

УДК 691.328.4

Ю.О. Кустикова

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ И ЕЕ СЦЕПЛЕНИЯ С БЕТОНОМ

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований и испытаний бетонных конструкций с базальтопластиковой арматурой по определению их несущей способности, а также механизм сцепления базальтопластиковых стержней с бетоном.

Ключевые слова: базальтопластиковая арматура, сцепление, бетон, прочность, железобетонные конструкции, стержень, несущая способность.

Для обеспечения долговечности железобетонных конструкций необходимо принимать меры против развития коррозии бетона и арматуры. Коррозия бетона зависит от его прочности и проницаемости, свойств цемента и агрессивности среды. Коррозия арматуры вызывается чрезмерным раскрытием трещин, недостаточной толщиной защитного слоя. Коррозия арматуры может возникать независимо от коррозии бетона.

Для уменьшения коррозии ограничивают агрессивность среды в процессе эксплуатации (отвод агрессивных вод, улучшение вентиляции помещений), применяют плотные бетоны на сульфатостойких и других специальных вяжущих, устраивают на поверхности бетона защитные покрытия, защитный слой необходимой толщины, ограничивают раскрытие трещин и т.д. При систематическом действии агрессивной среды производят расчет конструкций на это воздействие.

В железобетонных конструкциях защиту арматуры от внешних воздействий обеспечивает защитный слой бетона. Защитный слой также обеспечивает совместную работу арматуры с бетоном, защиту от высоких температур и других воздействий. При назначении толщины защитного слоя учитывают вид и размеры конструкций, условия эксплуатации, диаметр и назначение арматуры.

Восстановить несущую способность железобетонных конструкций с корродированной арматурой возможно с использованием известных конструктивных приемов.

Yu.O. Kustikova

INVESTIGATION OF BASALT PLASTIC REINFORCEMENT AND ITS ADHESION WITH CONCRETE

The load-bearing capacity and durability of concrete structures with metal or other reinforcement depends on their physical and mechanical properties and adhesion values with concrete. In this regard, there is an urgent need in the definition of adhesion of basalt reinforcement and concrete of various compositions and classes. One of the main problems with the use of basalt rods in concrete structures is - providing a high degree of load-carrying capacity in different conditions of stress-strain state of the structure, and the related amount of its adhesion with concrete. Meeting these requirements can be achieved with load-bearing capacity of individual rods, adhesion value, in general, of basalt reinforcement with concrete.

Key words: basalt fittings, clutch, concrete, strength, reinforced concrete construction, rod, load-bearing capacity.

To ensure the durability of ferroconcrete constructions it's necessary to take measures against the development of corrosion of concrete and fittings. Corrosion of concrete depends on its durability and permeability, cement properties and corrosive power. Corrosion of fittings is caused by excessive disclosure of cracks, poor thickness of an armor coat. Corrosion of fittings may be irrespective of concrete corrosion.

In order to decrease corrosion in the operation process it's necessary to limit corrosive power (removal of aggressive waters, improvement of ventilation of rooms), to apply dense concrete on sulfate-resistant and special binding, to make protective coating or an armor coat of necessary thickness on a concrete surface, to limit cracks growth, etc. Under systematic corrosive power calculation of construction on this effect is made.

In ferroconcrete constructions a protective layer of concrete protects reinforcement against external influences. The layer also provides collaboration of reinforcement and concrete, protection against influence of high temperatures and other influences. To define thickness of a protective layer one should consider shape and sizes of constructions, service conditions, diameter and purpose of reinforcement.

Поиск альтернативных путей замещения металлической арматуры в несущих железобетонных конструкциях на композитную, не подвергающуюся коррозии и одновременно имеющую высокую несущую способность, является актуальной научно-исследовательской задачей.

Известно, что композитные материалы минимизируют коррозию и другие силовые и средовые воздействия. В то же время они должны быть технологичными в изготовлении и экологически безопасными (не выделять вредных веществ загрязняющих окружающую среду).

Серьезным прорывом в этом направлении за последние годы стало открытие «базальтовой технологии», которая позволила «обновить» базу строительных материалов новыми для строительных конструкций типами арматуры.

Особый интерес представляют собой высокопрочная неметаллическая арматура на основе базальтового волокна и синтетической смолы.

Поисковые исследования и результаты испытаний на прочность, щелочестойкость, сцепление с бетоном (взамен металлической) показали высокую эффективность арматурных стержней на основе базальтового волокна при их эксплуатации в условиях воздействия агрессивных сред. Приведенные данные позволяют судить об эффективности работы этой арматуры [1, 2].

Однако на сегодняшний день по существу отсутствуют технологии применения в строительной области и конкретные данные о несущей способности бетонных конструкций с базальтопластиковой арматурой (БПА). Отсутствует полноценная информация о величине сцепления БПА с бетоном и ее зависимости от состава бетона, способа его уплотнения, обработки внешней поверхности БПА различными способами для увеличения сцепления ее с бетоном, недостаточно сведений о характере разрушения таких конструкций от воздействия внешних нагрузок.

Композитные материалы обладают исключительными физико-механическими характеристиками (высокой прочностью на растяжение и сжатие и модулем упругости, близким к модулю упругости стали), и стойкостью в различных агрессивных средах [3, 4].

Идея применения стеклопластиковой арматуры впервые была высказана в 1941 г. архитектором А.К. Буровым. Позже исследования в этом направлении велись в Польше, Чехословакии, ГДР, Англии, Франции, США. В ряде

It's possible to restore a load-bearing capacity of ferroconcrete constructions with corroded fittings with the help of well-known constructive methods.

Searching the alternative ways of replacing metal fittings in bearing ferroconcrete constructions for composite ones not exposed to corrosion and at the same time having high load-bearing capacity, is an actual research task.

It is known that composite materials minimize corrosion and other power and environmental influences. At the same time they have to be practically feasible and ecologically safe (not to allocate harmful substances polluting environments).

The discovery of "basalt technology" made it possible "to update" the base of structural materials with new types of fittings for building constructions and became a real breakthrough in this direction in recent years.

The high-strength nonmetallic fittings on the basis of basalt fiber and synthetic resin are of special interest.

Basic researches and test data on durability, alkali-resistance, adhesion with concrete (instead of metal) showed high performance of reinforcing rods on the basis of basalt fiber in the severe serving conditions. The provided data allows to judge the overall performance of these fittings [1, 2].

However up to now there is a lack of application methods of basalt plastic reinforcement in construction and concrete data on a load bearing capacity of concrete constructions with basalt plastic reinforcement (BPR). There is no full information on the adhesion value of BPR with concrete and its dependences on concrete composition, consolidation methods, processing of an external surface of BPR in various ways for increase of its adhesion with concrete and there is not enough data on the nature of destruction of such constructions with external actions.

Composite materials possess exclusive physical and mechanical characteristics (high tensile and compression strength and the elastic modulus close to an elastic modulus of steel), and durability in various corrosive mediums [3, 4].

стран, в т.ч. и в России, разработаны технологии производства стеклопластиковой арматуры (СПА), обладающей физико-механическими свойствами, приближающимися к свойствам металлов и значительно превосходящими их коррозионную стойкость [5].

Относительно высокий модуль упругости СПА предопределяет целесообразность использования ее как для предварительно напряженных конструкций, так и для различного рода ремонтных работ, усиления железобетонных конструкций, полностью или частично потерявших несущую способность в процессе эксплуатации.

Существенным преимуществом СПА является ее коррозионная стойкость, практически по отношению ко всем типам агрессивных воздействий, в т.ч. и к агрессивному влиянию блуждающих токов. Создание фибровой арматуры из базальтовых волокон — новое направление в области технологии и проектирования несущих конструкций [6].

Как известно, металлическая арматура не имеет полного сцепления с бетоном по всей контактируемой поверхности из-за образования водяных линз и пустот вокруг стержня при бетонировании, что отрицательно сказывается на трещиностойкости конструкций. Кроме того, из-за действия щелочной среды бетонной смеси и воды с момента контакта бетона с металлическим стержнем начинаются избирательные процессы коррозии. Это является одним из основных факторов, негативно влияющих на прочность железобетонных конструкций.

К основным условиям, обеспечивающим надежную совместную работу бетона и стальной арматуры в железобетонных конструкциях, относятся:

1) сцепление арматуры с бетоном по площади их контакта, исключаящее продергивание (сдвиг) арматуры в бетоне;

2) примерное равенство коэффициентов температурного удлинения (укорочения) бетона $\alpha_{bt} = 0,000007...0,00001 \text{ град}^{-1}$ и стальной арматуры $\alpha_{st} = 0,000012 \text{ град}^{-1}$.

В последние годы наряду с изучением, созданием и промышленным внедрением стержневой композиционной арматуры (СКНА) ведутся аналогичные работы по созданию БПА, которая по своим свойствам не только не уступает СПА, но даже превосходит их, а по стоимости является наиболее дешевой из всех перечисленных видов. Работы по созданию БПА и применению ее в же-

Architect A.K. Burov was the first to express the idea of using fiberglass fittings in 1941. That led to further researches in this field in the USA, Poland, Czechoslovakia, GDR, England, France. A number of countries including Russia developed production practice of fiberglass fittings (FGF) possessing physical and mechanical properties, coming nearer to metal properties and considerably surpassing their rust resistance [5].

Rather high elastic modulus of FGF predetermines the expediency of its use both for pre-stressed constructions, and for different repair works, for strengthening of ferroconcrete constructions which lost their load-bearing capacity fully or partially in the service.

The essential advantage of FGF is its rust resistance, practically to all types of aggressive influences, including aggressive influence of ground currents. Creation of fiber fittings from basalt fibers is a new trend in the field of technology and projection of load-bearing frames [6].

The metal fittings are known to have no full adhesion with concrete on the entire contacted surface because of formation of water lenses and emptiness round a rod while concreting. That has an adverse effect on crack resistance of constructions. Besides, the action of alkaline medium in concrete and water mix from the moment of contact of concrete with a metal rod causes selective corrosion processes. It is one of the major factors which are negatively influencing durability of ferroconcrete constructions.

The main conditions providing reliable collaboration of concrete and steel fittings in ferroconcrete constructions are as follows:

1) adhesion of fittings with concrete on the entire surface, excluding tearing (shift) of fittings in concrete;

2) approximate equality of coefficients of temperature lengthening (shortening) of concrete $\alpha_{bt} = 0,000007...0,00001$ and steel fittings $\alpha_{st} = 0,000012$.

In recent years along with studying, creation and industrial use of reinforcement composition rod (RSR) there have been similar works on creation of BPR which is not only inferior to RPR, but even surpasses it in

лезобетонных конструкциях перспективны благодаря следующим факторам:

запасы сырья для получения непрерывного базальтового волокна практически неограниченны, а само сырье относительно дешевое;

технология получения базальтового волокна принципиально не отличается от технологии изготовления стеклянных волокон, при этом исключается операция по подготовке многокомпонентной шихты и превращению ее в расплав, а также отсутствует необходимость в формировании стеклянных шариков. Для выпуска ненапрягаемой БПА могут быть использованы менее дефицитные, дешевые аппретирующие составы и связующие, что даст возможность снизить отпускные цены на арматуру [8].

Преимущества БПА:

не подвержена коррозии, весьма слабо меняет свои механические свойства под воздействием кислот, солей и щелочей;

является диэлектриком, радиопрозрачна, магнитоинертна (исключено изменение прочностных свойств под воздействием электромагнитных полей);

имеет высокий модуль упругости при небольшом коэффициенте относительного удлинения, высокую стойкость к стрессовым нагрузкам;

обладает прекрасными реологическими характеристиками;

не теряет свои прочностные свойства под воздействием сверхнизких температур;

коэффициент теплового расширения (КТР) БПА соответствует КТР бетона, что исключает порывы армирования и трещинообразование в защитном слое бетона под воздействием температурных циклов;

имеет высокие показатели прочности на разрыв [9].

В качестве основных конструкций на первом этапе исследований были изготовлены малые балки размерами $0,06 \times 0,12 \times 0,4$ м (для испытания их на изгиб), кубики $10 \times 10 \times 10$ см (для определения кубиковой прочности) и кубики $10 \times 10 \times 10$ см с заделанными в них на глубину 6 см металлическими стержнями $\varnothing 6$, $\varnothing 8$ и БПА, уложенной только в 6,5 мм. Основной целью этих исследований являлось определение (в сравнении) несущей способности балок с БПА с контрольными образцами, величины сцепления базальтопластиковых стержней с бетоном, общей и поверхностной прочности бетонных кубов, изготовленных с указанными видами арматуры.

the properties and is the cheapest of all the listed types. The works on creation of BPR and its application in ferroconcrete constructions are perspective thanks to the following factors:

raw materials stocks for receiving continuous basalt fiber are almost unlimited, and raw materials themselves are rather cheap;

the technology of receiving basalt fiber does not fundamentally differ from production techniques of spun glasses, preparation of multicomponent fusion mixture and its transformation into a melt is excluded, and there is also no need for formation of glass balls. For the production of not strained BPR it's better to use less scarce, cheap interfacial compounds and binders that will give the chance to reduce selling prices of fittings [8].

Advantages of BPR:

it is not subject to corrosion, preserve mechanical characteristics under the influence of acids, salts and alkalis;

is a dielectric, radioparent, magnet inert (change of strength properties under the influence of electromagnetic fields is excluded);

has a high elastic modulus with a small coefficient of the specific elongation, high resistance to stressful loadings;

possesses fine rheological characteristics;

does not lose strength properties under the influence of cryogenic temperatures;

the thermal expansion coefficient (TEC) of basalt plastic fittings corresponds to TEC of concrete that excludes breaks of reinforcing and creation of cracks in a protective layer under the influence of temperature cycles.

has high rates of a tensile strength [9.]

At the first stage of researches there have been produced small beams of sizes $0,06 \times 0,12 \times 0,4$ (for a bending test), cubes $10 \times 10 \times 10$ cm (for determination of the cubical durability) and cubes $10 \times 10 \times 10$ cm with metal rods 6.8 embedded in depth of 6 cm and BPR, laid only 6,5 mm deep. The main objective of these researches was the definition (in comparison) of a load-bearing capacity of beams with BPR with control specimens, adhesion values of basalt plastic

Предварительные испытания базальтопластиковых стержней для определения их прочности на растяжение проводились в лаборатории Дагестанского государственного технического университета на прессе УММ-10, ЗИМ.

Длина испытываемых базальтопластиковых стержней была принята в 45 см с диаметром 6,5 мм (площадь поперечного сечения стержня равна примерно 0,33 см²).

Деформация базальтопластиковых стержней во времени фиксировалась записывающим устройством прессы и средняя ее величина составила 14 мм, а относительная деформация $\varepsilon = 0,03$.

Напряжения σ , МПа, определялись по формуле $\sigma = \frac{P}{S} = 33,2$.

По закону Гука $\sigma = E\varepsilon$ и модуль упругости стержней при растяжении $E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = 1170$ МПа [10].

Основным фактором, определяющим несущую способность и долговечность железобетонной конструкции с БПА, является ее сцепление $\tau_{\text{сц}}$ с бетоном. Более 90 % бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатируемых в реальных условиях, подвергнуты изгибу, внецентренному сжатию или растяжению. При изгибе возникают растянутые зоны, где величина сцепления арматуры с бетоном играет важнейшую роль. Одним из существенных видов напряженно-деформированного состояния (НДС) бетонных конструкций является изгиб и, возникает задача изучения НДС при их изгибе [1, 11].

Для определения прочности бетона были изготовлены стандартные кубики следующего состава: цемент, песок, щебень в пропорции 1 : 2 : 3 с В/Ц = 0,5. Щебень был просеян через стандартные сита по фракциям 5-10, цемент (М500) Новороссийского завода.

Этим же составом были заполнены одновременно все формы, чтобы исключить возможность расхождения свойств бетона исследуемых образцов.

Ниже приведена графическая интерпретация (рис.) экспериментальных результатов (для трех образцов с базальтопластиковыми стержнями) и полученная по ним методом наименьших квадратов теоретическая кривая прогибов:

$$f(p) = 0,31P - 0,004P^2. \quad (1)$$

rods with concrete, the common and surface strength of the concrete cubes made with the specified types of fittings.

Stretching tests of basalt plastic rods were carried out in Dagestan State Technical University laboratories on the press of UMM-10, ZIM.

The length of the tested basalt plastic was taken as 45 cm with a diameter of 6,5 mm (the cross sectional area of a rod is equal to about 0,33 cm²).

Deformation of basalt plastic rods with time was fixed by the recorder of a press and its average size was 14 mm, and the relative deformation tension σ , МПа, was determined by a formula $\sigma = \frac{P}{S} = 33,2$.

According to Hooke law $\sigma = E\varepsilon$ and an elastic modulus of rods at stretching of $E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = 1170$ МПа [10].

The major factor defining a load-bearing capacity and longevity of a ferro-concrete construction with BPR is its adhesion with concrete. More than 90 % of the concrete and ferroconcrete constructions operated in real-life environment, are subjected to a bend, eccentric compression or stretching.

At bending there are stretched zones where the adhesion value of fittings with concrete plays an important role. One of essential types of stress strain state of concrete constructions is bending and, there is a problem of SSS studying at their bend [1, 11].

For determination of durability of concrete standard cubes of the following structure were made: cement, sand, rubble in a proportion 1: 2: 3 with In/C = 0,5; rubble was sifted through standard sieves on fractions 5-10. Cement (M500) of Novorossiysk plant.

The same structure filled simultaneously all the forms; thus excluding the possibility of concrete properties divergence.

Graphic interpretation (fig.) of the experimental results (for three exemplars with basalt plastic rods) and the theoretical curve of deflections received on them by a method of least squares:

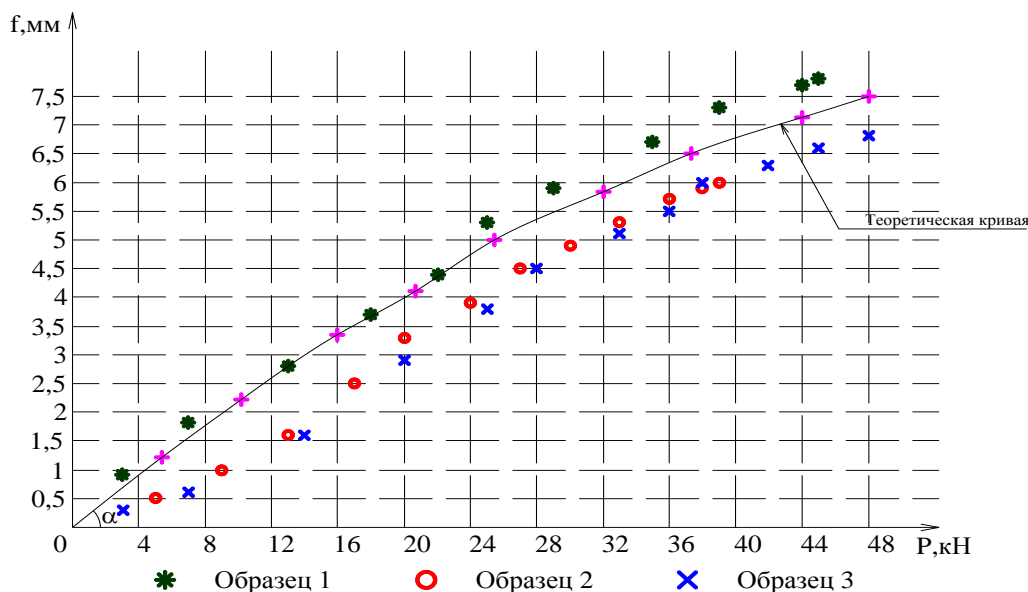


График зависимости прогибов от нагрузки на образцы: * — 1; o — 2; x — 3; $\operatorname{tg} \alpha = f'(0)$; $\operatorname{tg} \alpha = 0,62$; $\alpha = 49$

The schedule of dependence of deflections from loading: — — theoretical curve; * — the 1st exemplar, o — the 2nd exemplar, x — the 3rd exemplar. $\operatorname{tg} \alpha = f'(0)$; $\operatorname{tg} \alpha = 0,62$; $\alpha = 49$

Результаты испытаний малых балок позволяют сделать следующие выводы:

разрушение балок с металлической арматурой $\varnothing 6$ А-I (А-240), $\varnothing 8$ А-II (А-300) происходит примерно по классической схеме;

характер разрушения балок с БПА не типичен и больше похож на срез;

несущая способность балок с БПА $\varnothing 6,5$ мм на 50...70 % выше несущей способности балок с арматурой $\varnothing 6$ А-I (А-240).

В ходе анализа полученных ранее данных было установлено, что значительное влияние на $\tau_{\text{сц}}$ оказывают: глубина заделки стержня в бетон; марка цемента; класс бетона; глубина заземления стержня в захватное устройство. В табл. 1 приведены результаты испытаний.

Данные табл. 1 позволяют сделать вывод, что увеличение марки цемента и класса бетона приводит к увеличению $\tau_{\text{сц}}$; увеличение глубины заделки от 4 до 6 см во всех случаях приводит к увеличению $\tau_{\text{сц}}$; осадка конуса положительно влияет на величину $\tau_{\text{сц}}$ при увеличении класса бетона. Во всех случаях наблюдается увеличение $\tau_{\text{сц}}$ при уменьшении осадки конуса. Результаты испытаний показали, что использованная методика не позволила определить $\tau_{\text{сц}}$ при заделке в 8 см.

Test data of small beams allows to draw the following conclusions:

destruction of beams with metal fittings 6 A-I (A-240), 8 A-II (A-300) occurs approximately according to the classical scheme;

the nature of destruction of beams with basalt plastic fittings is not typical and is more similar to a shear;

the load-bearing capacity of beams with BPR of 6,5 mm is 50...70 % higher than a carrying capacity of beams with fittings 6 A-I (A-240).

The analysis of the previous data showed that the following factors make a great influence on $\tau_{\text{сц}}$: depth of embedding of a rod in concrete; cement brand; concrete class; depth of clutching a rod in a gripping device. Test data is provided in tab. 1.

The data in tab. 1 allows to draw a conclusion that the increase of cement brand leads to increase of adhesive value; the increase of concrete class leads to increase of $\tau_{\text{сц}}$; the increase in depth of embedding from 4 to 6 cm in all cases leads to increase of $\tau_{\text{сц}}$; the settlement of a cone positively influences the adhesive value at the increase of concrete class. The decrease of the settlement of a cone in all cases leads to decrease of $\tau_{\text{сц}}$. Test data showed that the used technique did not allow to define $\tau_{\text{сц}}$ at embedding of 8 cm.

Табл. 1. Результаты испытаний на выдергивание базальтопластиковых стержней $\varnothing 6,5$ мм из кубиков $10 \times 10 \times 10$ см

№ п/п	Класс бетона	Марка цемента	Осадка конуса, см	Глубина заделки, см	Усредненные значения усилия выдергивания P , кг	Площадь боковой поверхности стержней, см^2	Величина $\tau_{\text{сц}}$, МПа
1	B12	M300	2	4	216	7,52	3,0
				6	604	11,3	5,4
				8	не выдер.	13,04	—
2	B15	M400	2	4	320	7,52	4,2
				6	975	11,3	8,6
				8	не выдер.	13,04	—
3	B12	M400	2	4	235	7,52	3,1
				6	784	11,3	6,8
				8	не выдер.	13,04	—

Tab. 1. Tearing test for basalt plastic rods of 6,5 mm from cubes $10 \times 10 \times 10$ cm

№	Concrete class, B	Cement brand, M	Settling of a cone, cm	Depth of embedding, cm	Average values of tearing effort P , kg	Lateral area of rods, cm^2	Adhesion value $\tau_{\text{сц}}$, МПа
1	B12	M300	2	4	216	7,52	3,0
				6	604	11,3	5,4
				8	No tear	13,04	—
2	B15	M400	2	4	320	7,52	4,2
				6	975	11,3	8,6
				8	No tear	13,04	—
3	B12	M400	2	4	235	7,52	3,1
				6	784	11,3	6,8
				8	No tear	13,04	—

Проведенные экспериментальные исследования показали, что требуются дополнительные исследования по определению $\tau_{\text{сц}}$ при увеличении глубины заделки базальтопластиковых стержней в бетонные кубики.

Величина заделки арматурных стержней в захваты устройства пресса при выдергивании стержней составляла более 20 см. Испытания, прежде всего, показали, что ни в одном случае не обнаруживалось соскальзывания внешней оболочки стержней, как в предыдущих случаях испытаний. Результаты испытания на выдергивание стержней — в табл. 2.

The conducted pilot researches showed that there is a need in additional research on definition of $\tau_{\text{сц}}$ in case of increasing the depth of embedding of basalt plastic rods in concrete cubes.

The size of embedding of reinforcing rods in press grippers while tearing rods was more than 20 cm. The tests showed that there was no case of sliding of an external envelope of rods as in the previous tests. Test data on the tear of rods is given in tab. 2.

Табл. 2. Результаты испытаний на выдергивание базальтопластиковых стержней из кубиков, закрепленных в захватное устройство на глубину 20 см

Серия образцов (3 кубика)	Глубина заделки стержней в кубики, см	Усилие выдергивания P , кг	Площадь боковой поверхности сцепления, см^2	Величина сцепления $\tau_{\text{сц}}$, МПа
I	4	300	7,52	4,02
II	6	900	11,3	8
III	8	1900	13,04	14,6

Перед выдергиванием стержней во всех трех кубиках с глубиной заделки в 8 см наблюдалось скручивание их, и в момент выдергивания наблюдался разрыв кубиков в виде среза по всей высоте.

Tab. 2. Test data on pulling basalt plastic rods out of cubes fixed in a gripper 20 cm deep

Series of models (3 cubes)	Depth of embedding of rods in cubes, cm	Tearing effort P , kg	Lateral area of adhesion, cm^2	Adhesion value $\tau_{\text{сц}}$, МПа
I	4	300	7,52	4,02
II	6	900	11,3	8
III	8	1900	13,04	14,6

Before tearing of rods in all three cubes with depth of embedding of 8 cm their twisting was observed, and at the moment of tearing there was a rupture of cubes in the form of a shear along the height.

Анализ результатов испытаний на выдергивание показывает, что глубина заделки арматурных стержней в захватное устройство играет существенную и, пожалуй, главную, роль для определения $\tau_{\text{сц}}$. Насколько величина $\tau_{\text{сц}}$ может быть реально определена, настолько же будет характеризоваться несущая способность конструкции в целом. Сравнение данных $\tau_{\text{сц}}$, определенных другими методами, и новых данных говорит о значительных величинах расхождений (в 1,5 и более раз) в сторону увеличения $\tau_{\text{сц}}$.

Предварительные данные по испытанию на выдергивание базальтопластиковых стержней из бетона позволяют судить о высокой степени сцепления их с бетоном. С целью уточнения характера деформирования базальтового стержня при твердении бетона за счет его усадки были проведены испытания части базальтопластикового стержня (длиной 8 см) на сжатие под прессом без винтовых ниток и с винтовыми нитками. На длину 8 см приходится 6 ниток диаметром примерно 1,5 мм. В другом эксперименте на участке длиной 8 см нитки были сняты. Результаты испытаний приведены в табл. 3, 4.

The analysis of tearing test data shows that the depth of embedding of reinforcing rods plays the main role for defining adhesion value $\tau_{\text{сц}}$. So the adhesion value determines the load-bearing capacity of the construction as a whole. Comparison of the previous $\tau_{\text{сц}}$ data, made by other methods, and new data, shows the considerable divergences (in 1,5 and more times) towards increase of $\tau_{\text{сц}}$.

Preliminary data on the test of pulling basalt plastic rods out of concrete shows the high extent of their adhesion with concrete. To specify the nature of a basalt rod deformation during solidification of concrete due to its contraction, pressing tests of the part of a basalt plastic rod (length of 8 cm) without screw threads and with screw threads were carried out. 6 threads with a diameter about 1,5 mm are the share of length of 8 cm. In the other experiment within the stretch of 8 cm long the threads were removed. Test data are provided in tab. 3, 4.

Табл. 3. Данные испытаний базальтового стержня длиной 8 см с поверхностью без винтовой нитки

Tab. 3. Data of tests of a basalt rod 8 cm long with a surface without screw thread

Время t , с Time t , C	Начальный диаметр \varnothing , мм Top diameter \varnothing , mm	Нагрузка P , кН Loading P , kN
0	5,9	12
10	4,8	30,45
20	4	43,88
		50,04 предел / limit
30	3	75,44
40	2	102,44
50	2	121,3
60	2	124,9 разрушение / destruction

Табл. 4. Данные испытаний базальтового стержня с винтовыми нитками (6 ниток на длину 8 см и начальным диаметром с нитками 8 мм)

Tab. 4. Data of tests of a basalt rod with screw threads (6 threads at the length of 8 cm and top diameter with strings of 8 mm)

Время t , с Time t , C	Начальный диаметр \varnothing , мм Top diameter \varnothing , mm	Нагрузка P , кН Loading P , kN
0	8	0
10	7,5	14,0
20	7	25,0
30	6,8	32,77
40	6,5	42,02
		50,04 предел / limit
50	5	59,14
60	4	61,39
70	4	71,33
80	3	124,9 разрушение / destruction

Анализ данных таблиц позволяет сделать вывод, что стержни из БПА деформируются при достаточно малых нагрузках, практически как упругая система. В то же время существенный переход в пластическое состояние происходит уже при нагрузках в пределах 50 кН, а полный переход в пластическое течение стержней как с винтовой, так и с круглой поверхностью происходит при одинаковой нагрузке 124,9 кН. Испытания металлических стержней $\varnothing 6$ А-I (А-240) с гладкой поверхностью показали, что их деформативные свойства начинают значительно проявляться при нагрузке более 144 кН; базальтопластиковые стержни проявляют поперечную деформативность при нагрузках в три раза меньше, чем металлические стержни, подтверждая, что их модуль упругости ближе к модулю упругости бетона.

Анализ характера разрушений перемычек показывает, что все элементы с одиночной арматурой разрушаются с образованием наклонных трещин со срезом. Причем большая часть конструкции разрушается в виде среза на контакте бетон — БПА (длинной примерно $2/3$ от $l_0/2$), это означает, что бетон работает на срез, а не на растяжение. Известно, что временное сопротивление бетона на срез определяется по эмпирической формуле $R_{sh}=2R_{bt}$. Можно полагать, что при изгибе балок с БПА дополнительно возникают и продольные силы, связанные с перераспределением усилий в арматуре с винтовой поверхностью.

Проведенными экспериментами показано, что благодаря упругим характеристикам БПА совместима с усадочными деформациями бетона, что и обеспечивает высокую величину сцепления этой арматуры с бетоном, обладая в то же время высокими показателями прочности на растяжение.

Анализ полученных данных показывает, что несущая способность балок с БПА $\varnothing 6,5$ мм почти в 2 раза выше несущей способности балок с металлической арматурой $\varnothing 6$ мм (P соответственно: 40,6; 22,3). В то же время несущая способность балок с базальтовой арматурой $\varnothing 6,5$ мм ниже несущей способности балок с металлической арматурой периодического профиля $\varnothing 8A-II$ (А-300) примерно на 15...20%. Очевидно, эту разницу в несущей способности между данными

The analysis of these tables allows to conclude that rods of BPR are deformed at rather small loadings, almost as elastic system. At the same time essential transition to plastic condition occurs at loadings within 50 kN, and the complete transition of rod stock to plastic flow both with screw and a round surface occurs under identical load of 124,9 kN. Tests of metal rods of 6 A-I (A-240) with a smooth surface showed that their deformative properties appear considerably under loading of >144 kN; basalt plastic rods show their cross deformability under the loadings three times smaller, than metal rods, confirming that their elastic modulus is closer to that of a concrete.

The analysis of bridge destructions shows that the formation of sloping cracks with a cut leads to the destruction of all the elements with single reinforcement. And the major part of the construction destructs in the form of a cut where concrete contacts BPR (the length is about $2/3$ of $l_0/2$). That means that concrete works in shear and not in tension. It is known that the ultimate strength of concrete in shear is determined by an empirical formula $R_{sh} = 2R_{bt}$. It is possible to believe that bending of beams with BPR results in longitudinal forces, bound to redistribution of efforts in reinforcement with a screw surface.

The experiments showed that thanks to resilient characteristics of BPR, it is compatible to shrinkage strains of concrete, that provides the high level of adhesion of these fittings with concrete, and at the same time high rates of extension strength.

The analysis of the obtained data shows that the load-bearing capacity of beams with BPR of 6,5 mm is almost twice higher than a load-bearing capacity of beams with metal fittings of 6 mm (P respectively: 40,6; 22,3). At the same time the load-bearing capacity of beams with basalt reinforcement of 6,5 mm is, approximately, 15-20 % lower than a load-bearing capacity of beams with metal fittings of periodic profile 8A-II (A-300). Apparently, this difference in a load-bearing capacity between the data of both series can be explained that, first of all, metal rods of 8 mm have sectional area $S = 0,503 \text{ cm}^2$ whereas a sectional area of a basalt rod $S = 0,333 \text{ cm}^2$ and, secondly, the value of adhesion of metal fittings with a periodic profile with concrete is higher because of the edges.

обеих серий можно объяснить тем, что, во-первых, металлические стержни $\varnothing 8$ мм имеют площадь сечения $S = 0,503 \text{ см}^2$, тогда как площадь сечения базальтового стержня $S = 0,333 \text{ см}^2$; во-вторых, у металлической арматуры периодического профиля за счет ребер величина сцепления арматуры с бетоном выше. Базальтовые арматурные стержни имеют один виток намотанной нити из стекловолокна шагом 10 мм и величиной выступа примерно 1,5 мм, в то же время у металлических стержней периодического профиля шаг ребер составляет 5 мм; величина выступа — 2 мм. Таким образом, если в базальтовых стержнях уменьшить шаг до 5 мм, и высоту выступа довести до 2 мм, то величина сцепления, по видимому, увеличится более чем в два раза.

Среднее значение σ , МПа, (на один стержень) при разрушении балок с базальтовой арматурой составляет $\sigma = 398,8$; с металлической арматурой $\varnothing 6$ и $\varnothing 8$ мм соответственно составляют $\sigma = 258$ и $\sigma = 352,8$.

Следовательно, базальтопластиковые стержни работают значительно эффективнее, чем металлические стержни.

Характер разрушения балок-перемычек с БПА в принципе совпадает с характером разрушений малых балок.

Наиболее существенным является то, что в малых балках и в перемычках со стержнями из БПА не возникают нормальные трещины, что говорит о новом характере НДС сечения.

Что же касается характера разрушения контрольных перемычек, то они разрушаются по классической схеме — разрушение происходит по нормальным сечениям с полным обрывом стержней растянутой зоны.

Автором была поставлена задача реализации оценочных исследований с целью определения сечений конструкций с БПА, которые могут заменить по несущей способности конструкции с металлической арматурой.

По данным исследований установлено, что 2 стержня $\varnothing 6,5$ мм из БПА вполне могут заменить 4 стержня $\varnothing 8$ А-I (240), причем их несущая способность почти в 2 раза выше несущей способности сечений с арматурой $\varnothing 4$ А-I (240).

Анализ данных, полученных при испытании на изгиб перемычек, позволяет сделать выводы:

Basalt reinforcing rods have one round of the reeled-up thread of fiber glass with a step of 10 mm and of ledge about 1,5 mm, at the same time with metal rods of a periodic profile the step of edges makes 5 mm; ledge size — 2 mm. Thus, reducing a step in basalt rods to 5 mm, and bringing ledge height to 2 mm, adhesion value will, apparently, increase more than twice.

The mean value σ , МПа (for one rod), in the destruction of beams with basalt reinforcement and metal fittings is equal to 6 and 8 mm respectively $\sigma = 258$ и $\sigma = 352,8$, and therefore, basalt plastic rods work much more effectively, than metal rods.

The nature of destruction of bridging beams with BPR coincides in principle with the nature of small beams destruction.

The most essential is that there are no normal cracks in small beams and in bridges with rods of BPR and that testifies a new character of the cross section in stress-strain state (ISS).

As for the nature of control straight bridges destruction, they destruct according to the classical scheme — destruction occurs in normal sections resulting in the complete break of rods in the stretched zone.

The author set the task of implementation of estimating researches for determination of structural sections with BPR, which can replace sections with metal fittings in relation to load-bearing capacity.

According to the survey data it was established that 2 rods of 6,5 mm of BPR can replace 4 rods 8 А-I (240), and their load-bearing capacity is almost twice higher than a load-bearing capacity of sections with reinforcement 4 А-I (240).

The analysis of the data obtained from the bridge bending test, allows to draw the following conclusions:

All the bridges with basalt plastic reinforcement have a load-bearing capacity from 1,5 to 3 and many times higher than a load-bearing capacity of crossing points with metal fittings 4 BP-I;

the increase of quantity of reinforcing rods in cross section of BPA has a small influence on the capacity of crossing points; for example, load-bearing capacity of a bridge with three rods of 6.5 mm of BPA by 3 times, is more than that of a crossing point with four rods of 4 mm of BP-I (6725 and 2000 kg respectively), and with 2 rods of 6,5 mm it is more, than with 4 rods of

все перемычки с БПА имеют несущую способность от 1,5 до 3 и более раз выше несущей способности перемычек с металлической арматурой $\varnothing 4$ Вр-I;

увеличение количества арматурных стержней в сечении из БПА незначительно влияет на несущую способность перемычек; например, несущая способность балки-перемычки с тремя стержнями $\varnothing 6,5$ мм из БПА в 3 раза, больше чем у перемычки с 4 стержнями $\varnothing 4$ мм Вр-I (соответственно 6725 и 2000 кг), а с 2 стержнями $\varnothing 6,5$ мм больше, чем с 4 стержнями $\varnothing 4$ мм Вр-I, в более чем 2,5 раза (соответственно 5375 и 2000 кг).

Эти явления можно объяснить тем, что БПА имеет модуль упругости, более близкий к модулю упругости бетона, чем металлическая арматура. БПА более чувствительна и легко реагирует на усадку бетона, тогда как металлическая арматура в принципе не реагирует на усадку, и поэтому величина сцепления ее с бетоном очень низкая.

Эксперименты по исследованию малых балок и балок перемычек с БПА подтвердили теоретические предпосылки.

В то же время часть экспериментов при выдергивании БПА из бетона показала, что основную нагрузку несет на себе внешний эпоксидный слой со стекловолоконистой винтовой арматурой. Практически во многих случаях при их выдергивании происходил отрыв внешнего слоя и скольжение его по внутреннему слою из базальтовых волокон.

Вывод. По результатам экспериментальных исследований выявлено, что несущая способность балок с БПА (в зависимости от диаметра стержней) в 1,5 и более раз выше несущей способности балок с металлической арматурой. Практически во всех случаях испытаний установлено, что наиболее эффективно работает внешняя оболочка БПА, в то время как сердечник — базальтовые волокна — работают в пределах 10...15 % по объему.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследование бетонных конструкций из базальтовых волокон / В.И. Римшин, М.М. Батдалов, М.А. Гаджибеков, Ш.М. Джалилов, Ю.О. Кустикова // Сборник тезисов докладов XXIX итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ. Технические науки. Махачкала, 2008. С. 251—252.

4 mm of Вр-I, in more than 2,5 times (5375 and 2000 kg respectively).

These phenomena can mean the elastic modulus of BPR is closer to the elastic modulus of concrete, than metal fittings. BPR is more sensitive and easily reacts to concrete shrinkage whereas metal fittings do not react to shrinkage at all and therefore, its cohesion with concrete is very low.

The experiments on research of small beams and cross bridges with BPR confirmed theoretical prerequisites.

At the same time some experiments of pulling BPR out of concrete showed that an external epoxy layer with glass-fiber screw fittings has the main load-bearing capacity. Practically in many cases of tearing of fittings there was a separation of an external layer and its sliding on the inner layer of basalt fibers.

Conclusion. The results of the experimental researches revealed that the load-bearing capacity of beams with BPA (depending on diameter of rods) is 1.5 and many times higher than the carrying capacity of beams with metal fittings. Almost all the tests showed that the external envelope of BPA works efficiently, while the core — basalt fibers — work within 10-15 % of the volume.

REFERENCES

1. Rimshin V.I., Batdalov M.M., Gadzhibekov M.A., Dzhililov Sh.M., Kustikova Yu.O. Issledovanie betonnykh konstruktсий iz bazal'tovykh volokon [Investigation of Concrete Structures Made of Basalt Fibres]. *Sbornik tezisev dokladov XXIX itogovoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavateley, sotrudnikov, aspirantov i studentov DGTU. Tekhnicheskie nauki* [Collection of Abstracts of the 29th Concluding Scientific and Technical Conference of the Professors, Staff, Postgraduate Students and Students of Don State Technical University. Technical Sciences]. Махачкала, 2008, pp. 251—252.

2. Rimshin V.I., Batdalov M.M., Kustikova Yu.O. Prakticheskie rekomendatsii i tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie primeneniya kompozitnoy armatury pri provedenii betonnykh rabot [Practical Recommendations and Technical and Economic Justification of the Composite Reinforcement Application in Concrete Works]. *Aktual'nye problemy razvitiya zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva gorodov i naseleennykh punktov. Devyataya Mezhdunarodnaya Nauchno-prakticheskaya konferentsiya 30 maya – 6 iyunya* [Current Issues of Housing and Utilities Infrastructure Development of the Cities and Settlements. 9th International Scientific and Practical Conference, May 30—June 6]. Moscow, Sophia, Kavala, 2010, pp. 39—48.

3. Stepanova E.V., Nefedova E.Yu., Kadykova Yu.A., Artemenko S.E. Fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki bazal'toplastikov na osnove bazal'tovykh nitey raznykh

2. Римишин В.И., Батдалов М.М., Кустикова Ю.О. Практические рекомендации и технико-экономическое обоснование применения композитной арматуры при проведении бетонных работ // Актуальные проблемы развития жилищно-коммунального хозяйства городов и населенных пунктов : Девятая междунар. науч.-практич. конф., 30 мая — 6 июня 2010 г., Москва, София, Кавала. М., 2010. С. 39—48.

3. Физико-механические характеристики базальтопластиков на основе базальтовых нитей разных производителей / Е.В. Степанова, Е.Ю. Нефедова, Ю.А. Кадыкова, С.Е. Артеменко // Композиты XXI века : доклады Междунар. симпозиума восточно-азиатских стран по полимерным композиционным материалам и передовым технологиям, Саратов, 20—22 сентября 2005 г. Саратов, 2005. С. 50—54.

4. Тур В.В., Семенюк О.С. Применение базальтопластиковой арматуры при изготовлении самонапряженных конструкций // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. 2013. № 1 (79). С. 99—103.

5. Шалудин С.А. Применение базальтопластиковой и композитной арматуры как инновационно ориентированный инструмент обеспечения социально-экономического развития строительного комплекса // Вестник Московского государственного открытого университета. Сер.: Техника и технология. 2012. № 2 (8). С. 59—63.

6. Abashidze G.S., Marquis F.D.S., Chikhradze N.M. Basalt reinforced plastics: Some operating properties // Trans Tech Publications, Switzerland. Materials Science Forum. 2007. Vols. 561—565. Pp. 671—674.

7. Ramakrishnan V., & Panchalan R. A new construction Material // Non-corrosive basalt bar reinforced concrete. Special Publication. 2005. 229, pp. 253—270.

8. Sim J., Park C., Moon D.Y. Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures // Compos Part B –Eng, 2005. Vol. 36, no. 6-7. Pp. 504—512.

9. Ross A. Basalt fibers: Alternative to glass? // Composites World. 2006. Режим доступа: <http://www.compositesworld.com/articles/basalt-fibers-alternative-to-glass>. Дата обращения: 09.05.2012.

10. EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures General rules and rules for building.

11. ACI Committee 440. State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. American Concrete Institute. Detroit, Michigan, 1996. 68 p.

Поступила в редакцию в феврале 2014 г.

Об авторе: **Кустикова Юлия Олеговна**, доцент кафедры городского строительства и коммунального хозяйства, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, igkk@mgsu.ru

proizvoditeley. Mezhdunarodnyy simpozium vostochno-aziatskikh stran po polimernym kompozitsionnym materialam i peredovym tekhnologiyam [Physical and Mathematical Properties of Basalt Fiber Reinforced Polymers on the Basis of Basalt Fibres of Various Manufacturers]. *Doklady mezhdunarodnogo simpoziuma «Kompozity XXI veka»*, Saratov, 20-22 sentyabrya 2005 g. [Papers of the International Symposium "Composites of the 21st Century", Saratov, September 20—22, 2005]. Saratov, 2005, pp. 50—54.

4. Tur V.V., Semenyuk O.S. Primenenie bazal'toplastikovoy armatury pri izgotovlenii samonapryazhennykh konstruksiy [Application of Basalt Fiber Reinforcing in the Process of Self-stressed Structures Construction]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Brest State Technical University]. 2013, no. 1 (79): Stroitel'stvo i arkhitektura [Construction and Architecture], pp. 99—103.

5. Shaludin S.A. Primenenie bazal'toplastikovoy i kompozitnoy armatury kak innovatsionno orientirovannyy instrument obespecheniya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya stroitel'nogo kompleksa [Application of Basalt Fiber and Composite Reinforcing as an Innovation-Oriented Instrument for Providing Social and Economic Development of the Construction Complex]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo otkrytogo universiteta. Seriya Tekhnika i tekhnologiya* [Proceedings of Moscow State Open University. Technologies Series]. Moscow, no. 2 (8), 2012, pp. 59—63.

6. Abashidze G.S., Marquis F.D.S., Chikhradze N.M. Basalt Reinforced Plastics: Some Operating Properties. Trans Tech Publications, Materials Science Forum. Switzerland, 2007, vol. 561—565, pp. 671—674. DOI: 10.5772/48289.

7. Ramakrishnan, V., Panchalan, R.A New Construction Material—Non-corrosive Basalt Bar Reinforced Concrete. Special Publication, 2005, vol. 229, 253—270.

8. Sim J., Park C., Moon D.Y. Characteristics of Basalt Fiber as a Strengthening Material for Concrete Structures. Composites Part B: Engineering. 2005, vol. 36, no. 6-7, pp. 504—512. DOI: 10.1016/j.compositesb.2005.02.002.

9. Ross, A. Basalt Fibers: Alternative to glass? Composites World. 2006. Available at: <http://www.compositesworld.com/articles/basalt-fibers-alternative-to-glass>. Date of access: 9.05.2012.

10. EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of Concrete Structures. General Rules and Rules for Building.

11. ACI Committee 440. State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. American Concrete Institute. Detroit, Michigan, 1996, 68 p.

About the author: **Kustikova Yulia Olegovna**, Associate Professor Department of Urban Development and Utilities, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, igkk@mgsu.ru

Для цитирования:

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>.

For citation:

Kustikova Yu.O. Issledovanie svoystv bazal'toplastikovoy armatury i ee stsepleniya s betonom [Investigation of basalt plastic reinforcement and its Adhesion with Concrete]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2014. no. 1, paper 1. Available at: <http://www.nso-journal.ru>.

Строительство: наука и образование. 2014. № 1. Ст. 1. <http://www.nso-journal.ru>