

DOI: 10.12737/22060

Фролов Н.В., ассистент,
Полоз М.А., аспирант,
Колесникова Е.Г., студентка

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ АРМОБЕТОННЫХ БАЛОК С ДВУХРЯДНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ В РАСТЯНУТОЙ ЗОНЕ СТЕРЖНЕЙ СТАЛЬНОЙ И СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ

frolov_pgs@mail.ru

В статье приводятся результаты контрольных испытаний на статический изгиб образцов армобетонных балок, у которых в растянутой зоне стержни стальной и стеклопластиковой арматуры расположены в два ряда с соотношением площадей сечений 50/50. Помимо этого для сравнения приведены данные об экспериментальных исследованиях эталонных образцов железобетонных балок с таким же суммарным содержанием растянутой арматуры. Установлено, что образцы балок с комбинированным армированием способны воспринимать большую нагрузку, но при этом обладают меньшей жесткостью и трещиностойкостью. Разрушение таких изгибаемых элементов происходит по наклонному сечению, чему в работе дается ряд объяснений. Для дальнейших исследований предлагается понизить содержание в сечении растянутой стеклопластиковой арматуры до 30 % от общего количества.

Ключевые слова: стеклопластиковая и стальная арматура, армобетонная балка, эталонный образец, разрушающая нагрузка, нормальная и наклонная трещина.

Введение. Способность изгибаемых железобетонных элементов сопротивляться комплексному воздействию агрессивных и силовых факторов во многом определяется сохранностью в них растянутой стальной арматуры, в которой, при определенных условиях, могут интенсивно протекать коррозионные процессы, что уменьшает содержание рабочей арматуры в сечении и ухудшает ее деформативно-прочностные свойства. Как отмечено в работе [1], коррозионные повреждения арматурной стали являются одной из главных причин снижения долговечности железобетона.

Повысить долговечность армобетонных конструкций можно с помощью неметаллической полимеркомпозитной арматуры, которую в целом перечне нормативных документов рекомендуется применять в бетонных конструкциях при эксплуатации в агрессивных средах [2]. Однако, применение такого типа арматуры в отечественной практике строительства невелико по сравнению с соответствующим опытом стран Западной Европы и Северной Америки, а также Японии. Это объясняется излишним консерватизмом в данной области, малым количеством экспериментально-теоретических исследований армобетонных конструкций с полимеркомпозитной арматурой и самое главное отсутствием свода правил по их расчету и проектированию. В этой связи исследования, направленные на поиск эффективных путей частичного либо полного замещения в железобетонных элементах

стальной арматуры на полимеркомпозитную выглядят актуальными.

На сегодняшний день для внутреннего полимеркомпозитного армирования ограждающих и несущих конструкций используется стержневая стеклопластиковая арматура. Хотя находят применение и другие виды полимеркомпозитной арматуры (базальтопластиковая, арамидопластиковая и углепластиковая).

Промышленностью выпускается широкая номенклатура стержневой стеклопластиковой арматуры. В работах [3, 4, 5] определено, что она обладает стойкостью к щелочной среде бетона и стойкостью к агрессивному воздействию сульфатов и хлоридов, имеет высокую прочность при растяжении, неэлектропроводна, диамагнетик, имеет реологические свойства, нетеплопроводна и не теряет свои прочностные свойства при сверхнизких температурах. В тоже время имеются следующие недостатки: низкий модуль упругости при растяжении, относительно малая огнестойкость, нецелесообразность применения в сжатой зоне бетона, сложность устройства соединений стержней.

Из работ [6, 7], с учетом ранних авторских исследований [8], установлено, что армобетонные балки, содержащие в растянутой зоне только стеклопластиковую арматуру обладают намного меньшей несущей способностью, жесткостью и трещиностойкостью, чем железобетонные балки. Таким образом, в изгибаемых железобетонных элементах замена стальной арматуры на стеклопластиковую аналогичной пло-

щади не эффективна. В данной работе ставится цель: на основании экспериментальных исследований оценить показатели напряженно-деформированного состояния образцов армобетонных балок, у которых в растянутой зоне стержни стальной и стеклопластиковой арматуры расположены в два ряда с соотношением площадей сечений 50/50 и сравнить их с соответствующими показателями эталонных железобетонных образцов.

Методология. Контрольные испытания образцов армобетонных балок на статический изгиб осуществлялись в соответствии с основными положениями ГОСТ 8829 на электромеханической универсальной разрывной машине марки Р-5. Деформации крайнего фибрового волокна бетона сжатой зоны изгибаемых элементов определялись при помощи индикатора часового типа ИЧ-1. Деформации балок в пролете и на опорах фиксировались при помощи индикаторов часового типа ИЧ-10.

Для более точного контроля образования и развития трещин одна из боковых поверхностей экспериментальных образцов была покрыта двумя слоями раствора строительной извести. В последующем на этой грани маркерами обозначено положение стержней стальной (красный цвет) и стеклопластиковой (зеленый цвет) арматуры.

Испытания образцов балок до разрушения проводились ступенчатым нагружением с выдержкой на каждом этапе 7–8 минут.

Основная часть. В контрольных испытаниях на статический изгиб опытными образцами выступали армобетонные балки с поперечным сечением 80×120 мм и длиной 1200 мм, в растянутой зоне армированные стержнями стальной арматуры класса по прочности на растяжение А400 (ГОСТ 5781) и стержнями стеклопластиковой арматуры с песчаным покрытием ROCKBAR (ООО «Гален»). Данные о маркировке и принятом продольном армировании сечений образцов балок указаны в таблице 1. Поперечное армирование всех балок выполнено стержнями стальной арматуры класса А400 диаметром 6 мм с шагом 80 и 100 мм (рис. 1).

Соединения стальных и стеклопластиковых стержней в плоских каркасах выполнялись при помощи вязальной оцинкованной проволоки диаметром 0,9 мм (рис. 2, а).

Все образцы балок были изготовлены из однопартийного тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В30 и до испытаний выдержаны 28 суток при нормальных условиях твердения.

Общий вид образцов балок при испытаниях показан на рис. 2, б.

Таблица 1

Маркировка образцов балок и характеристики продольного армирования

Маркировка образцов	Схема продольного армирования сечений	Армирование, см ²		Примечание
		Растянут. зона	Сжат. зона	
		A_{st} / A_{ft}	A_{sc}	
БМ1; БМ2		0,503 / 0,000	0,283	Исходное металлическое армирование
БС1; БС2		0,283 / 0,255	0,283	Комбинированное армирование

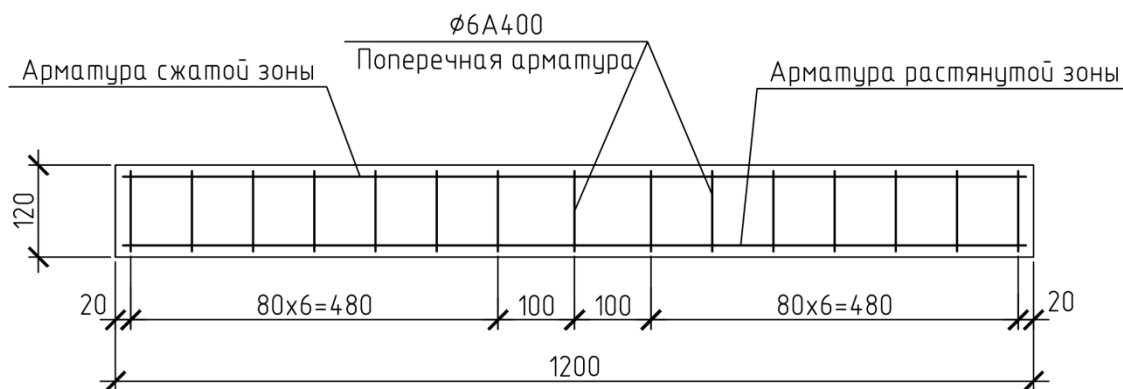


Рис. 1. Схема поперечного армирования образцов балок

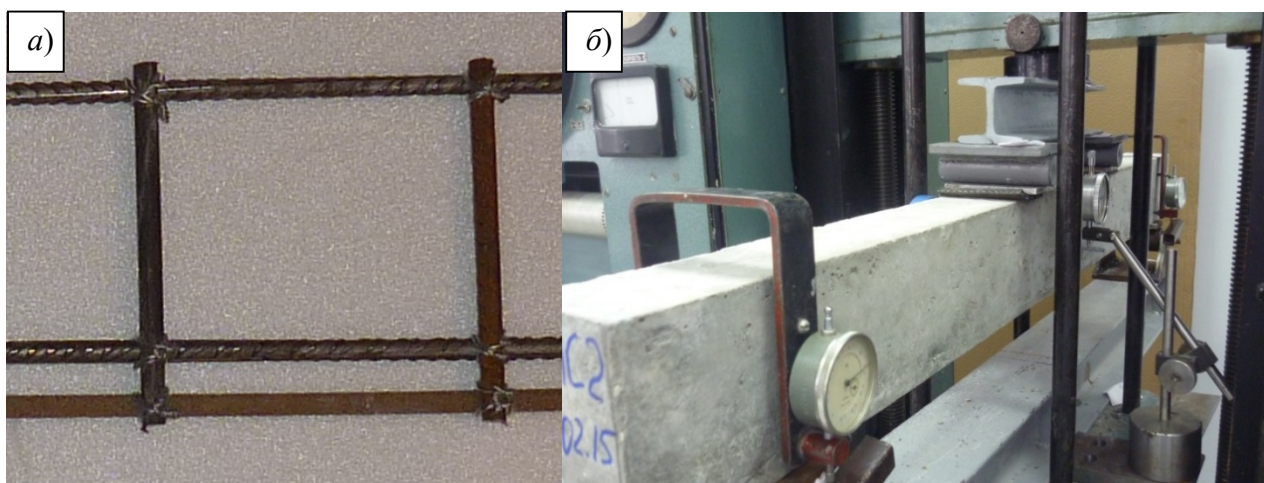


Рис. 2. Соединения стержней арматуры вязальной проволокой (а) и общий вид образцов балок при испытаниях (б)

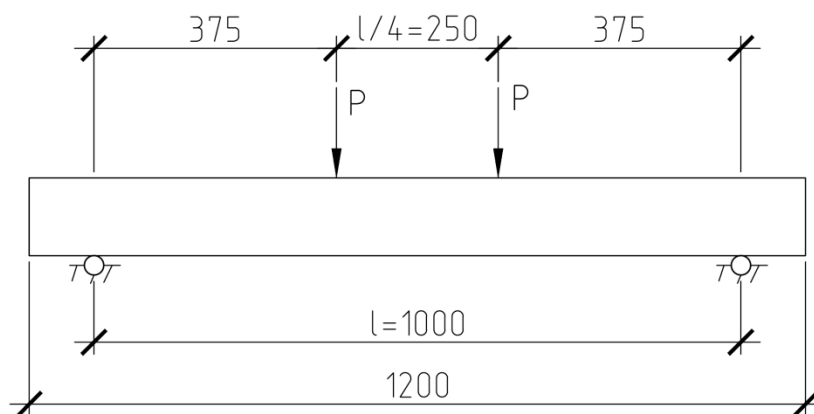


Рис. 3. Схема опирания и нагружения образцов балок

Схема опирания и нагружения образцов (рис. 3) — балка, свободно опертая по двум сторонам и нагруженная двумя сосредоточенными силами с образованием в пролете зоны чистого изгиба $l/4$ (l — расстояние между опорами).

Ввиду конструктивных особенностей устройства испытательного оборудования участок появления и развития нормальных трещин оказался в зоне ограниченной видимости, что не позволило использовать микроскоп МПБ-2 для контроля ширины раскрытия трещин. Также не удалось анализировать характер изменения от-

носительных деформаций бетона сжатой зоны в связи с неполадками датчика ИЧ-1 при испытаниях.

Результаты испытаний всех образцов балок на изгиб после аналитической обработки представлены в табл. 2.

Характер трещинообразования и разрушения образцов балок показан на рис. 4.

Испытаниями установлено, что у эталонных железобетонных балок в растянутой зоне первые нормальные трещины появляются при нагрузке равной 31 % от разрушающей. Второй этап их

появления соответствует нагрузке 40–41 % от разрушающей. В дальнейшем, до разрушения балок идет раскрытие и развитие только нормальных трещин, появившихся на первых этапах, без образования наклонных трещин. Количество трещин у образцов БМ1 и БМ2 равно 7. Они расположены на расстоянии 85–100 мм

друг от друга. Разрушение обоих образцов балок сопровождалось выкрашиванием бетона сжатой зоны (разрушение по бетону). Значения прогибов таких балок в середине пролета при нагрузке равной разрушающей находятся в диапазоне (1/69-1/72) l .

Таблица 2

Результаты испытаний образцов балок на изгиб

Параметр исследования	Маркировка образцов балок			
	БМ1	БМ2	БМС1	БМС2
Разрушающая нагрузка P_u , кН	16.58	17.17	18.54	18.17
Нагрузка при образовании первой трещины P_{crs} , кН	5.12	5.32	4.81	5.45
Нагрузка при $f = l/120$, кН	16.29	16.74	14.67	14.91
Прогиб при нагрузке P_u , мм	13.95	14.46	19.25	18.11
Прогиб при нагрузке $0.67P_u$, мм	2.60	3.08	6.21	5.85
Количество трещин, шт.	7	7	7	8
Максимальная высота развития трещин, мм	101	103	104	102
Характер разрушения	Разрушение по нормальному сечению с выкрашиванием бетона сжатой зоны		Разрушение по наклонному сечению с глубокими повреждениями бетона растянутой зоны	

В ходе испытаний образцов балок с комбинированным армированием выявлено, что у них первые трещины образуются на этапе нагружения соответствующем 26–30 % от разрушающей нагрузки. Характер трещинообразования у образцов БМС1 и БМС2 следующий: первыми в зоне чистого изгиба появляются нормальные трещины, затем при нагрузке примерно 60 % от разрушающей на расстоянии $l/4$ от опор появляются наклонные трещины. В дальнейшем, с увеличением нагрузки активное развитие нормальных трещин прекращается, а интенсивное раскрытие и развитие наклонной трещины по сечению к месту приложения сосредоточенной силы приводит к разрушению образцов. Разрушение по наклонному сечению не наблюдалось в схожих исследованиях [9, 10]. Данное явление может быть объяснено малой жесткостью соединений стержней стальной поперечной и продольной стеклопластиковой арматуры, недостаточной интенсивностью поперечного армирования и низким модулем упругости стеклопластиковой арматуры, и как следствие повышенной деформативностью образцов. У обеих балок образовалось по 7–8 трещин удаленных друг от друга на расстоянии 75–110 мм.

Среднее значение разрушающей нагрузки образцов балок с комбинированным армированием растянутой зоны на 8,8 % выше, чем у эталонных железобетонных балок. Стеклопластиковая арматура при разрушении балок работает в условиях среза, что приводит к глубоким повреждениям бетона нижней растянутой грани.

Прогибы в середине пролета балок БМС1 и БМС2 в момент их разрушения находятся в диапазоне значений (1/62-1/66) l и на всех этапах деформирования выше, чем у балок со стальной арматурой. Так, при значении нагрузки $0.67P_u$ прогибы больше в 1,9-2,4 раза. Деформативность образцов балок с включениями стержней стеклопластиковой арматуры резко увеличивается сразу после появления нормальных или наклонных трещин.

При максимально допустимом относительном прогибе изгибаемых элементов, в соответствии с СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия» равном 1/120 от расчетной величины пролета, предельная нагрузка исследуемых балок с комбинированным армированием снижается в 1,2-1,3 раза, что на 12% меньше соответствующего среднего значения эталонных образцов. Таким образом, на несущую способность этих балок

гораздо большее влияние оказывает не прочность полимеркомпозитной арматуры, а ее ко-

личество и низкий (порядка 50 ГПа) модуль упругости.

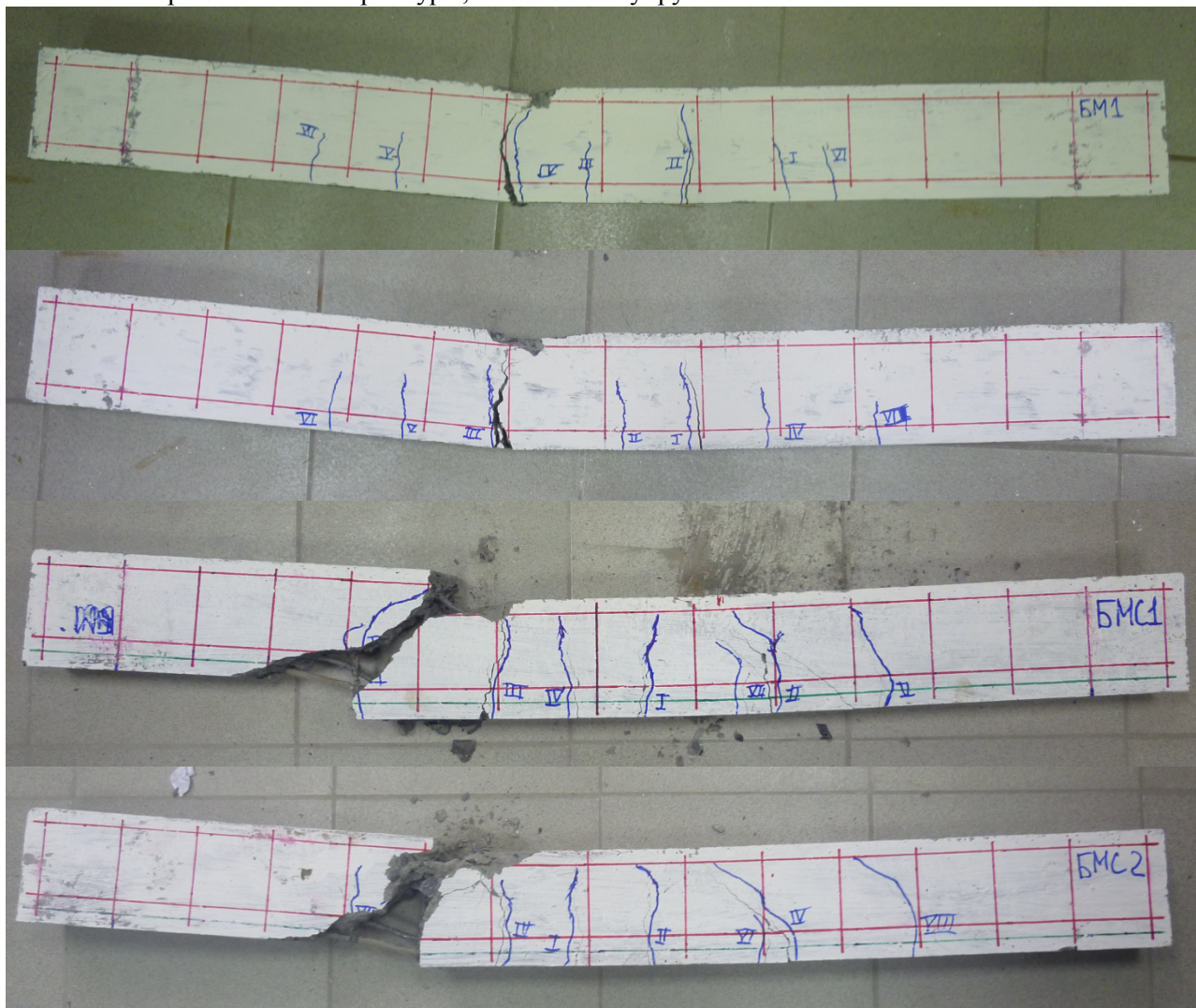


Рис. 4. Характер трещинообразования и разрушения образцов балок, соответственно сверху вниз : BM1, BM2, BMC1 и BMC2

Выводы. На основании анализа результатов испытаний следует отметить, что образцы армобетонных балок с двухрядным расположением в растянутой зоне стержней стальной и стеклопластиковой арматуры с соотношением площадей сечений 50/50, по сравнению с эталонными железобетонными образцами, способны воспринимать большую нагрузку, но при этом обладают меньшей жесткостью и трещиностойкостью. Поэтому предлагается понизить содержание в сечении растянутой стеклопластиковой арматуры до 30 % от общего количества. Особенности работы таких конструкций под нагрузкой будут определены и изучены авторами в ходе проведения дальнейших экспериментально-теоретических исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смоляго Г.А., Дронов В.И., Дронов А.В., Меркулов С.И. Изучение влияния дефектов железобетонных конструкций на развитие коррозионных процессов арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 12. С. 25–27.
2. Римшин В.И., Меркулов С.И. Элементы теории развития бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 38–42.
3. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю. Неметаллическая композитная арматура для бетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 1. С. 45–47.
4. Римшин В.И., Меркулов С.И. О Нормировании характеристик стержневой неметаллической композитной арматуры // Промышленное

и гражданское строительство. 2016. № 5. С. 22–26.

5. Кустикова Ю.О. Состояние вопроса по применению неметаллической арматуры в бетоне // Естественные и технические науки. 2015. № 11. С. 554–556.

6. Селяев В.П., Соловьев А.А., Парамонов Р.Н., Алимов М.Ф., Шабаев И.Н. Работа балок, армированных композитной стеклопластиковой арматурой // Региональная архитектура и строительство. 2013. № 3. С. 67–73.

7. Хишмах М., Маилян Д.Р., Польской П.П., Блягоз А.М. Прочность и деформативность изгибаемых элементов из тяжёлого бетона, армированных стеклопластиковой и стальной арматурой // Новые технологии. 2012. № 4. С. 147–152.

8. Фролов Н.В. Экспериментальные исследования образцов армобетонных балок, в растянутой зоне армированных стеклопластиковыми стержнями // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 46–50.

9. Маилян Д.Р., Польской П.П., Мерват Х., Кургин К.В. О прочности балок из тяжелого бетона при использовании стальной, углепластиковой и комбинированной арматуры, расположенной в два ряда // Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 27. № 4. С. 212.

10. Маилян Д.Р., Польской П.П., Мерват Х., Кургин К.В. О деформативности изгибаемых элементов из тяжелого бетона при двухрядном расположении углепластиковой и комбинированной арматуры // Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 27. № 4. С. 211.

Frolov N.V., Poloz M.A., Kolesnikova E.G.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF SAMPLES OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH A DOUBLE ROW ARRANGEMENT IN THE TENSION AREA OF THE RODS OF STEEL AND GLASS PLASTIC REINFORCEMENT

In the article are given the results of monitoring tests for static bend of the models of the reinforced concrete beams, in which in the tension area the rods of steel and glass-plastic reinforcement are located in two rows with the relationship of sectional areas 50/50. Besides of this for the comparison they are given the data about the experimental the studies of the standard models of ferroconcrete beams with the same total maintenance of the extended of reinforcement. Established that the models of beams with the combined reinforcement are capable of receiving large load, but in this case they possess smaller hardness and resistance to cracks. The destruction of such bent elements it occurs over the oblique section, to what in the work is given a number of explanations. For further studies it is proposed to lower the content in the section of the extended glass-plastic reinforcement to 30 % of the total number.

Key words: *glassplastic and steel reinforcement, reinforced concrete beam, standard model, breaking load, normal and inclined crack.*

Фролов Николай Викторович, ассистент кафедры строительства и городского хозяйства.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: frolov_pgs@mail.ru

Полоз Максим Александрович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: max.poz@inbox.ru

Колесникова Елена Геннадьевна, студентка кафедры стратегического управления.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: star.rjktc@yandex.ru