

УДК 694.14

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-30-39](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-30-39)

EDN: XJAWGC

СОЕДИНЕНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВКЛЕЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ШАЙБ С ВНУТРЕННЕЙ РЕЗЬБОЙ

И.В. ВАНИН✉

М.В. АРИСКИН, канд. техн. наук

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
ул. Германа Титова, д. 28, г. Пенза, 440028, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Древесина – доступный и возобновляемый материал, обладающий высокими прочностными характеристиками. Древесина применяется в строительстве для возведения как жилых и нежилых зданий, так и различных сооружений. Прочность и долговечность зданий и сооружений с применением деревянных конструкций во многом зависит от прочности и надежности соединения деревянных элементов. В настоящее время существует множество видов узловых соединений деревянных конструкций. Все они обладают определенными достоинствами и недостатками, что делает актуальным совершенствование и разработку новых видов соединений деревянных конструкций, обладающих высокой прочностью и технологичностью.

Цель. Исследовать характер работы усовершенствованного соединения деревянных конструкций с применением клеенных стальных шайб. Разработать технологию изготовления и методику исследования соединения с применением клеенных шайб с внутренней резьбой.

Материалы и методы. Методика исследования рассматриваемого соединения включает в себя изготовление серии образцов и проведение эксперимента для определения разрушающих нагрузок и предельных деформаций.

Результаты. Разработаны технология изготовления соединения и методика проведения экспериментальных исследований, экспериментальным путем получены значения разрушающих нагрузок и деформаций, построены графики деформаций образцов. Выявлено, что при соединении клеенной стальной шайбы со шпилькой резьбой несущая способность соединения уменьшается из-за возникновения распора в клеевом шве. Также определено, что на характер работы соединения влияют параметры стальных шайб.

Выводы. Экспериментальные исследования рассматриваемого соединения показали, что резьбовое соединение шпильки и клеенных стальных шайб не ведет к увеличению несущей способности и жесткости соединения вследствие преждевременного разрушения клееного шва и отрыва шайб от деревянного элемента. Вместе с тем устройство в соединении дополнительных связей, воспринимающих распор, может решить данную проблему. Для оценки целесообразности применения данного соединения необходимо проведение дополнительных исследований.

Ключевые слова: деревянные конструкции, соединения, шайбы, клей, резьба, методика

Для цитирования: Ванин И.В., Арискин М.В. Соединение деревянных конструкций с применением клеенных стальных шайб с внутренней резьбой. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;35(4):30–39. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-30-39](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-30-39)

Вклад авторов

Ванин И.В. – подготовка оборудования, изготовление образцов, проведение экспериментального исследования, анализ результатов, написание статьи.

Арискин М.В. – разработка идеи, описание методики эксперимента, написание выводов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 01.11.2022

Поступила после рецензирования 18.11.2022

Принята к публикации 06.12.2022

JOINING OF WOODEN STRUCTURES USING INSERT THREADED STEEL WASHERS

I.V. VANIN✉

M.V. ARISKIN, Cand. Sci. (Engineering)

Penza State University of Architecture and Construction, German Titov str., 28, Penza, 440028, Russian Federation

Abstract

Introduction. Wood, being an affordable and renewable material characterized by high strength characteristics, is used in construction for both residential and non-residential buildings, as well as various structures. The strength and durability of buildings based on wooden structures largely depend on the strength and reliability of joints between wooden elements. At present, various types of nodal joints used in wooden structures all exhibit certain advantages and disadvantages, calling for an improvement and development of new types of joints having high strength and manufacturability.

Aim. In this work, the behavior of an improved joint of wooden structures using insert steel washers was investigated, along with the development of their manufacturing technology and methodology for studying.

Materials and methods. The investigation of the joint involves manufacturing a series of samples and conducting an experiment in order to determine the load to failure and ultimate strain.

Results. The manufacturing method of a joint and the experimental procedure were developed; values of load to failure and deformation were determined experimentally, with the deformation curves being plotted. It was revealed that the threaded connection of an insert steel washer and a rod leads to a decrease in the bearing capacity of the joint due to the thrust occurring in the adhesive line. In addition, it was established that the parameters of the steel washers affect the joint behavior.

Conclusion. Experimental studies of the joint showed that the threaded connection between the rod and the insert steel washers fails to increase the bearing capacity and stiffness of the joint due to the early failure of an adhesive line and the separation of the washers from a wooden element. However, using additional joints that accept the thrust in the connection can solve this problem. It is necessary to conduct additional research in order to assess the feasibility of using such a connection.

Keywords: wooden structures, joints, washers, glue, thread, methodology

For citation: Vanin I.V., Ariskin M.V. Joining of wooden structures using insert threaded steel washers. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;35(4):30–39. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-30-39](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-30-39)

Author contribution statements

Vanin I.V. – equipment preparation, sample manufacturing, experimental data collection, data analysis, article preparation.

Ariskin M.V. – concept development, description of experimental procedure, writing conclusions.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 01.11.2022

Revised 18.11.2022

Accepted 06.12.2022

Исследования соединений деревянных конструкций с применением клеенных стальных шайб [1] показали, что указанный тип соединений обладает многими положительными качествами, такими как прочность, надежность, технологичность, ремонтпригодность. Вместе с тем данное соединение можно дополнительно усилить, применив клеенные стальные шайбы с внутренней резьбой.

Резьбовое соединение является крепежным разъемным соединением, представляющим собой сцепление двух входящих друг в друга деталей, а точнее, их спиральных поверхностей: внутренней и внешней. Применение резьбовых соединений в деревянных конструкциях объясняется простотой и прочностью этого вида креплений, возможностью регулирования затяжки, а также легкостью осуществления разборки и повторной сборки соединения без замены функционального элемента.

В целях повышения жесткости соединения с применением клеенных стальных шайб в шайбах и на шпильке нарезается соответственно внутренняя и внешняя резьбы, обеспечивающие совместную работу шпильки и стальных шайб. При таком соединении шпилька теоретически должна работать как неразрезная балка, что увеличит жесткость соединения за счет уменьшения деформативности шпильки. Для изучения данного вопроса проведено экспериментальное исследование, результаты которого представлены ниже.

Цель исследования – определить характер работы соединений деревянных конструкций с применением клеенных стальных шайб с внутренней резьбой (далее – ВШР).

Методика проведения экспериментального исследования

Методика экспериментального исследования соединений ВШР принципиально не отличается от методики исследования соединений с применением клеенных стальных шайб (далее – ВШ) [2] и включает в себя разработку следующих вопросов:

- выбор формы и размеров образцов;
- выбор клеевой композиции;
- разработка технологии изготовления образцов;
- подготовка и контроль образцов перед испытанием;
- выбор испытательной установки и назначение нормативных и контрольных нагрузок;
- определение порядка измерений и наблюдений в процессе испытаний.

Материалом для испытываемых образцов принята древесина сосны 2-го сорта, так как эта порода имеет наиболее широкое применение в строительстве при изготовлении несущих деревянных конструкций. Влажность древесины принималась близкой к $W = 12\%$. Круглые шайбы и шпильки изготавливались из стали С255. В качестве основного образца принимался образец

с размерами $a \times b \times h = 200 \times 150 \times 50$ мм. Диаметр шпильки – 20 мм. Для склеивания древесины и металла используется клеевая композиция на основе эпоксидной смолы ЭД-20.

Технология изготовления образца включает в себя несколько этапов.

1. Перед выполнением операций по вклеиванию стальной шайбы сначала выбирается образец заданной формы и размеров (рис. 1).

2. Однозаходная резьба на шпильке и в шайбах изготавливается с помощью токарно-фрезерного оборудования. Также на внешнюю поверхность одной из шайб наносятся специальные насечки для удобства закручивания шайб.

3. Специальной фрезой в образце выбираются гнезда диаметром на 1–2 мм больше диаметра шайбы с двух сторон и на необходимую толщину шайбы. Отверстие под стяжную шпильку просверливается диаметром на 2–3 мм больше диаметра шпильки. Это необходимо для того, чтобы шпилька не упиралась в деревянный элемент средней частью и передавала на него усилия только через стальные шайбы. Процесс выборки гнезда под шайбу представлен на рис. 2.

4. Гнездо частично заполняется эпоксидным клеем так, чтобы пространство между стальной шайбой и древесиной было полностью заполнено клеевой композицией.

5. С одной стороны в гнездо вставляется шайба с предварительно ввернутой шпилькой. Шпилька вворачивается для того, чтобы совпал заход резьбы на обеих шайбах. Далее с другой стороны наворачивается вторая шайба до тех пор, пока не войдет в гнездо, и затягивается. Перед вклеиванием шайбы обезжириваются ацетоном, чтобы увеличить адгезию металла и древесины и тем самым повысить прочность клеевого шва. Шпилька же обрабатывается масляным составом, чтобы облегчить ход резьбы, а также уменьшить адгезию контактных поверхностей шпильки при попадании на них излишков клея. Готовый к испытанию образец выдерживается не менее трех дней до полного отверждения клеевой композиции и установления равновесной влажности древесины.

6. Из образца выкручивается шпилька, и готовый образец вставляется в П-образную стальную раму. Затем шпилька вкручивается вновь, и с помощью гаек полученная конструкция стягивается. Перед тем как образец помещается в испытательную установку, на него устанавливаются необходимые детали для размещения датчиков для определения деформаций. Образец, готовый к испытанию, представлен на рис. 3.

Так как целью данного исследования является определение характера работы рассматриваемого соединения, для эксперимента изготовлены три образца с одинаковыми размерами деревянного элемента, но разными (случайными) параметрами стальных шайб. Все образцы



Рис. 1. Деревянный образец для проведения испытания

Fig. 1. Wooden sample for testing

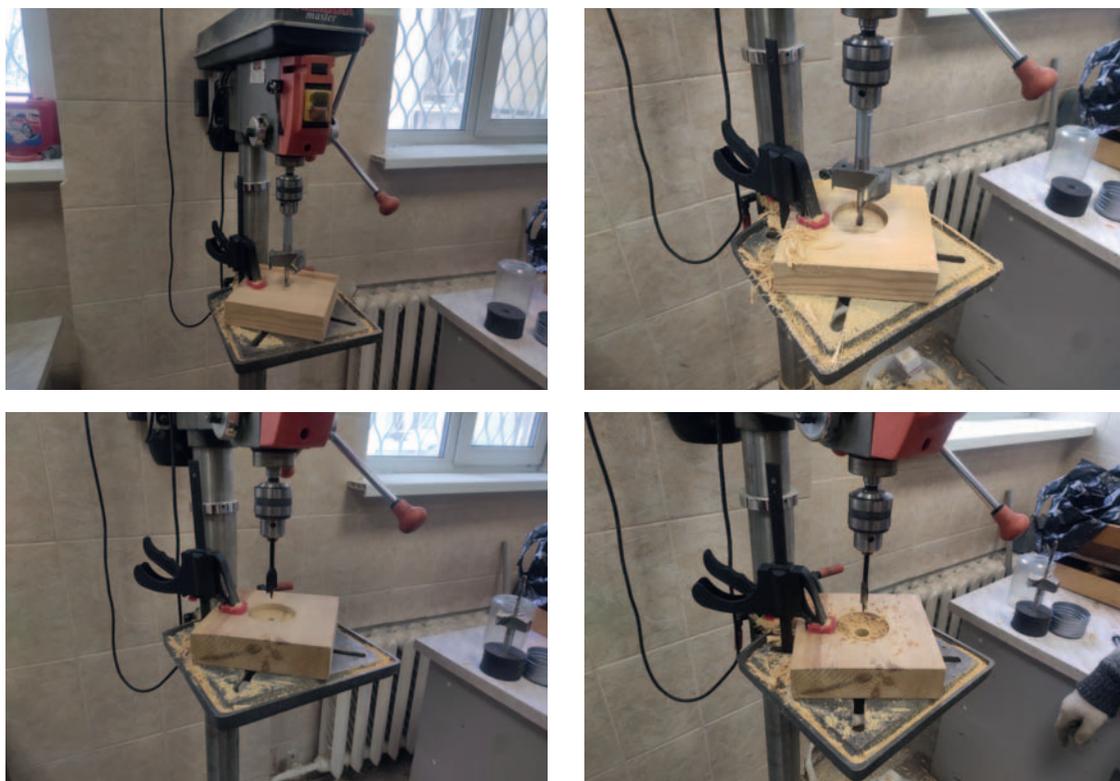


Рис. 2. Выборка гнезда под шайбу
Fig. 2. Morticing a hole for washer



Рис. 3. Образец, готовый к испытанию
Fig. 3. Sample ready for testing

соответствующим образом промаркированы, и их параметры приведены в табл. 1.

Схема маркировки образцов: ВШР-80-8-РМ, где ВШР – клеенная шайба с внутренней резьбой;

80 – диаметр шайбы, мм;

8 – толщина шайбы, мм;

РМ – испытание образца, помещенного в П-образную металлическую раму.

Исследование проводилось на базе лаборатории кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» при нормальных температурно-влажностных условиях, т. е. при температуре 18–20 °С и относительной влажности воздуха 60–65 %. Испытательная установка состоит из силовой рамы, домкрата марки

Таблица 1

Параметры испытываемых образцов

Table 1

Parameters of test samples

Марка образца	Параметры деревянного элемента, мм			Параметры шайбы, мм	
	a	b	h	$D_{ш}$	$t_{ш}$
ВШР-80-8-PM	150	50	200	80	8
ВШР-80-10-PM				80	10
ВШР-100-6-PM				100	6

ДУ20 П150 грузоподъемностью 20 тонн, устройства управления давлением с преобразующим блоком.

Нагрузка создается гидравлическим прессом и прикладывается в соответствии с заданным алгоритмом. Алгоритм задан при помощи программного обеспечения АСИС, разработанного ООО НПО «Геотек». Алгоритм проведения испытания состоит из двух этапов.

На первом этапе образец загружается до 100 кг. Данная нагрузка выдерживается в течение 5 секунд, а затем сбрасывается до 0. Цель первого этапа – обжатие элементов испытываемого образца.

Второй этап предназначен для непосредственного определения разрушающей нагрузки и деформации образца. Нагружение задается ступенчато, величина ступени – 100 кг. Каждая ступень выдерживается в течение 5 секунд, далее идет нагрузка следующей ступени. Ступени повторяются непрерывно до полного разрушения образца. Деформации образца (вертикальные перемещения) определяются при помощи датчика, подключенного к преобразующему блоку, и индикатора часового типа и фиксируются в журнале испытания.

Схема приложения нагрузки представлена на рис. 4. Общий вид испытательной установки представлен на рис. 5.

Испытания проводились до полного разрушения образцов. За разрушающую нагрузку принята та, при которой наблюдается значительный рост деформаций при небольшом увеличении вертикальной нагрузки.

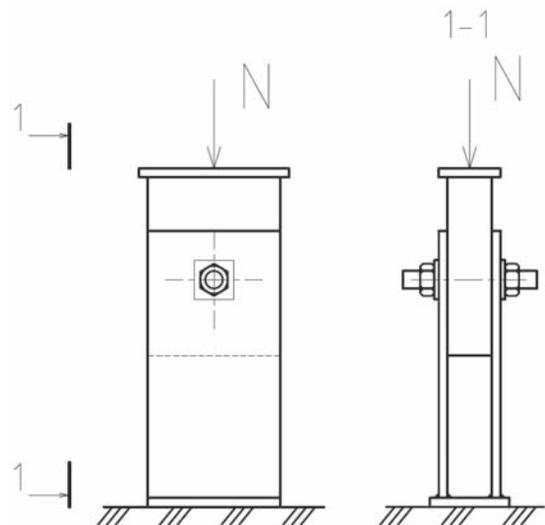


Рис. 4. Схема приложения нагрузки
Fig. 4. Load application diagram



Рис. 5. Общий вид испытательной установки
Fig. 5. General view of test bench

Таблица 2

Результаты испытаний образцов при действии кратковременной нагрузки

Table 2

Test results of samples under short-term load

Марка образца	Разрушающая нагрузка, кН	Предельные деформации образца, мм
ВШР-80-8-PM	57,395	8,128
ВШР-80-10-PM	66,429	1,605
ВШР-100-6-PM	78,027	10,176

Результаты испытаний

Результаты испытаний приведены в табл. 2. По итогам испытаний построены графики деформаций образцов (рис. 6). Общий вид разрушения образцов представлен на рис. 7.

По характеру разрушения образцов можно прийти к выводу, что клеевое соединение стальных шайб и деревянного элемента не включилось в работу соединения в полной мере, о чем говорит отсутствие сколов древесины под поверхностью шайб. Клеевое соединение преимущественно предназначено для восприятия сдвиговых усилий между соединяемыми элементами [3] и его работа на восприятие растягивающих усилий

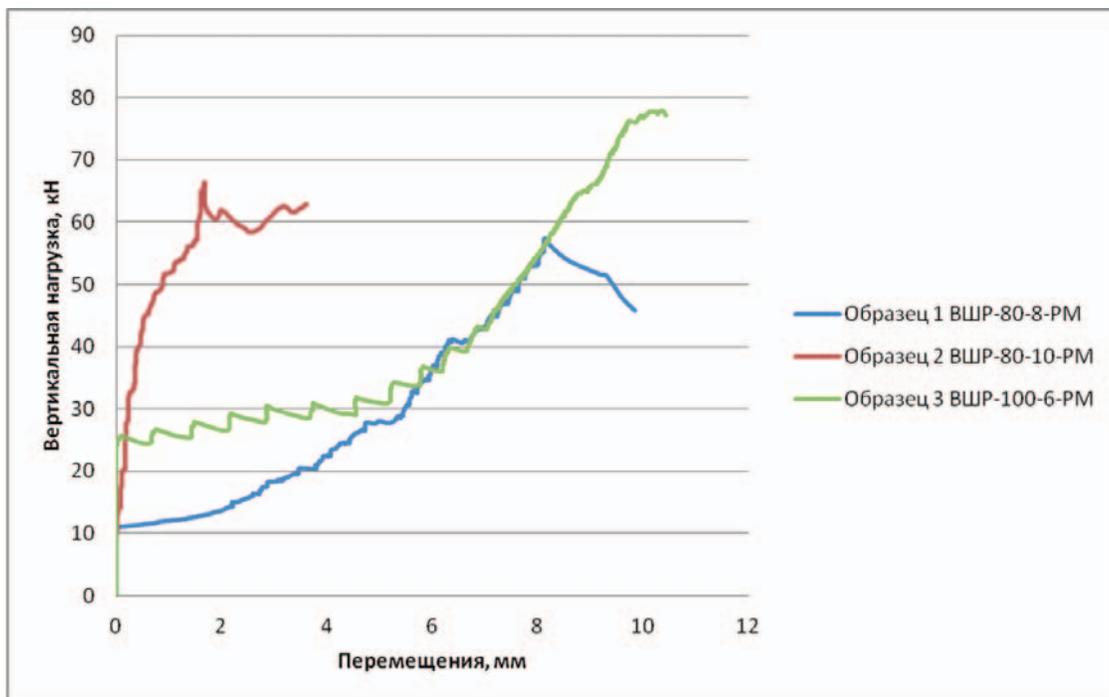


Рис. 6. Графики деформаций образцов
 Fig. 6. Sample deformation curves



Образец 1
 ВШР-80-8-PM
 Sample 1
 VShR-80-8-RM



Образец 2
 ВШР-80-10-PM
 Sample 2
 VShR-80-10-RM



Образец 3
 ВШР-100-6-PM
 Sample 3
 VShR-100-6-RM

Рис. 7. Общий вид разрушения образцов
 Fig. 7. General view of sample destruction

несколько хуже. В данном эксперименте разрушение клеевого соединения произошло в результате отрыва шайб от деревянного элемента в продольном направлении шпильки до исчерпания предела прочности клеевого шва на восприятие усилий сдвига. Отрыв шайб (распор) произошел из-за деформаций (изгиба) шпильки, соединенной с шайбами жестким резьбовым соединением.

Анализируя графики деформаций образцов, можно предположить, что на характер разрушения рассматриваемого соединения в большей степени влияет толщина шайбы, так как клеевой шов под торцом шайбы работает на восприятие сдвиговых усилий от распора, чем и объясняется хрупкое разрушение образца 2, имеющего наибольшую толщину шайб в данной серии образцов. Вместе с тем для более полного исследования этого вопроса необходимо проведение дополнительных испытаний серий образцов с различными параметрами стальных круглых шайб.

Выводы

Экспериментальные исследования соединения ВШР показали, что при возникновении деформаций в шпильке от вертикальной кратковременной нагрузки происходит отрыв шайб от деревянного элемента, что приводит к росту деформаций и уменьшению разрушающей нагрузки. В дальнейшем необходимо предусмотреть конструктивные мероприятия для восприятия усилий отрыва вдоль шпильки в клеевом соединении стальных шайб и деревянного элемента либо отказаться от применения клеевой композиции в данном соединении, отдав предпочтение технологичности изготовления соединения.

Результаты испытаний показали, что на характер работы соединения влияет изменение параметров шайбы. Данный вопрос будет изучен в ходе дальнейших исследований.

Список литературы

1. *Вдовин В.М., Мартышкин Д.О.* Цельнодеревянные фермы с узловыми соединениями на клеенных шайбах. В: Эффективные строительные конструкции: теория и практика. Сборник статей XIX Международной научно-технической конференции. Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; 2019. с. 29–33.
2. *Вдовин В.М., Арискин М.В.* Несущая способность соединений на клеенных шайбах при передаче усилий вдоль волокон древесины. Приволжский научный журнал. 2009;(4):21–27.
3. *Линьков В.И.* К вопросу о прочности клеевых соединений для деревянных клееных конструкций [Интернет]. Инженерный вестник Дона. 2020;(2). Режим доступа: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_35__1_Linkov.pdf_fd042c9709.pdf
4. *Римшин В.И., Лабудин Б.В., Мелехов В.И., Попов Е.В., Рощина С.И.* Соединения элементов деревянных конструкций на шпонках и шайбах. Вестник МГСУ. 2016;(9):35–50. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2016.9.35-50>
5. *Rimshin V.I., Labudin B.V., Melekhov V.I., Orlov A.O., Kurbatov V.L.* Improvement of strength and stiffness of components of main struts with foundation in wooden frame buildings. ARPN Journal of engineering and applied sciences. 2018;13(11):3851–3856.

References

1. *Vdovin V.M., Martyshkin D.O.* Solid wood farm with nodal connections on the glued washers. In: Effective building structures: theory and practice. Collection of articles of the scientific and technical XIX International Conference. Penza: Penza State University of Architecture and Construction; 2019. p. 29–33 (in Russian).
2. *Vdovin V.M., Ariskin M.V.* Carrying ability of connections on the pasted washers at load transfer along fibres of wood. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal = Privolzhsky scientific journal.* 2009;(4):21–27 (in Russian).
3. *Linkov V.I.* On the issue of the joints strength for wooden glued structures. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering journal of Don.* 2020;(2). Available at: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_35__1_Linkov.pdf_fd042c9709.pdf (in Russian).
4. *Rimshin V.I., Labudin B.V., Melekhov V.I., Popov E.V., Roshchina S.I.* Dowel and washer connections for elements of wooden structures. *Vestnik MGSU.* 2016;(9):35–50 (in Russian). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2016.9.35-50>
5. *Rimshin V.I., Labudin B.V., Melekhov V.I., Orlov A.O., Kurbatov V.L.* Improvement of strength and stiffness of components of main struts with foundation in wooden frame buildings. *ARNP Journal of engineering and applied sciences.* 2018;13(11):3851–3856.

Информация об авторах / Information about the authors

Илья Владимирович Ванин [✉], аспирант кафедры «Строительные конструкции», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза
e-mail: ya.vanin94@yandex.ru
тел.: 8 (927) 091-81-96

Иlya V. Vanin [✉], Postgraduate student of the Department “Building Structures” of the Penza State University of Architecture and Construction, Penza
e-mail: ya.vanin94@yandex.ru
tel.: 8 (927) 091-81-96

Максим Васильевич Арискин, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительные конструкции», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза
e-mail: m.v.ariskin@mail.ru
тел.: 8 (927) 374-25-44

Maxim V. Ariskin, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department “Building Structures” of the Penza State University of Architecture and Construction, Penza
e-mail: m.v.ariskin@mail.ru
tel.: 8 (927) 374-25-44

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author