

**И.Г. Овчинников^{1,2}, Д.Н. Парышев³, А.В. Ильяков⁴, О.Ю. Моисеев⁵,
В.В. Харин³, И.П. Попов³, Д.А. Харин⁶**

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

²Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

³ЗАО «Курганстальмост», Курган, Россия

⁴Государственная дума РФ, Москва, Россия

⁵ООО «Мостпроект», Курган, Россия

⁶Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

ПОВЫШЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ТРУБОБЕТОННОЙ БАЛКИ

Показано, что эффективным способом повышения прочностных свойств бетонного ядра в трубобетонной балке является использование квазидисперсного упрочнителя – фибры. Волокна фибры интегрированы в цементный камень (матрицу) и выполняют функцию армирования, предотвращая развитие трещин. В трубобетонной балке при ее изгибе трещины генерируются в зоне, расположенной ниже нейтральной оси балки. При этом ось трещины перпендикулярна оси балки. Поэтому трещиностойкость фибробетона будет максимальной при ориентации всех осей фибры параллельно оси трубобетонной балки. Целью исследования является разработка трубобетонной балки с содержанием фибры в бетонном ядре. Для повышения нагрузочной способности такой балки фибра должна быть ориентирована по расчетному вектору главного напряжения. Задачей работы является обоснование методов осевого ориентирования фибры. При заполнении фибробетоном полости трубы в процессе изготовления трубобетонной балки фибра в бетонной матрице имеет произвольную ориентацию. Прочность, которую обеспечивает фибра в бетонной матрице балки, зависит от угла ее ориентации относительно продольной оси балки. При произвольной ориентации фибры коэффициент прочности будет определяться математическим ожиданием угла поворота, что соответствует коэффициенту прочности 0,3. Поэтому с переходом от произвольной ориентации фибры к полной ориентации прочность бетонного ядра увеличивается в 3,3 раза. Полной ориентации осей фибр можно достичь путем воздействия магнитного поля на фибру. Магнитный поток создается электрической катушкой, которую располагают на наружной поверхности трубы трубобетонной балки. Катушка может состоять также из отдельных секций, которые обеспечивают необходимую форму магнитного потока.

Ключевые слова: балка, трубобетон, фибра, ориентация, напряжение, прочность, магнитное поле, катушки.

**I.G. Ovchinnikov^{1,2}, D.N. Paryshev³, A.V. Il'tyakov⁴, O.YU. Moiseyev⁵,
V.V. Kharin³, I.P. Popov³, D.A. Kharin⁶**

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

²Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation

³CJSC Kurganstalmost, Kurgan, Russian Federation

⁴State Duma of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

⁵ООО "Mostproekt", Kurgan, Russian Federation

⁶Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation

INCREASING THE LOAD CAPACITY OF A CONCRETE BEAM

It is shown that an effective way to increase the strength properties of a concrete core in a concrete pipe beam is to use a quasi-dispersed hardener – string. String fibers are integrated into the cement stone (matrix) and perform the function of reinforcing, preventing the development of cracks. In a pipe-concrete beam, when it is bent, cracks are generated in the zone located below the neutral axis of the beam. In this case, the axis of the crack is perpendicular to the axis of the beam. Therefore, the crack resistance of fiber-reinforced concrete will be maximum when all axes of the string are oriented parallel to the axis of the concrete beam. The aim of the research was to develop a pipe-concrete beam with string content in the concrete core. To increase the load capacity of such a beam, the string should be oriented according to the calculated vector of the main stress. The objective of the study was to substantiate the methods of axial orientation of the string. When filling a pipe cavity with fiber-reinforced concrete during the manufacturing of a concrete-concrete beam, string in the concrete matrix has

an arbitrary orientation. The strength provided by the string in the concrete matrix of the beam depends on the angle of its orientation relative to the longitudinal axis of the beam. With an arbitrary orientation of the string, the strength coefficient will be determined by the mathematical expectation of the angle of rotation, which corresponds to a strength factor of 0.3. Therefore, when changing an arbitrary orientation of the string to a full orientation, the strength of the concrete core will increase by 3.3 times. The complete orientation of the fiber axes can be achieved by applying a magnetic field to the fiber. Magnetic flux is created by an electric coil, which is placed on the outer surface of the pipe of the concrete beam. The coil can also consist of separate sections, which provide the necessary form of magnetic flux.

Keywords: beam, pipe concrete, string, orientation, stress, strength, magnetic field, coils.

Эффективным способом повышения прочностных свойств бетонного ядра в трубобетонной балке является использование квазидисперсного упрочнителя – фибры [1–3]. В качестве материала для фибры преимущественно применяют сталь, стекло, которое устойчиво к щелочи, а также полимерные материалы [4–8]. Волокна фибры интегрированы в цементный камень (матрицу) и выполняют функцию армирования, предотвращая развитие трещин.

При развитии трещины в матрице волокна фибры могут надежно соединять оба края трещины благодаря их высокой прочности на растяжение и хорошей анкеровке в матрице [9]. Эффективность фиброармирования зависит как от содержания волокон в матрице, так и от их прочности, геометрии, равномерности распределения.

Существенным недостатком бетона является его хрупкость [10, 11]. При этом трещины в бетоне возникают и развиваются под действием нормальных напряжений растяжения. В трубобетонной балке при ее изгибе трещины генерируются в зоне, расположенной ниже нейтральной оси балки. При этом ось трещины перпендикулярна оси балки. Поэтому трещиностойкость фибробетона будет максимальной при ориентации всех осей фибры параллельно оси трубобетонной балки [12].

Целью исследования является разработка трубобетонной балки с содержанием фибры в бетонном ядре.

Для повышения нагрузочной способности [13–15] такой балки фибра должна быть ориентирована по расчетному вектору главного напряжения.

Задачей работы является обоснование методов осевого ориентирования фибры.

Статистические аспекты. При заполнении фибробетоном полости трубы в процессе изготовления трубобетонной балки фибра в бетонной матрице имеет произвольную (случайную) ориентацию угла φ (φ – угол между осью балки и осью фибры). При этом угол φ представляет собой случайную величину, распределенную по равномерному закону на интервале (a, b) ,

$$F(\varphi) = \begin{cases} 0 & \text{при } \varphi < a, \\ \frac{\varphi - a}{b - a} & \text{при } 0 \leq \varphi \leq b, \\ 1 & \text{при } \varphi > b, \end{cases}$$

где $a = 0$, $b = \pi/2$.

Математическое ожидание угла поворота φ фибры для равномерного закона распределения

$$M[\varphi] = \frac{a + b}{2} = \frac{0 + \pi/2}{2} = \frac{\pi}{4}.$$

Прочность, которую обеспечивает фибра в бетонной матрице балки, зависит от угла φ ее ориентации относительно продольной оси балки и определяется коэффициентом прочности $K_n = \alpha^n$, где α – доля угла от $\pi/2$, а показатель степени n изменяется от 1 до 2. Для фибры $n = 1,7$.

Для расчета доли угла α в зависимости от φ вводится новый угол β по соотношению $\beta = \pi/2 - \varphi$. Угол β отсчитывается от оси, перпендикулярной оси балки по часовой стрелке. Доля угла α рассчитывается по выражению

$$\alpha = \frac{\beta}{\pi/2}.$$

Так, при полной ориентации фибры $\varphi = 0$,

$$\beta = \frac{\pi}{2} - 0 = \frac{\pi}{2},$$

а доля угла

$$\alpha = \frac{\beta}{\pi/2} = 1.$$

При полной разориентации $\varphi = \pi/2$, $\beta = 0$, а доля угла

$$\alpha = \frac{0}{\pi/2}.$$

Для угла $\varphi = \pi/4$ (математическое ожидание) угол $\beta = \pi/4$, а доля составит

$$\alpha = \frac{(\pi/2 - M[\varphi])}{\pi/2} = 0,5.$$

Коэффициент прочности при полной ориентации оси фибры (оси фибры параллельны оси балки) $K_n = \alpha^n = 1^{1,7} = 1$. При произвольной (случайной) ориентации фибры коэффициент прочности будет определяться математическим ожиданием угла поворота φ фибры $M[\varphi] = \pi/4$, и это будет соответствовать коэффициенту прочности

$$K_n = 0,5^{1,7} = 0,3.$$

Поэтому с переходом от произвольной (случайной) ориентации фибры к полной ориентации прочность бетонного ядра увеличивается в 3,3 раза, так как $1/0,3 = 3,3$.

Механическая ориентация фибры. Для ориентации фибры параллельно оси балки независимо от материала фибры труба, заполняемая свежим раствором бетона, приводится во вращение с угловой скоростью ω . При этом вследствие вязкости бетонной смеси в поперечном сечении возникают касательные напряжения между слоями жидкого бетона, которые расположены на разном расстоянии от оси вращения балки. Причем максимальные касательные напряжения будут в пристеночной зоне внутренней поверхности трубы балки, минимальные – на оси трубы. Из-за разности значений касательных напряжений на концах произвольно ориентированной фибры последняя будет разворачиваться до положения, когда касательные напряжения на ее концах окажутся равными. При этом ориентация осей фибр будет стремиться к параллельному положению относительно оси балки. Вращение или покачивание либо вращение с одновременным покачиванием трубобетонной балки осуществляют на роликовых опорах в одном направлении или с попеременным изменением направления вращения [6–9].

Магнитная ориентация фибры. Полной ориентации осей фибр можно достичь путем воздействия магнитного поля на фибру. Для увеличения магнитной индукции в бетон следует добавлять ферромагнитный порошок с магнитной проницаемостью μ . Способ магнитной ориентации пригоден только для фибры из магнитных материалов, например стали. При этом способе внутри бетонного ядра создается магнитный (однородный или неоднородный) поток с индукцией B [16].

На рис. 1 представлена трубобетонная балка с расположенными на ее внешней поверхности электрическими катушками.

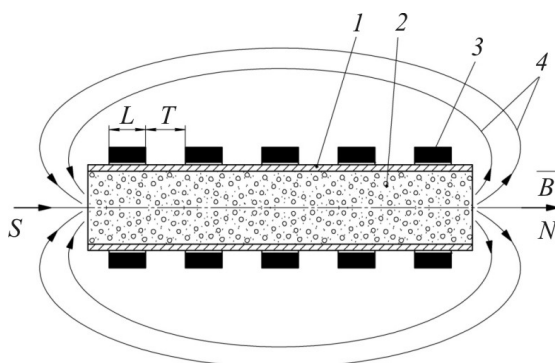


Рис. 1. Трубобетонная балка: 1 – труба; 2 – фибробетонное ядро; 3 – электрические катушки; 4 – силовые магнитные линии

Магнитный поток создается электрической катушкой, которую располагают на наружной поверхности трубы трубобетонной балки. Катушка может состоять также из отдельных секций с определенной длиной L и расстоянием между ними T , которые обеспечивают необходимую (оптимальную) форму магнитного потока. Как вариант для эффективного ориентирования фибры следует обеспечить вращение электрической катушки относительно трубы, при этом внутри бетонного ядра возникает винтовое магнитное поле. Вращающееся магнитное поле несложно организовать при неподвижных катушках, как это делается в асинхронных электродвигателях. В отличие от линейного магнитного поля при неподвижных катушках винтовое магнитное поле может ориентировать стальную фибру при меньших значениях индукции B .

Ориентация фибры с помощью бегущего магнитного поля. За счет специальной конструкции секций электрической катушки и специальной (например, поочередной или комбинированной) их коммутации можно добиться бегущего магнитного поля (в том числе винтового). При специальной коммутации каждая из секций катушки может быть разбита на подсекции с последующей их возможной коммутацией с другими секциями и подсекциями. Например, имеется три секции, у каждой секции по две подсекции. Возможная коммутация может быть представлена следующим режимом: работает 1-я секция, перед ее отключением начинает работать 2-я секция; спустя небольшой промежуток времени включается 1-я подсекция 1-й секции; перед выключением 2-й секции включается 2-я подсекция 1-й секции и затем включается 3-я секция и т.д.

Как вариант для обеспечения постоянной составляющей магнитной индукции можно использовать постоянные магниты, в частности, на основе редкоземельных элементов.

Математическая модель магнитной ориентации фибры в трубобетонной балке. Полной ориентации осей фибр можно достичь путем воздействия магнитного поля катушек индуктивности на фибру.

При неподвижных катушках внутри бетонного ядра создается магнитный поток, который направлен вдоль оси балки.

На стальную фибру в магнитном поле с индукцией B действует момент M в направлении уменьшения угла φ между осью фибры и осью трубы балки.

$$M = 0,25J_s \pi B d^2 l \sin \varphi,$$

где J_s – намагниченность насыщения фибры; d – диаметр фибры (характерный размер фибры в поперечном сечении); l – длина фибры.

На рис. 2 показан момент, действующий на фибру.

Управлением магнитной индукцией B по определенной программе можно достичь полной ориентации фибры, когда $\varphi = 0$. В программе должен быть заложен алгоритм, по которому магнитная индукция может принимать постоянное значение $B = \text{const}$ определенного направле-

ния, а также переменное $B(t)$, в частности, пульсирующее, знакопеременное гармоническое и негармоническое, а также изменение $B(t)$ по случайному стационарному и нестационарному закону. Следует иметь в виду, что при наличии бетонной смеси гравия какая-то часть фибры может быть не полностью ориентирована. Механизм такого явления представлен на рис. 3.

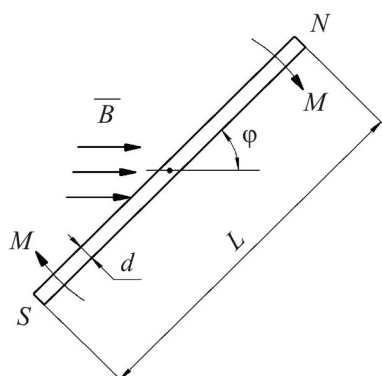


Рис. 2. Момент, действующий на фибру под влиянием индукции B

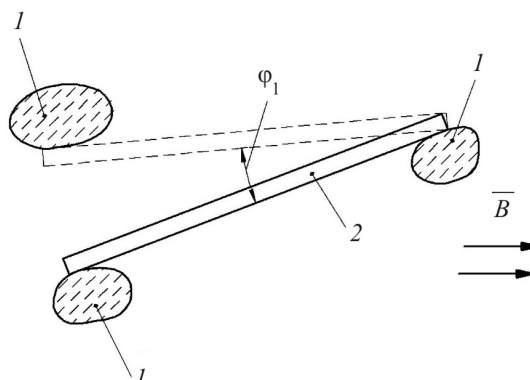


Рис. 3. Механизм ограничения поворота фибры: 1 – гравий; 2 – фибра

Свежая фибробетонная смесь представляет собой бингамовскую жидкость, которая описывается уравнением Шведова – Бингама:

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \frac{dv}{dx},$$

где τ_0 – начальный предел текучести, ниже которой жидкость не течет и имеет свойства твердого тела; μ_p – динамическая (пластическая) вязкость в ньютоновской жидкости, $dv/dx = \text{grad } v$ – градиент скорости.

Колебания фибры в определенном магнитном поле с индукцией $B(t)$ описываются нелинейным дифференциальным уравнением

$$J\ddot{\phi} + (\tau_0 + \mu_p \text{grad } v) \frac{ld^2}{6} = 0,25J_s \pi B(t) ld^2 \sin \phi,$$

где J – момент инерции фибры относительно точки, расположенной посередине ее длины.

При определенном знакопеременном значении индукции $B(t)$ фибра приходит в колебательный режим согласно приведенному уравнению. При этом с течением времени фибра разворачивается магнитным полем так, что она начинает колебаться в плоскости прямой, которая входит в семейство параллельных прямых по отношению к оси балки. Для того чтобы колебательный процесс фибры принял указанный характер, необходимо обеспечить специальный (несимметричный) колебательный режим фибры за счет, например, такого магнитного поля, которое может представлять собой комбинацию из постоянной составляющей напряженности магнитного поля и переменной, например гармонической, при которой значение амплитуды переменной составляющей H_a больше значения постоянной H_0 :

$$H(t) = H_0 + H_a \sin \omega t.$$

На рис. 4 представлена неполная петля $ABDA$ магнитного гистерезиса стальной фибры.

При таком режиме изменения напряженности магнитного поля $H(t)$ с определенного момента времени процесс колебаний фибры начинает происходить в плоскости прямой из семейства параллельных прямых к оси балки. Если в такой момент выключить магнитное поле, то вследствие разных фаз колебаний у фибр с прекращением колебательного режима значительная часть фибр не будет строго ориентирована по оси балки (вероятность полной ориентации не превысит 1–2 %).

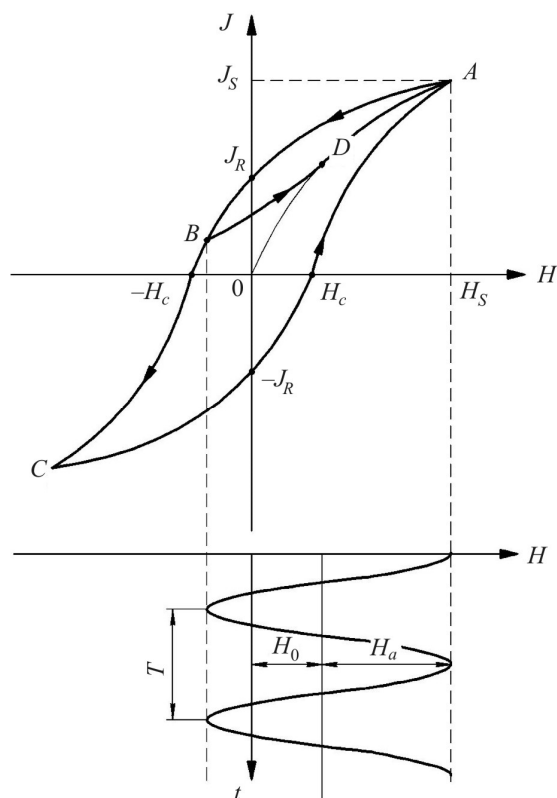


Рис. 4. Магнитный гистерезис стальной фибры:
 J_s – намагниченность насыщения; J_R – остаточная намагниченность; H_C – коэрцитивная сила

Так, например, если амплитуда колебаний фибры в момент выключения магнитного поля будет 5° , то все углы φ ориентации фибры будут расположены в диапазоне от -5° до $+5^\circ$ по отношению к оси балки. Такая неполная ориентация фибр снижает комплексный эффект от магнитного воздействия на фибробетонное ядро (т.е. несущую способность, трещиностойкость бетонного ядра, предел усталости балки). Поэтому окончательная фиксация угла, т.е. $\varphi = 0$ (полная ориентация фибры), осуществляется сильной постоянной магнитной индукцией B . В частности, на заключительном этапе воздействия магнитного поля на ориентацию фибры следует постепенно уменьшать переменную составляющую напряженности магнитного поля (например, до 0) с одновременным увеличением напряженности постоянной составляющей. При этом для полной ориентации фибр в быстротвердеющих фибробетонных смесях следует доводить индукцию магнитного поля (постоянную составляющую) до технического насыщения ферромагнетика (фибры) и даже до парапроцесса, при котором достигается параллельная ориентация магнитных моментов ферромагнетика (стальной фибры).

Для полной ориентации фибры можно совместить вращение трубобетонной балки вокруг продольной оси и воздействия магнитного поля на фибру. В таком случае механическое перемещение бетонной смеси относительно фибры разрушает структуру смеси вблизи ее поверхности, что значительно уменьшает начальный предел текучести τ_0 бингамовской жидкости, приближая ее свойства к ньютоновской жидкости. В конечном итоге это приводит к значительному снижению индукции магнитного поля, которая полностью ориентирует фибру.

Таким образом, ориентация фибры в бетонном ядре параллельно оси трубобетонной балки осуществима, что повышает прочность, трещиностойкость и предел выносливости бетонного ядра и, соответственно, увеличивает несущую способность и долговечность трубобетонной балки. Это позволяет использовать балку в пролетных строениях и опорах малых и средних мостов, а также в качестве строительных элементов общего строительства.

Список литературы

1. Применение трубобетона в транспортном строительстве / Д.Н. Парышев, А.В. Ильтяков, И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, О.Ю. Моисеев, В.И. Копырин, В.В. Харин, И.П. Попов, В.А. Воронкин // *Дорожная держава*. – 2019. – № 90. – С. 74–80.
2. Трубобетонная балка: патент 2675273 / Парышев Д.Н., Копырин В.И., Моисеев О.Ю., Овчинников И.Г., Харин В.В., Овчинников И.И., Харин А.В., Попов И.П., Воронкин В.А.
3. Проблемы малого мостостроения России и пути их решения / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, О.Н. Распоров, К.О. Распоров, А.В. Ильтяков, Д.Н. Парышев, О.Ю. Моисеев, В.И. Копырин, В.В. Харин, И.П. Попов // *Дорожная держава*. – 2019. – № 88. – С. 54–64.
4. Ящук М.О. Программа лабораторных исследований железобетонных балок, усиленных преднапряженными полимерными композиционными материалами // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. – 2017. – № 3 – С. 23–41. DOI: 10.15593/24111678/2017.03.10
5. Nwaubani S.O. Waste Steel Slag and their Influence on the Properties of Cement Blends // *J. of MRS Advances*. – 2018. – No. 3 (34–35). – P. 2027–2040.
6. Zakonova E.V., Kleveko V.I. Application of polymer composite materials in the construction of footbridges // *S World Journal*. – 2016. – Vol. J 1104, № 11 (4). – P. 11–14.
7. Неволин Д.Г., Смердов Д.Н., Смердов М.Н. Усиление железобетонных конструкций зданий и сооружений различного назначения полимерными композиционными материалами. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2017. – 152 с.
8. Бокарев С.А., Ящук М.О. Усиление железобетонных пролетных строений мостов преднапряженными полимерными композиционными материалами // *Вестник Ростов. гос. ун-та путей сообщения*. – 2016. – № 1. – С. 98–107.
9. Бокарев С.А., Слепец В.А. Трещинообразование в железобетонных элементах мостов, усиленных полимерными композиционными материалами // *Вестник Сиб. гос. ун-та путей сообщения*. – 2015. – Вып. 3 (33). – С. 18–26.
10. Гулицкая Л.В., Шиманская О.С. Анализ технико-эксплуатационного состояния железобетонных плитных пролетных строений автодорожных мостовых сооружений // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. – 2017. – № 1 – С. 35–45. DOI: 10.15593/24111678/2017.01.03
11. Comparative study of an experimental Portland cement and ProRoot MTA by electrochemical impedance spectroscopy / K.P. Seong, S.Y. Jeon, B. Singh, J.H. Hwang, S.J. Song // *Ceramics International*. – 2014. – No. 40. – P. 1741–1746.
12. Ходяков В.А., Пастушков В.Г. Проектирование ферм с использованием линий главных напряжений // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. – 2015. – № 1. – С. 131–147.
13. Ватуля Г.Л., Шевченко А.А. Работа разного очертания сталебетонных перекрытий при силовом воздействии // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. – 2014. – № 1 – С. 19–27.
14. Андрианов Ю.А. Актуальность проблемы эксплуатационной надежности мостов // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета*. – 2014. – № 2 (37). – С. 77–81.
15. Гулицкая Л.В., Гусев Д.Е., Шиманская О.С. Актуальные вопросы повышения грузоподъемности типовых сборных плитных мостов на автомобильных дорогах // *Автомобильные дороги и мосты*. – 2015. – № 1 (15). – С. 9–13.
16. Попов И.П. Комбинированные векторы и магнитный заряд // *Прикладная физика и математика*. – 2018. – № 6. – С. 12–20. DOI: 10.25791/pfim.06.2018.329

References

1. Paryshev D.N., Il'tyakov A.V., Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Moiseyev O.YU., Kopyrin V.I., Kharin V.V., Popov I.P., Voronkin V.A. Primeneniye trubobetona v transportnom stroitel'stve [The use of pipe concrete in transport construction]. *Dorozhnaya derzhava*, 2019, no. 90, pp. 74–80.

2. Paryshev D.N., Kopyrin V.I., Moiseyev O.YU., Ovchinnikov I.G., Kharin V.V., Ovchinnikov I.I., Kharin A.V., Popov I.P., Voronkin V.A. Trubobetonnaya balka [Pipe concrete beam]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2675273 (2018).
3. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Rasporov O.N., Rasporov K.O., Il'tyakov A.V., Paryshev D.N., Moiseyev O.YU., Kopyrin V.I., Kharin V.V., Popov I.P. Problemy malogo mostostroyeniya Rossii i puti ikh resheniya [Problems of small bridge building in Russia and ways to solve them] *Dorozhnaya derzhava*, 2019, no. 88, pp. 54–64.
4. Yashchuk M.O. Programma laboratornykh issledovaniy zhelezobetonnykh balok, usilennykh prednapryazhennymi polimernymi kompozitsionnymi materialami [Laboratory program for reinforced concrete beams reinforced with prestressed polymer composite materials] *Transport. Transportnyye sooruzheniya. Ekologiya*, 2017, no. 3, pp. 23–41. DOI: 10.15593/24111678/2017.03.10
5. Nwaubani S.O. Waste Steel Slag and their Influence on the Properties of Cement Blends//J. of MRS Advances. - 2018. – no. 3 (34-35). -P. 2027-2040.
6. Zakonova E.V., Kleveko V.I. Application of polymer composite materials in the construction of footbridges//SWorldJournal. -2016. -Vol. J 1104, № 11 (4). -P. 11-14.
7. Nevolin D.G., Smerdov D.N., Smerdov M.N. Usileniye zhelezobetonnykh konstruksiy zdaniy i sooruzheniy razlichnogo naznacheniya polimernymi kompozitsionnymi materialami [Reinforcement of reinforced concrete structures of buildings and structures for various purposes with polymer composite materials]. *Yekaterinburg: Izd-vo UrGUPS*, 2017, 152 p.
8. Bokarev S.A., Yashchuk M.O. Usileniye zhelezobetonnykh proletnykh stroyeniy mostov prednapryazhennymi polimernymi kompozitsionnymi materialami [Reinforcement of reinforced concrete bridge spans with prestressed polymer composite materials]. *Vestnik Rostov. gos. un-ta putey soobshcheniya*, 2016, no. 1, pp. 98-107.
9. Bokarev S.A., Slepets V.A. Treshchinoobrazovaniye v zhelezobetonnykh elementakh mostov, usilennykh polimernymi kompozitsionnymi materialami [Crack formation in reinforced concrete elements of bridges reinforced with polymer composite materials]. *Vestnik Sib. gos. un-ta putey soobshcheniya*, 2015, Iss. 3 (33), pp. 18-26.
10. Gulitskaya L.V., Shimanskaya O.S. Analiz tekhniko-ekspluatatsionnogo sostoyaniya zhelezobetonnykh plitnykh proletnykh stroyeniy avtodorozhnykh mostovykh sooruzheniy [analysis of the technical and operational state of reinforced concrete slab spans of road bridge structures]. *Transport. Transportnyye sooruzheniya. Ekologiya*, 2017, № 1, pp. 35–45. DOI: 10.15593/24111678/2017.01.03
11. Comparative study of an experimental Portland cement and ProRoot MTA by electrochemical impedance spectroscopy / K.P. Seong, S.Y. Jeon, B. Singh, J.H. Hwang, S.J. Song//Ceramics International, 2014, no. 40, pp. 1741-1746.
12. Khodyakov V.A., Pastushkov V.G. Proyektirovaniye ferm s ispol'zovaniyem liniy glavnykh napryazheniy [Farm design using main stress lines]. *Transport. Transportnyye sooruzheniya. Ekologiya*, 2015, no. 1, pp. 131–147.
13. Vatulya G.L., Shevchenko A.A. Rabota raznogo ochertaniya stalebetonnykh perekrytiy pri silovom vozdeystvii [The work of different outlines of steel-concrete floors with force exposure]. *Transport. Transportnyye sooruzheniya. Ekologiya*, 2014, no. 1, pp. 19–27.
14. Andrianov YU.A. Aktual'nost' problemy ekspluatatsionnoy nadezhnosti mostov [The urgency of the problem of operational reliability of bridges] *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 2 (37), pp. 77-81.
15. Gulitskaya L.V., Gusev D.Ye., Shimanskaya O.S. Aktual'nyye voprosy povysheniya gruzopod'yemnosti tipovykh sbornykh plitnykh mostov na avtomobil'nykh dorogakh [Actual issues of increasing the carrying capacity of typical prefabricated slab bridges on highways] *Avtomobil'nyye dorogi i mosty*, 2015, no. 1 (15), pp. 9-13.
16. Popov I.P. Kombinirovannyye vektory i magnitnyy zaryad [Combined vectors and magnetic charge] *Prikladnaya fizika i matematika*, 2018, no. 6, pp. 12–20. DOI: 10.25791/pfim.06.2018.329

Получено 09.10.2019

Об авторах

Овчинников Игорь Георгиевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ip.porow@yandex.ru); профессор базовой кафедры АО «Мостострой-11» Тюменского индустриального университета.

Парышев Дмитрий Николаевич (Курган, Россия) – генеральный директор ЗАО «Курганстальмост» (640000, г. Курган, ул. Загородная, 3, e-mail: ip.porow@yandex.ru)

Ильтяков Александр Владимирович (Москва, Россия) – депутат Государственной думы РФ (640000, г. Курган, ул. Загородная, 3, e-mail: ip.porow@yandex.ru).

Моисеев Олег Юрьевич (Курган, Россия) – генеральный директор ООО «Мостпроект» (640000, г. Курган, ул. Загородная, 3, e-mail: ip.porow@yandex.ru).

Харин Валерий Васильевич (Курган, Россия) – заместитель генерального директора по научной работе и инновационному развитию ЗАО «Курганстальмост» (640000, г. Курган, ул. Загородная, 3, e-mail: ip.porow@yandex.ru).

Попов Игорь Павлович (Курган, Россия) – ГИП ЗАО «Курганстальмост» (640000, г. Курган, ул. Загородная, 3, e-mail: ip.porow@yandex.ru).

Харин Данил Алексеевич (Курган, Россия) – студент Уральского федерального университета (640000, г. Курган, ул. Загородная, 3, e-mail: ip.popow@yandex.ru).

About the authors

Igor G. Ovchinnikov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department “Roads and Bridges” of Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: ip.popow@yandex.ru); Professor of the Basic department of JSC Mostostroy-11 of the Tyumen Industrial University.

Dmitry N. Paryshev (Kurgan, Russian Federation) – General Director of Kurganstalmost CJSC (3, Zagorodnaya st., Kurgan, 640000, Russian Federation, e-mail: ip.popow@yandex.ru).

Alexander V. Iltyakov (Moscow, Russian Federation) – Deputy of the State Duma of the Russian Federation (3, Zagorodnaya st., Kurgan, 640000, Russian Federation, e-mail: ip.popow@yandex.ru).

Oleg Yu. Moiseev (Kurgan, Russian Federation) – General Director, LLC Mostproject (3, Zagorodnaya st., Kurgan, 640000, Russian Federation, e-mail: ip.popow@yandex.ru).

Valery V. Harin (Kurgan, Russian Federation) – Deputy, Director General for Research and Innovative Development, Kurganstalmost CJSC (3, Zagorodnaya st., Kurgan, 640000, Russian Federation, e-mail: ip.popow@yandex.ru).

Igor P. Popov (Kurgan, Russian Federation) – State Unitary Institution, CJSC Kurganstalmost (3, Zagorodnaya st., Kurgan, 640000, Russian Federation, e-mail: ip.popow@yandex.ru).

Danil A. Harin (Kurgan, Russian Federation) – Student, Ural Federal University (3, Zagorodnaya st., Kurgan, 640000, Russian Federation, e-mail: ip.popow@yandex.ru).