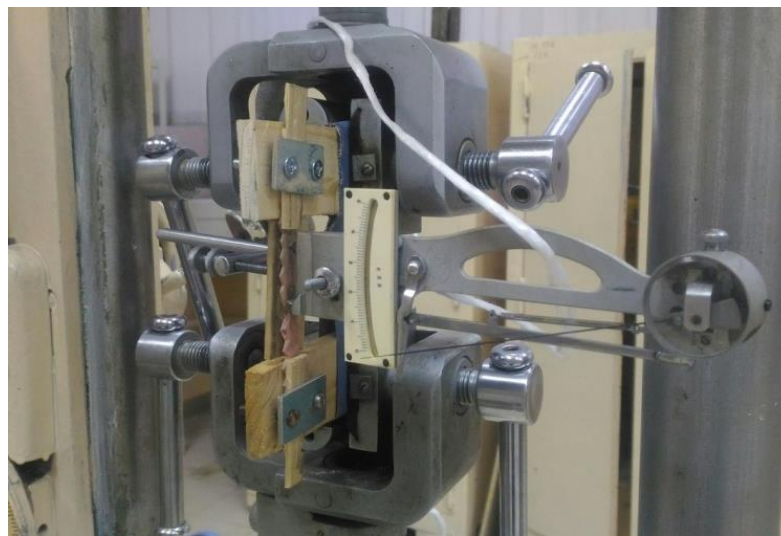
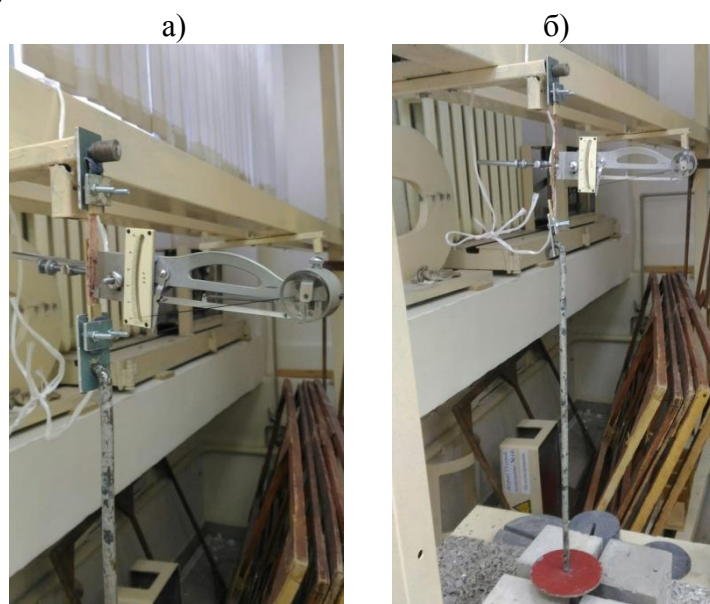


Рисунок 4 – Установка индикатора часового типа на исследуемый образец

Представленный выше способ закрепления образцов и их испытания с помощью разрывной машины не позволял достоверно оценить зависимость деформации композитного арматурного стержня от приложенной нагрузки вследствие высокой скорости нагружения и особенностей функционирования прибора, измеряющего деформации. Результаты этих испытаний учтены при определении средней прочности партии.

Для определения модуля упругости необходимо четко отслеживать, какая деформация соответствует начальной и конечной нагрузке на образец. Поэтому часть исследуемой партии загружалась вручную. Такой способ загрузки позволял вовремя тарировать шкалу прибора и получать наиболее точные показания деформации, а так же отслеживать поведение материала в захватах. Устройство конструкции для ручного нагружения представлено на рисунке 5.



*Рисунок 5- Испытательный стенд для загрузки вручную:
а) вид захватов и расположения индикатора; б) общий вид конструкции испытательного стенда*

В ходе проведения испытаний, армирующий материал не вытягивался из захватов испытательной машины, не повреждался при обжатии, что может свидетельствовать об эффективности примененной методики закрепления армирующих стержней в захватах прибора [20]. При разрушении образца происходил единовременный разрыв базальтовой комплексной нити и эпоксидного слоя на одном участке, принадлежащем рабочей зоне (рисунок 6). Вытягивание отдельных базальтовых нитей не наблюдалось.

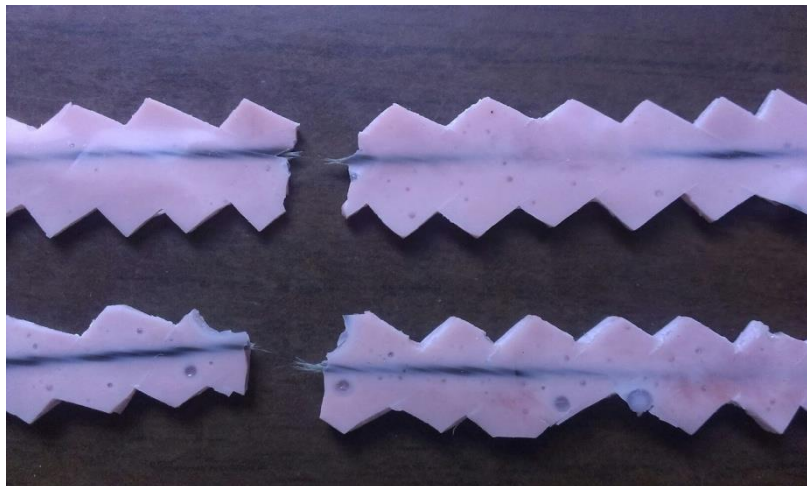


Рисунок 6 – Характер разрыва композитного арматурного стержня на основе базальтовой комплексной нити

Места разрывов образцов находились ближе к верхнему неподвижному краю захвата в рабочей зоне испытываемого образца (рисунок 7). Разрывов, выскользываний и повреждений образцов в захватах не наблюдалось. может свидетельствовать об эффективности примененной методики испытания [6,11,15,19, Это 21]. Это может свидетельствовать об эффективности примененной методики испытания [13, 16-19].

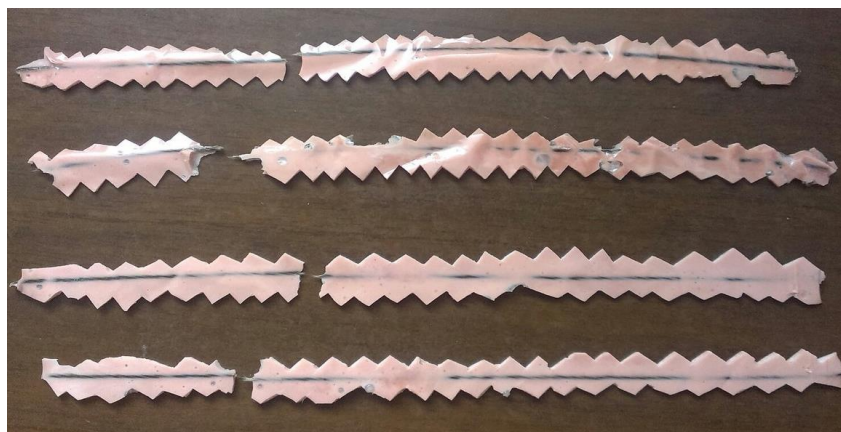


Рисунок 7 – Места разрывов образцов

Единовременный характер разрыва образцов может свидетельствовать о равномерности работы волокон, составляющих базальтовую комплексную нить, о качественной пропитке базальтового армирующего материала эпоксидным связующим и о приемлемых параметрах вязкости выбранного эпоксидного связующего [16-18].

4 Результаты исследований и их анализ

Приближенное определение геометрических параметров образцов стержней проводилось с учетом методики ГОСТ 25.601-80 «Методы механических испытаний № 1 (93) 2021

композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов)». Согласно методике ГОСТ 25.601-80 перед испытанием толщина и ширина рабочей части образца измеряется в трех местах: по краям и в середине. Конечный результат наружных параметров образца усредняется. Методика ГОСТ 25.601-80 предполагает использование образцов прямоугольного сечения с закрепленными на концах накладками или без них. Площадь поперечного сечения таких образцов можно вычислить, используя значения поддающихся измерению параметров длины и ширины. Измерение площади поперечного сечения базальтовой комплексной нити, как несущего элемента композитного арматурного стержня, тем же способом не представляется возможным, поскольку из-за миниатюрности сечения испытываемых образцов не известна достоверно их форма, а так же невозможно воспользоваться любыми измерительными приборами, не оснащенными оптическим увеличителем.

Для определения геометрических наружных параметров образца воспользуемся данными о плотности базальтокомпозитной арматуры ($1,9 \text{ г/см}^3$) и формулами (1) и (2) для определения объема геометрического тела. С использованием измерений длины и веса базальтовой комплексной нити (текс), вычислим площадь поперечного сечения:

$$V = m/\rho, \quad (1)$$

где V - объем геометрического тела, m -масса образца, ρ - плотность материала.

$$V = m/\rho = 0,4/1,9 = 0,21 \text{ см}^3, \quad (2)$$

$$V = S \cdot l,$$

где V - объем геометрического тела, S -площадь поперечного сечения, l - длина образца.

$$S = \frac{V}{l} = \frac{0,21}{72,5} = 0,003 \text{ см}^2$$

С учетом предел прочности при растяжении определяют по формуле:

$$\sigma_{\text{в}} = \frac{F_{\text{max}}}{S},$$

где F_{max} -максимальная нагрузка, предшествующая разрушению образца, S - площадь поперечного сечения образца.

При определении предельной нагрузки, поскольку осевым элементом стержня является базальтовая комплексная нить, будем пользоваться формулами методики ГОСТ 16009-2001 «Волокно штапельное и жгут химические. Метод определения разрывной нагрузки при разрыве петель» с преобразованием формул под испытание прямых образцов, в отличие от тех, что приведены в нормативном документе для определения предельной разрывной нагрузки петель.

Скорость движения захвата при автоматическом нагружении находилась в рекомендуемом диапазоне 5-20 мм/мин. Так же при использовании автоматической разрывной машины производилось трехкратное циклическое нагружение- разгружение испытываемых стержней до требуемого уровня (15-40% от F_{max} , среднее значение которой было взято из предыдущих опытов). При каждом нагружении считывались показания деформаций при начальной (2-5%) и максимальной (15-40%) нагрузках, усредненный показатель заносился в таблицу.

Фактическое значение предельной разрывной нагрузки P_{ϕ} , вычислим как среднеарифметическое значение результатов всех единичных испытаний по формуле

$$P_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n},$$

где $\sum_{i=1}^n F_i$ - сумма результатов испытаний;

n - число испытаний.

Удельную разрывную нагрузку при разрыве P_y , $\text{мН/г}\cdot\text{см}^3$, определим по формуле

$$P_y = \frac{9,81 \cdot P_{\phi}}{T_{\phi}},$$

где T_ϕ - фактическая плотность испытываемого материала

Значение начального модуля упругости E_f , МПа, рассчитывают как отношение приращений нагрузок при растяжении в интервале от $0,2P$ до $0,5P$ и деформаций по формуле

$$E_f = \frac{P_1 - P_2}{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)},$$

где P_1 - нагрузка, составляющая $(50 \pm 2)\%$ разрушающей нагрузки, Н; P_2 - нагрузка, составляющая $(20 \pm 2)\%$ разрушающей нагрузки, Н; ε_1 - деформация, соответствующая нагрузке P_1 ; ε_2 - деформация, соответствующая нагрузке P_2 .

Относительное удлинение при разрушающей нагрузке ε_B , мм/мм, рассчитывают по формуле

$$\varepsilon_B = \frac{P}{E_f S},$$

Значения оцениваемой характеристики и величин определяют с точностью до 0,001.

Результаты испытаний базальтовых армирующих материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты испытаний на прочность композитных арматурных стержней при автоматическом нагружении

№ обр.	S поперечного сечения, $1 \cdot 10^{-3}$ см ²	Разрушающая нагрузка, Н	Предел прочности при растяжении σ_b , МПа	Примечания
1	3	383	1275	Единовременный разрыв базальтовой комплексной нити и эпоксидной обработки в пределах рабочей зоны образца
2		353	1177	
3		275	916	
4		294	981	
5		314	1046	Достижение указанной нагрузки, трещина в эпоксидном слое, вытягивание из захвата.
Среднее значение		332	1105	

Таблица 2. Результаты испытаний на деформации композитных арматурных стержней при ручном нагружении

№ п.п.	Начальная длина стержня l_0 (мм)	Нагрузка начальная/конечная, P_1/P_2 (кгс/Н)	Максимальная нагрузка F_{max} (кгс/Н)	Удлинение при начальной нагрузке $\Delta l_1 \cdot 10^{-9} / 2 \cdot 10^{-3}$ (мм)	Удлинение при конечной нагрузке $\Delta l_2 \cdot 10^{-9} / 2 \cdot 10^{-3}$ (мм)	Удлинение $\Delta l \cdot 10^{-9} / 2 \cdot 10^{-3}$ при F_{max} (мм)	Относительная продольная деформация $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$	Относительное удлинение $\frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\%$, (%)
1	110	5/9,4	28	24	49	76	$0,345 \cdot 10^{-6}$	$34,5 \cdot 10^{-6}$
2	110	14,2/17,0	33	36	48	80	$0,36 \cdot 10^{-6}$	$36 \cdot 10^{-6}$
3	110	14,8/20	32	60	70	130	$0,59 \cdot 10^{-6}$	$59 \cdot 10^{-6}$
4	110	5,3/15,4	29,4	43,5	119	149	$0,67 \cdot 10^{-6}$	$67 \cdot 10^{-6}$
5	112	10/18,3	35	39	49	57	$0,25 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$
6	111	14,4/29,2	38	100	135	185	$0,83 \cdot 10^{-6}$	$83 \cdot 10^{-6}$
7	110	12/26,8	40	80	170	230	$1,05 \cdot 10^{-6}$	$10,5 \cdot 10^{-6}$

Как видно из таблицы 2, удлинения образцов на всех этапах загрузки весьма малы.

Ниже представлен график кусочно - линейной траектории, характеризующий относительное удлинение образцов в зависимости от прикладываемой нагрузки (рисунок 8). Данный график построен для стержней, загружаемых вручную.

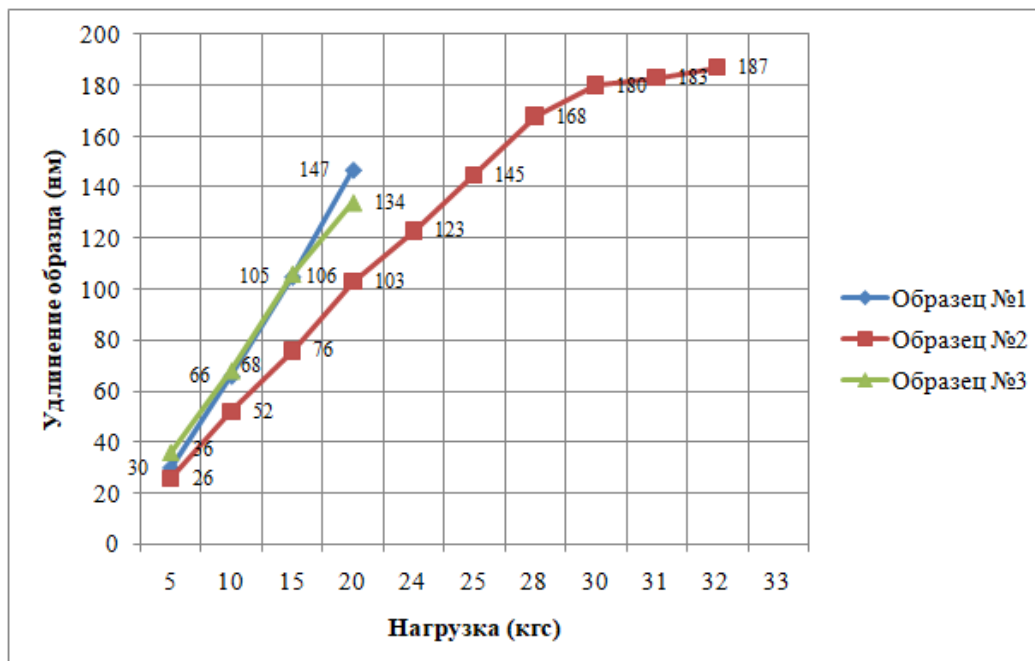


Рисунок 8 – График зависимости удлинения композитных арматурных стержней от нагрузки

Разрыв образцов происходил в диапазоне нагрузки от 15 до 33 кгс. Данные, полученные при ручном загрузке образцов (рисунок 9), не противоречат величинам нагрузки, зафиксированным при испытании стержней на автоматической разрывной машине.

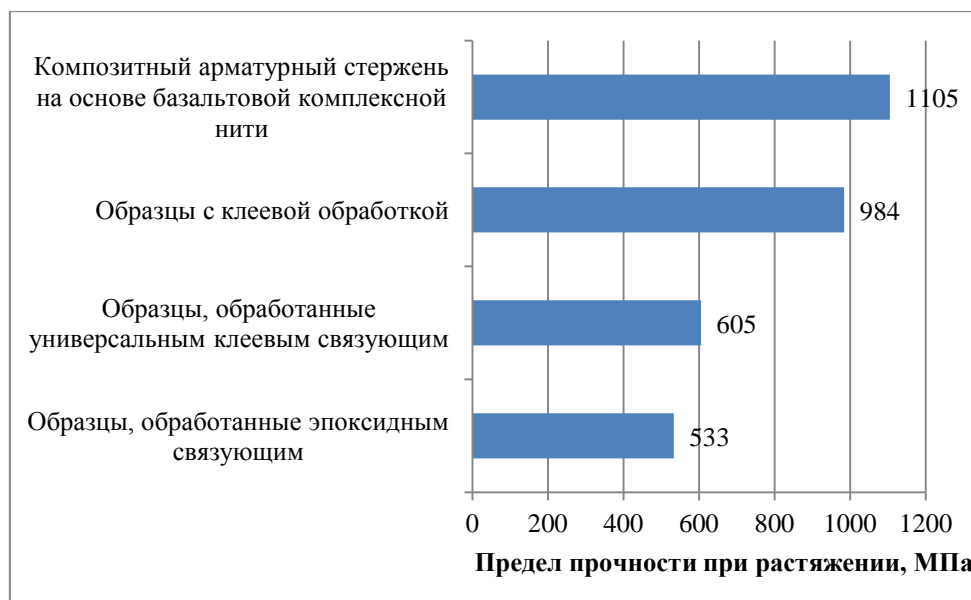


Рисунок 9 – Средние значения прочностей базальтовых армирующих материалов

Сравнительный анализ прочности композитного армирующего материала с прочностью сырьевых базальтовых материалов в виде ровинга и базальтовой комплексной нити с различной клеевой обработкой, а так же исследования, которые приведены в работах

[15,20], показывают преимущество предложенного армирующего элемента. Характер разрыва испытанных базальтокомпозитных стержней, а именно совпадение положения разрыва эпоксидного связующего и базальтовой нити, говорит о совместности работы армирующего наполнителя и эпоксидной матрицы, комплексном восприятии усилия элементарными волокнами в составе армирующего элемента- нити и качестве клеевой обработки.

Полученные данные деформаций армирующих элементов лягут в основу математических расчетов конструкций, армируемых такими стержнями.

Выводы

В рамках исследований, проведенных в данной работе, достигнуты следующие положительные научные результаты:

Предложен новый тип армирующего материала - композитный арматурный стержень на основе базальтовой комплексной нити

Проведен анализ Российских и зарубежных нормативных документов, которые могли бы лечь в основу методики испытания.

Рассмотрены вопросы построения методики испытаний стержней, предложенных авторами: определен и взят за основу наиболее близкий аналог методики испытания согласно существующему ГОСТ.

Предложена методика испытания и приведены результаты экспериментов, позволяющие оценить несущую способность армирующего образца.

Приводятся данные о деформации образцов при загрузке вручную. Показано, что данные о разрушающей нагрузке, полученные при загрузке вручную и с помощью автоматической разрывной машины не противоречат друг другу.

Полученные результаты позволяют судить об успешном применении предложенной методики испытания, а так же характеризуют заявленный армирующий материал как перспективный благодаря полученным деформативно-прочностным характеристикам. Дальнейшие изыскания авторов будут посвящены исследованию влияния предложенного армирующего материала на прочность изгибаемых элементов строительных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарнопольский Ю.М., Кулаков В.Л. Методы испытаний композитов. Обзор исследований, выполненных в ИПМ АН Латвии в 1964-2000 гг. // Механика композитных материалов. 2001. Т.37. №5/6. С.669-693.
2. Грановский А.В., Галишников В.В., Берестенко Е.И. Перспективы применения арматурных сеток на основе базальтового волокна в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 3. С. 59-63.
3. Далинкевич А.А., Гумаргалиева К.З., Мараховский С.С., Асеев А.В. Базальтоволокнистые полимерные композиты как перспективные коррозионно-стойкие материалы. Ч. 1. Механические свойства непрерывных базальтовых волокон и базальтопластиков (обзор) // Коррозия: материалы, защита. 2015. № 4. С. 37-42.
4. Зиннуров Т.А., Пискунов А.А., Сафиюлина Л.Г., Петропавловских О.К., Яковлев Д.Г. Численное моделирование сцепления композитной арматуры с бетоном // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2015. Том 7. №4. <http://naukovedenie.ru/PDF/11TVN415.pdf>, DOI:10.15862/11TVN415.
5. Кириченко В.А., Лебедев И.С. Применение неметаллической арматуры на стройках Краснодарского региона // Научные труды КубГТУ. 2018. № 1. С. 47-54.
6. Кудяков А.В., Стешенко А.Б. Пенобетон дисперсно-армированный теплоизоляционный естественного твердения // Вестник ТГАСУ. 2014. № 2. С. 127-133.
7. Римшин В.И., Кустикова Ю.О. Теоретические основы расчета сцепления стеклобазальтопластиковой арматуры с бетоном // Известия ОрелГТУ. Серия «Строительство. Транспорт». 2009. №2/22 (554). С.29-34.

8. Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A., Rozina V.Ye., Buyantuev S.L., Bardakhanov S.P. Increased corrosion resistance of basalt reinforced cement compositions with nanosilica. *Nanotekhnologii v stroitel'stve* Nanotechnologies in Construction. 2014. Vol. 6. no. 4. Pp. 15–29. Available at: http://nanobuild.ru/en_EN.
9. Кустикова Ю.О. Исследование свойств базальтопластиковой арматуры и ее сцепления с бетоном [Электронный ресурс] // *Строительство: наука и образование*. 2014. № 1. Ст. 1 Режим доступа: <http://www.nso-journal.ru>.
10. Кычкин А.К., Васильева А.А. Исследование физико-механических характеристик композиционных арматурных стержней, изготовленных на основе базальтового ровинга // *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова*. 2012. Т. 9. № 3. С. 80-85.
11. Сарайкина К.А., Голубев В.А., Яковлев Г.И., Сеньков С.А., Политаева А.И. Наноструктурирование цементного камня при дисперсном армировании базальтовым волокном // *Строительные материалы*. 2015. № 2. С. 34-38. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2015-722-2-34-38>
12. Старовойтова И.А., Зыкова Е.С., Сулейманов А.М., Семенов А.Н., Мишурова М.В. Изучение физико-механических характеристик наномодифицированного базальтового ровинга и композиционного материала на его основе // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016. № 3 (37). С. 217-224
13. Ступишин Л.Ю., Савельева Е.В., Масалов А.В., Почерняев Д.А. Исследование прочностных характеристик композиционной арматуры на основе базальтовой комплексной нити // «Современные технологии композиционных материалов», *Материалы II молодежной научно-практической конференции смеждународным участием*, Уфа: РИЦ БашГУ, 2016. С. 67-70.
14. Ступишин Л.Ю., Масалов А.В., Савельева Е.В. Композиционный арматурный стержень на основе базальтовой комплексной нити // патент на полезную модель *RUS 170083 31.10.2016*.
15. Ступишин Л.Ю. Вариационный критерий критических уровней внутренней энергии деформируемого тела // *Промышленное и гражданское строительство*. 2011. №8. С. 21-23.
16. Харун М., Коротеев Д.Д., Дхар П., Ждеро С., Елроба Ш.М. Физико-механические свойства базальто-волокнутого высокопрочного бетона // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2018. Т. 14. №5. С. 396–403. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-5-396-403
17. Караваяев И.В., Румянцева В.Е. К вопросам методики проведения испытаний анкеровки арматуры неметаллической композитной в бетоне // *Строительство и реконструкция*. 2015. №(57) С. 108-114
18. Перечесова А. Д., Соловьева Г. А. Особенности испытания на растяжение арамидных нитей // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2016. Т. 82. №. 10. С. 66-70.
19. Хозин В.Г., Куклин А.Н. Особенности испытаний и характер разрушения полимеркомпозитной арматуры // *Инженерно-строительный журнал*. 2014. №3. С. 40-50.
20. Stupishin L.Yu., Savelyeva E.V., Emelyanov S.G., Altuhov F.V. Tensile Test Method for Basalt Roving // *Key Engineering Materials*. 2019. Vol. 821. Pp 506-511.
21. Харун М., Коротеев Д.Д., Йович М., Волков Е.А. Параметры механики разрушения базальто-волокнутого высокопрочного бетона // *Строительство и реконструкция*. 2018. №5(79) С. 112-124.

REFERENCES

1. Tarnopolsky Yu.M., Kulakov V.L. *Metody ispytaniy kompozitov. Obzor issledovaniy, vypolnennykh v IPM AN Latvii v 1964-2000* [Testing methods for composites. Review of research carried out at the Institute of Applied Mathematics of the Academy of Sciences of Latvia in 1964-2000]. *Mekhanika kompozitnykh materialov*. 2001. T.37. No.5 / 6.-P.669-693.
2. Granovsky A.V., Galishnikova V.V., Berestenko E.I. *Perspektivy primeneniya armaturnykh setok na osnove bazal'tovogo volokna v stroitel'stve* [Prospects for the use of basalt fiber-based reinforcement meshes in construction]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 3. Pp. 59-63.
3. Dalinkevich AA, Gumargalieva KZ, Marakhovsky SS, Aseev AV *Bazal'tovoloknistyye polimernyye kompozity kak perspektivnyye korrozionno-stoykiye materialy. CH. 1. Mekhanicheskiye svoystva nepreryvnykh bazal'tovykh volokon i bazal'toplastikov* [Basalt fiber polymer composites as promising corrosion-resistant materials. Part 1. Mechanical properties of continuous basalt fibers and basalt-plastics (review)]. *Korroziya: materialy, zashchita*. 2015. No. 4. Pp. 37-42.
4. Zinnurov T.A., Piskunov A.A., Safiyulina L.G., Petropavlovskikh O.K., Yakovlev D.G. *Chislennoye modelirovaniye stsepleniya kompozitnoy armatury s betonom* [Numerical modeling of adhesion of composite reinforcement to concrete]. *Naukovodeniye Internet magazine*. 2015. Volume 7. No. 4. <http://naukovedeniye.ru/PDF/11TVN415.pdf>, DOI: 10.15862 / 11TVN415.
5. Kirichenko V.A., Lebedev I.S. *Primeneniye nemetallicheskoj armatury na stroykakh krasnodarskogo regiona* [Application of non-metallic fittings at construction sites of the Krasnodar region]. *Nauchnyye trudy KubGTU*. 2018. No. 1, pp. 47-54.

6. Kudyakov A.V., Steshenko A.B. Penobeton dispersno-armirovanny teploizolyatsionny yestestvennogo tverdeniya [Dispersed-reinforced heat-insulating foam concrete of natural hardening]. Izvestiya OrelGTU. Seriya "Stroitel'stvo. Transport". 2014. No. 2. Pp. 127-133.
7. Rimshin V.I., Kustikova Yu.O. Teoreticheskiye osnovy rascheta stsepleniya steklobazal'toplastikovoy armatury s betonom [Theoretical foundations for calculating the adhesion of glass-basalt-plastic reinforcement with concrete]. Izvestiya OrelGTU. Seriya "Stroitel'stvo. Transport". 2009. No. 2/22 (554). Pp. 29-34.
8. Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A., Rozina V.Ye., Buyantuev S.L., Bardakhanov S.P. Increased corrosion resistance of basalt reinforced cement compositions with nanosilica. Nanotechnologii v stroitel'stve Nanotechnologies in Construction. 2014. Vol. 6. no. 4. Pp. 15-29. Available at: http://nanobuild.ru/en_EN.
9. Kustikova Yu.O. Issledovaniye svoystv bazal'toplastikovoy armatury i yeye stsepleniya s betonom [Investigation of the properties of basalt-plastic reinforcement and its adhesion to concrete]. Stroitel'stvo: nauka i obrazovaniye. 2014. No. 1. Art. 1 Access mode: <http://www.nso-journal.ru>.
10. Kychkin A.K., Vasilyeva A.A. Issledovaniye fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik kompozitsionnykh armaturnykh sterzhney, izgotovlennykh na osnove bazal'tovogo roving [Investigation of physical and mechanical characteristics of composite reinforcing bars made on the basis of basalt roving]. Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. 2012. T. 9.No. 3.Pp. 80-85.
11. Saraikina K.A., Golubev V.A., Yakovlev G.I., Senkov S.A., Politaeva A.I. Nanostrukturirovaniye tsementnogo kamnya pri dispersnom armirovanii bazal'tovym voloknom [Nanostructuring of cement stone with dispersed reinforcement with basalt fiber]. Stroitel'nyye materialy. 2015. No. 2. Pp. 34-38. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2015-722-2-34-38>
12. Starovoitova I.A., Zykova E.S., Suleimanov A.M., Semenov A.N., Mishurova M.V. Izucheniye fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik nanomodifitsirovannogo bazal'tovogo rovinga i kompozitsionnogo materiala na yego osnove [Study of physical and mechanical characteristics of nanomodified basalt roving and composite material based on it]. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2016. No. 3 (37). Pp. 217-224.
13. Stupishin L.Yu., Savelyeva E.V., Masalov A.V., Pochernyaev D.A. Issledovaniye prochnostnykh kharakteristik kompozitsionnoy armatury na osnove bazal'tovoy kompleksnoy niti [Investigation of the strength characteristics of composite reinforcement based on basalt complex thread]. "Modern technologies of composite materials", Materials of the II youth scientific-practical conference with international participation, Ufa: RIC BashSU, 2016. P. 67-70.
14. Stupishin L.Yu., Masalov A.V., Savelyeva E.V. Kompozitsionnyy armaturnyy sterzhen' na osnove bazal'tovoy kompleksnoy niti [Composite reinforcing bar based on basalt filament]. Utility model patent RUS 170083 10/31/2016.
15. Stupishin L.Yu. Variatsionnyy kriteriy kriticheskikh urovney vnutrenney energii deformiruyemogo tela [Variational criterion of critical levels of internal energy of a deformable body]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2011. No. 8. Pp. 21-23.
16. Harun M., Koroteev D.D., Dhar P., Zhdero S., Elroba Sh.M. Fiziko-mekhanicheskiye svoystva bazal'tovoloknistogo vysokoprochnogo betona [Physical and mechanical properties of high-strength basalt-fibrous concrete] // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy. 2018. Vol. 14.No.5. Pp. 396-403. DOI: 10.22363 / 1815-5235-2018-14-5-396-403
17. Karavaev I.V., Rummyantseva V.E. K voprosam metodiki provedeniya ispytaniy ankerovki armatury nemetallicheskoj kompozitnoy v betone [On the methodology for testing anchoring of non-metallic composite reinforcement in concrete]. Building and reconstruction. 2015. No (57) Pp. 108-114.
18. Perechesova AD, Solovieva GA Osobennosti ispytaniya na rastyazheniye aramidnykh nitey [Features of tensile testing of aramid threads], Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. 2016. T. 82.No. 10. Pp. 66-70.
19. Khozin V.G., Kuklin A.N. Osobennosti ispytaniy i kharakter razrusheniya polimerkompozitnoy armatury [Features of tests and the nature of failure of polymer composite reinforcement]. Magazine of civil engineering. 2014. No. 3. Pp. 40-50.
20. Stupishin L. Yu., Savelyeva E.V., Emelyanov S.G., Altuhov F.V. Tensile Test Method for Basalt Roving // Key Engineering Materials. 2019. Vol. 821. Pp 506-511.
21. Harun M., Koroteev D.D., Jovich M., Volkov E.A. Parametry mekhaniki razrusheniya bazal'tovoloknistogo vysokoprochnogo betona [Parameters of fracture mechanics of high-strength basalt fiber concrete]. Building and reconstruction. 2018.No. 5 (79). Pp. 112-124.

Информация об авторах:

Ступишин Леонид Юлианович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,

кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры теоретической и строительной механики.

E-mail: StupishinLYU@mgsu.ru

Масалов Александр Васильевич

ФГБОУ ВО «Юго – Западный государственный университет», г. Курск, Россия,

кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства.

E-mail: masalov.al@yandex.ru

Савельева Екатерина Владимировна

ФГБОУ ВО «Юго – Западный государственный университет», г. Курск, Россия,

аспирант.

E-mail: katyasavelkursk@yandex.ru

Information about authors:

Stupishin Leonid Yu.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

candidate of Technical Science, prof., Professor of the Department of Theoretical and Civil Mechanics.

E-mail: StupishinLYU@mgsu.ru

Masalov Alexandr V.

South-West State University, Kursk, Russia,

candidate of Technical Science, docent of the Department of Industrial and Civil Construction.

E-mail: masalov.al@yandex.ru

Saveleva Ekaterina V.

South-West State University, Kursk, Russia,

graduate student.

E-mail: katyasavelkursk@yandex.ru