

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ДЕФОРМАТИВНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ "КМ-ОБКЛЕЙКА"
НА ОСНОВЕ СТЕКЛОТКАНИ ПОЛОТНЯНОГО ПЕРЕПЛЕТЕНИЯ**

**STATISTICAL ANALYSIS
OF THE DEFORMABILITY OF THE KM-PASTING COMPOUND
BASED ON PLAIN WEAVE FIBERGLASS FABRIC**

Н.В. ЛИНЬКОВ

N.V. LINKOV

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)

(National Research Moscow State University of Civil Engineering)

E-mail: nicklinkov@gmail.com

Соединение "КМ-обклейка", выполняемое на основе эпоксидной матрицы и стеклоткани полотняного переплетения, формируется на внешних поверхностях элементов деревянных конструкций. В статье приводятся результаты испытаний образцов соединений "КМ-обклейка" при толщине композиционного материала 0,45; 0,8 и 1,2 мм, а также результаты статистической обработки прочностных и деформационных характеристик, анализ деформативности соединения "КМ-обклейка" в пределах упругой работы КМ-соединения. Оценку деформативности соединения "КМ-обклейка" выполняли по деформациям, приведенным к напряжениям среза композиционного материала на уровне верхней границы области упругой работы в виде отношения $DI-II/\sigma I-II$. Для каждой толщины композиционного материала определена максимальная деформативность соединения "КМ-обклейка" с доверительной вероятностью $P_d=0,95$. На основании экспериментальных данных получено аналитическое выражение в виде полинома второй степени для определения деформативности соединения "КМ-обклейка" в зависимости от толщины композиционного материала.

The connection "KM- pasting", performed on the basis of epoxy matrix and fiberglass plain weave, is formed on the outer surfaces of the elements of wooden structures. The article presents the results of testing samples of the "KM-pasting" compounds with a thickness of the composite material of 0.45, 0.8 and 1.2 mm, as well as the results of statistical processing of the strength and deformation characteristics of the compound KM-pasting "within the elastic work of the KM-connection. Evaluation of the deformability of the "KM-pasting" compound was performed by the deformations reduced to shear stresses of the composite material at the level of the upper boundary of the elastic work area in the form of the $DI-II / \sigma I-II$ ratio. For each thickness of the composite material, the maximum deformability of the "KM-pasting" joint was determined with a confidence level of $P_d = 0.95$. Based on the experimental data, an analytical expression was obtained in the form of a second-degree polynomial for determining the deformability of the "KM-pasting" compound depending on the thickness of the composite material.

Ключевые слова: композиционный материал, стеклоткань полотняного переплетения, матрица на основе эпоксидной смолы ЭД-20, соединение "КМ-обклейка", верхняя граница области упругой работы, напряжения среза, деформативность соединения, доверительная вероятность, адгезионные связи.

Keywords: composite material, fiberglass of plain weave, matrix based on epoxy resin ED-20, KM-pasting compound, upper bound of elastic work area, shear stresses, connection deformability, confidence probability, adhesive bonds.

Соединения деревянных элементов композиционными материалами с применением эпоксидных клеевых составов [1...7] активно внедряются в практику создания новых и усиления существующих деревянных конструкций. Соединение "КМ-обклейка", разработанное в НИУ МГСУ и выполняемое на основе эпоксидной матрицы и стеклоткани, формируется на внешних поверхностях элементов деревянных конструкций [8]. Композиционный материал в соединении "КМ-обклейка" включает матрицу холодного отверждения на основе эпоксидной смолы ЭД-20 и армирующую составляющую в виде стеклоткани Т-13 полотняного переплетения толщиной 0,27 мм. При одном слое стеклоткани получают обклейку толщиной 0,45 мм, при двух и трех слоях стеклоткани – 0,8 и 1,2 мм соответственно.

Цель работы – статистический анализ деформативности соединения "КМ-обклейка" при различной толщине композиционного материала в соединении.

Деформации соединения "КМ-обклейка" зависят от наличия и эффективности адгезионных связей между эпоксидной матрицей и контактной поверхностью деревянного элемента, а также от физико-механических характеристик и толщины композиционного материала (КМ) в шве сплачивания [1], [9], [10]. Для статистической оценки деформативности соединения "КМ-обклейка" проводили испытания образцов соединений при толщине композиционного материала $t_{\text{км}} = 0,45; 0,8$ и $1,2$ мм. При этом использовали полученные автором данные [1], [11], [12], а также результаты испытаний дополнительной серии образцов так, что на каждую толщину композиционного материала в соединениях "КМ-обклейка"

$t_{\text{км}} = 0,45; 0,8$ и $1,2$ мм было испытано по 12 образцов. Образцы симметричные, двухсрезовые, из досок сечением 40×90 мм после строжки. Рабочая площадь участка обклейки композиционным материалом с одной стороны каждого образца составила 120×150 мм, длина каждого шва 150 мм, суммарная длина рабочих швов в образце 600 мм.

Разрушение образцов носило хрупкий характер и сопровождалось срезом композиционного материала по швам сплачивания, а также отрывом КМ-обклейки вследствие нарушения адгезионных связей между композиционным материалом и поверхностью деревянного элемента. Определение несущей способности соединений "КМ-обклейка" проводили по методике ЦНИИСК в соответствии с ГОСТ 33082–2014 "Конструкции деревянные. Методы определения несущей способности узловых соединений". Поскольку в работе выполняли оценку деформаций КМ-соединения, то для определения расчетной несущей способности образцов принимали нагрузку N_{I-II} , соответствующую верхней границе области упругой работы соединения "КМ-обклейка", которая определяется по критерию деформативности. Согласно принятой методике для оценки несущей способности соединения по нагрузке N_{I-II} коэффициент надежности требуемый составляет $K_{I-II} = 1,3$, и расчетная несущая способность N_n образцов соединения составит $N_n = N_{I-II} / K_{I-II} = N_{I-II} / 1,3$. Результаты испытаний образцов соединений "КМ-обклейка", включая деформации соединения при достижении образцом верхней границы области упругой работы D_{I-II} и на уровне расчетной несущей способности соединения D_{Nn} , представлены в табл. 1, а графики деформаций соединений – на рис. 1.

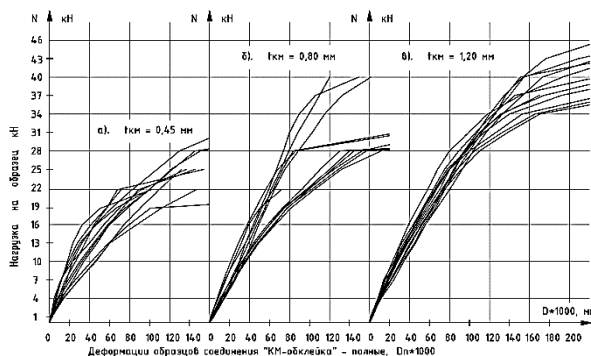


Рис. 1

Сопrotивление сдвигу определяли из условия работы КМ-соединения на срез

$\sigma_{\text{срез}} = \frac{N_{\text{срез}}}{n_{\text{ср}}(L_{\text{шва}}t_{\text{КМ}})}$, где $n_{\text{ср}} = 4$ – количество срезов композиционного материала в образце; $L_{\text{шва}} = 150$ мм – длина шва в одном срезе образца, $(L_{\text{шва}}t_{\text{КМ}})$ – площадь поперечного сечения композиционного материала на 1 срез КМ в образце; $N_{\text{срез}} = N_{\text{I-II}}$ для $\sigma_{\text{I-II}}$ и $N_{\text{срез}} = N_{\text{II}}$ для σ_{II} . Деформативность соединения "КМ-обклейка" оценивали на уровне верхней границы области упругой работы по абсолютным значениям деформаций $D_{\text{I-II}}$ и по деформациям, приведенным к напряжениям среза композиционного материала в виде отношения $D_{\text{I-II}}/\sigma_{\text{I-II}}$.

Таблица 1

Обозначение	$N_{\text{I-II}}$, кН	N_{II} , кН	$D_{\text{I-II}}$, мм·10 ⁻³	D_{II} , мм·10 ⁻³	$\sigma_{\text{I-II}}$, МПа	σ_{II} , МПа	$(D_{\text{I-II}}/\sigma_{\text{I-II}})$ (мм/МПа)·10 ⁻³
1. КМ-обклейка, $t_{\text{КМ}}=0,45$ мм, 12 образцов							
min	16,00	12,31	36,10	27,77	59,26	45,58	0,61
max	19,00	14,62	90,00	69,23	70,37	54,13	1,45
Среднее	16,88	12,98	65,12	50,09	62,50	48,08	1,03
2. КМ-обклейка, $t_{\text{КМ}}=0,8$ мм, 12 образцов							
min	16,00	12,31	42,50	32,69	33,33	25,64	1,20
max	22,00	16,92	80,86	62,20	45,83	35,26	2,04
Среднее	19,50	15,00	65,07	50,05	40,63	31,25	1,61
3. КМ-обклейка, $t_{\text{КМ}}=1,2$ мм, 12 образцов							
min	22,00	16,92	64,43	49,56	30,56	23,50	1,94
max	25,00	19,23	91,88	70,67	34,72	26,71	2,65
Среднее	24,75	19,04	79,49	61,15	34,38	26,44	2,31

Из табл. 1 видно, что при увеличении толщины композиционного материала в соединении сопротивление срезу $\sigma_{\text{I-II}}$ и σ_{II} уменьшается: при увеличении толщины КМ-обклейки практически в 2 раза $\sigma_{\text{I-II}}$ и σ_{II} уменьшаются в 1,54 раза, при увеличении толщины обклейки в 3 раза $\sigma_{\text{I-II}}$ и σ_{II} уменьшаются в 1,82 раза. Это показывает, что увеличение толщины композиционного материала усложняет работу и характер разрушения КМ-соединения вследствие того, что несущая способность КМ-обклейки "на срез" возрастает и начинает проявляться фактор разрушения адгезионных связей между композиционным материалом и деревянными элементами КМ-соединения.

В табл. 2 представлены результаты статистической обработки прочностных и де-

формационных характеристик соединения "КМ-обклейка".

Из табл. 2 следует, что в пределах упругой работы деформативность соединения "КМ-обклейка" ($D_{\text{I-II}}/\sigma_{\text{I-II}}$) возрастает с увеличением толщины композиционного материала. Одновременно для деформационных характеристик соединения с увеличением толщины композиционного материала увеличивается достоверность полученных результатов: вариационные коэффициенты и соответственно изменчивость деформационных показателей соединения уменьшаются в 1,2...1,5 раза при увеличении толщины КМ-обклейки от 0,45 до 0,8 мм и в 2,75...2,9 раза при увеличении толщины КМ-обклейки от 0,45 до 1,2 мм.

№ п/п	Показатели статистической обработки	Обозначение	Исследуемые свойства			
			N _{I-II} , кН	D _{I-II} , мм·10 ⁻³	σ _{I-II} , МПа	D _{I-II} /σ _{I-II}
1. КМ-обклейка, t _{км} =0,45 мм, n=12 образцов						
1	Среднее арифметическое	M	16,88	65,1	62,50	1,03
2	Среднее квадр. отклонение	S	1,189	19,4	4,405	0,278
3	Вариационный коэффициент	v, %	0,070	0,30	0,070	0,269
4	Средняя ошибка ср. арифметич.	m	0,343	5,60	1,272	0,080
5	Показатель точности	ρ, %	2,03	8,59	2,03	7,77
2. КМ-обклейка, t _{км} =0,8 мм, n=12 образцов						
6	Среднее арифметическое	M	19,50	65,07	40,63	1,61
7	Среднее квадр. отклонение	S	2,056	13,290	4,28	0,354
8	Вариационный коэффициент	v, %	0,105	0,204	0,105	0,220
9	Средняя ошибка ср. арифметич.	m	0,594	3,836	1,237	0,102
10	Показатель точности	ρ, %	3,04	5,90	3,04	6,35
3. КМ-обклейка, t _{км} =1,2 мм, n=12 образцов						
1	Среднее арифметическое	M	24,75	79,49	34,38	2,31
2	Среднее квадр. отклонение	S	0,866	8,604	1,203	0,216
3	Вариационный коэффициент	v, %	0,035	0,108	0,035	0,094
4	Средняя ошибка ср. арифметич.	m	0,250	2,484	0,347	0,062
5	Показатель точности	ρ, %	1,01	3,12	1,01	2,70

На основании полученных статистических данных по формуле

$$\frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}} \geq 3 + \frac{6}{n - 4}$$

оценили достоверность разницы между деформативностью соединения "КМ-обклейка" (D_{I-II}/σ_{I-II}) на уровне верхней границы области упругой работы для КМ-соединений с различной толщиной композиционного материала: для соединений с толщиной t_{км}=0,45 мм и 0,8 мм: $\frac{1,61-1,03}{\sqrt{1,237^2+1,272^2}} = 4,45 > 3+6/(12-4)=3,75$ – достоверность разницы показателей деформативности соединения "КМ-обклейка" подтверждается; для толщин t_{км}=0,8 мм и 1,2 мм: $\frac{2,31-1,61}{\sqrt{0,062^2+0,102^2}} = 5,83 > 3,75$ – достоверность разницы показателей деформативности соединения "КМ-обклейка" подтверждается.

Для каждой толщины композиционного материала определена нормативная максимальная деформативность соединения "КМ-обклейка" с доверительной вероятностью P_d=0,95 – как отношение максимальной вероятной деформации D_{I-II} к максимальному

и минимальному сопротивлению срезу композиционного материала σ_{I-II} по формулам:

$$Def_{I-II}^{\max} = \frac{D_{\text{средн}}(1+\eta_n v_D)}{\sigma_{\text{средн}}(1-\eta_n v_\sigma)},$$

$$Def_{I-II}^{\min} = \frac{D_{\text{средн}}(1+\eta_n v_D)}{\sigma_{\text{средн}}(1+\eta_n v_\sigma)},$$

где D_{средн} – среднее арифметическое деформаций D_{I-II}, σ_{средн} – среднее арифметическое напряжений среза КМ-обклейки σ_{I-II}; η_n=1,65 – квантиль предполагаемой статистической функции распределения с обеспеченностью 0,95; v_D и v_σ – коэффициенты вариации деформаций D_{I-II} и показателей прочности σ_{I-II}. Результаты вычислений представлены в табл. 3. Максимальная вероятная деформативность соединения "КМ-обклейка" при толщине t_{км}=0,45 мм составила 1,76·10⁻³ мм, при толщине t_{км}=0,8 мм – 2,59·10⁻³ мм, при толщине t_{км}=1,2...2,89·10⁻³ мм на 1 МПа напряжений среза композиционного материала. На основании данных табл. 3 получено следующее выражение в виде полинома второй степени для определения деформативности соединения "КМ-обклейка" в зависимости от толщины композиционного материала:

$$Def_{\text{км}} = 0,895 \cdot 10^{-3} t_{\text{км}}^2 + 0,1095 \cdot 10^{-3} t_{\text{км}} + 1,1595 \cdot 10^{-3}.$$

На основании полученной зависимости установлены теоретические значения деформативности соединения "КМ-обклейка" при толщине композиционного материала в соединении $t_{\text{КМ}} = 1,6...3,2$ мм, то есть до 8

слоев стеклоткани. Результаты вычислений представлены в табл. 3 (характеристики деформативности соединения "КМ-обклейка" при доверительной вероятности $P_d=0,95$).

Т а б л и ц а 3

$t_{\text{КМ}}$, мм	$D_{I-II \text{ max}}$, мм·10 ⁻³	σ_{max} , МПа	σ_{min} , МПа	$\frac{D_{I-II \text{ max}}}{\sigma_{\text{max}}}$	$\frac{D_{I-II \text{ max}}}{\sigma_{\text{min}}}$
0,45	97,10	69,77	55,23	$1,39 \cdot 10^{-3}$	$1,76 \cdot 10^{-3}$
0,80	86,99	47,69	33,56	$1,82 \cdot 10^{-3}$	$2,59 \cdot 10^{-3}$
1,2	93,69	36,36	32,39	$2,58 \cdot 10^{-3}$	$2,89 \cdot 10^{-3}$
Расчетные значения по формуле					
$Def_{\text{КМ}} = 0,895 \cdot 10^{-3} t_{\text{КМ}}^2 + 0,1095 \cdot 10^{-3} t_{\text{КМ}} + 1,1595 \cdot 10^{-3}$					
2,0				$3,63 \cdot 10^{-3}$	
2,8				$4,96 \cdot 10^{-3}$	
3,2				$6,58 \cdot 10^{-3}$	

ВЫВОДЫ

На основании проведенных испытаний и выполненных расчетов установлено следующее.

1. Деформации сдвига соединения "КМ-обклейка" на основе эпоксидной матрицы и стеклоткани полотняного переплетения при толщине композиционного материала от $t_{\text{КМ}}=0,45$ до 1,2 мм составили на уровне верхней границы области упругой работы соединения не более $D_{I-II} \leq 0,0092$ мм, что показывает пригодность КМ-соединений для применения в несущих и ограждающих строительных конструкциях из цельной и клееной древесины.

2. Проведенные испытания и характер изменения несущей способности образцов соединения "КМ-обклейка" показали, что увеличение толщины композиционного материала от $t_{\text{КМ}}=0,45$ до 1,2 мм усложняет работу и меняет характер разрушения соединения "КМ-обклейка", поскольку несущая способность КМ-обклейки "на срез" возрастает и проявляется фактор разрушения адгезионных связей между композиционным материалом и деревянными элементами КМ-соединения.

3. Увеличение толщины композиционного материала от $t_{\text{КМ}}=0,45$ до 1,2 мм приводит к увеличению деформативности соединения в 1,65...1,85 раза, что подтверждается статистической оценкой достоверности разницы между средними значениями показателей деформативности соединения "КМ-обклейка" с различной толщиной композиционного материала.

4. Установлены с доверительной вероятностью $P_d=0,95$ максимальные показатели деформативности соединения "КМ-обклейка" для различной толщины композиционного материала. Максимальная вероятная деформативность соединения "КМ-обклейка" при толщине $t_{\text{КМ}} = 0,45$ мм составила $1,76 \cdot 10^{-3}$ мм, при толщине $t_{\text{КМ}} = 0,8$ мм – $2,59 \cdot 10^{-3}$ мм, при толщине $t_{\text{КМ}} = 1,2$ мм – $2,89 \cdot 10^{-3}$ мм на 1 МПа напряжений среза композиционного материала.

5. Для определения деформативности соединений КМ-обклейка в зависимости от толщины композиционного материала получено аналитическое выражение в виде полинома второй степени, на основании которого определены показатели деформативности соединения "КМ-обклейка" для многослойного композиционного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Линьков Н.В.* Соединения деревянных конструкций композиционным материалом на основе эпоксидной матрицы и стеклоткани // Серия Библиотека научных разработок и проектов. – М.: МГСУ, 2012.
2. *Рощина С.И., Сергеев М.С., Грибанов А.С., Марков С.В., Кустикова Ю.О.* Исследование моделей цельнодеревянных балок, симметрично усиленных стеклотканью на модифицированном эпоксидном олигомере // Естественные и технические науки. – 2014, № 9-10 (77). С. 378...380.
3. *Волик А.Р., Дунникова О.В.* Работа деревянных элементов с усилением поперечного сечения композитными тканями // Перспективы развития строительного комплекса. – 2014. С. 329...334.
4. *Стоянов В.О., Погорельцев А.А.* Исследование балки, армированной полимерными композитами на участках с максимальными нормальными и касательными напряжениями // Строительная механика и расчет сооружений. – 2018, № 3 (278). С.70...74.

5. Лобов Д.М., Крицин А.В., Тихонов А.В. Особенности армирования деревянных элементов, усиленных углеродным волокном, при статическом изгибе // Изв. Казанского гос. архитектур.-строит. ун-та. – 2013, № 2 (24). С. 132...138.

6. Глухих В.Н., Петров В.М., Худаев Е.В. Усиление элементов конструкций наклейкой композиционных материалов в сжатой и растянутой зоне // Вестник Гос. ун-та морск. и речн. флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2017. Т. 9, № 6. С. 1273...1281.

7. Пономарев А.Н. Гибридные древесно-полимерные композиты в строительстве // Инженерно-строительный журнал. – 2016, № 8 (68). С. 45...57.

8. Линьков Н.В. Применение стеклоткани полотняного переплетения в композиционном материале для усиления деревянных конструкций // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 3. С. 75...80.

9. Линьков Н.В. К вопросу о применении композиционных материалов на тканевой основе в деревянных конструкциях составного сечения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 3. С. 103...108.

10. Линьков Н.В. Соединение "КМ-обклейка" для составных деревянных балок // Научное обозрение. – 2016, № 17. С. 10...15.

11. Линьков Н.В. Определение толщины композиционного материала в соединении деревянных элементов "КМ-Обклейка" // Вестник МГСУ. – 2012, № 8. С. 125...130.

12. Линьков Н.В. Определение параметров соединения "КМ-обклейка" для деревянных элементов составного сечения // Промышленное и гражданское строительство. – 2014, № 9. С. 47...50.

13. Пономарев А.Н. Составные древесно-полимерные композиционные материалы в промышленно-гражданском строительстве // Инженерно-строительный журнал. – 2016, № 8 (68). С. 45...57.

14. Данилов А.И., Калугин И.А. Усиление растянутых элементов полимерами на основе высокопрочного волокна // Промышленное и гражданское строительство. – 2018, № 12. С. 25...31.

15. Ибрагимов А.М., Кустов А.А., Мокин Н.А. Экспериментальное и численное исследование напряженно-деформированного состояния технической ткани с покрытием, работающей в составе строительной конструкции в форме гиперболического параболоида // Промышленное и гражданское строительство. – 2018, № 7. С. 35...42.

REFERENCES

1. Lin'kov N.V. Soedineniya derevyannykh konstruktсий kompozitsionnym materialom na osnove epoksidnoy matritsy i steklotkani // Seriya Biblioteka nauchnykh razrabotok i projektov. – M.: MGSU, 2012.

2. Roshchina S.I., Sergeev M.S., Gribanov A.S., Markov S.V., Kustikova Yu.O. Issledovanie modeley tsel'noderevyannykh balok, simmetrichno usilennykh steklotkan'yu na modifitsirovannom epoksidnom oligomere // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2014, №9-10 (77). С. 378...380.

3. Volik A.R., Dunnikova O.V. Rabota derevyannykh elementov s usileniem poperechnogo secheniya kompozitnymi tkanyami // Perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa. – 2014. С. 329...334.

4. Stoyanov V.O., Pogorel'tsev A.A. Issledovaniya balki, armirovannoy polimernymi kompozitami na uchastkakh s maksimal'nymi normal'nymi i kasatel'nymi napryazheniyami // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. – 2018, № 3 (278). С.70...74.

5. Lobov D.M., Kritsin A.V., Tikhonov A.V. Oso-bennosti armirovaniya derevyannykh elementov, usilennykh uglerodnym voloknom, pri staticheskom izgibe // Izv. Kazanskogo gos. arkhitekt.-stroit. un-ta. – 2013, № 2 (24). С. 132...138.

6. Glukhikh V.N., Petrov V.M., Khudaev E.V. Usilenie elementov konstruktсий nakleykoy kompozitsionnykh materialov v szhatoy i rastyanutoy zone // Vestnik Gos. un-ta morsk. i rechn. flota im. admirala S.O. Makarova. – 2017. Т. 9, № 6. С. 1273...1281.

7. Ponomarev A.N. Gibridnye drevesno-polimernye kompozity v stroitel'stve // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. – 2016, № 8 (68). С. 45...57.

8. Lin'kov N.V. Primenenie steklotkani polotnyanogo perepleteniya v kompozitsionnom materiale dlya usileniya derevyannykh konstruktсий // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2018, №3. С.75...80.

9. Lin'kov N.V. K voprosu o primeneniі kompozitsionnykh materialov na tkanevoy osnove v derevyannykh konstruktсийakh sostavnogo secheniya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 3. С. 103...108.

10. Lin'kov N.V. Coedinenie "КМ-obkleyka" dlya sostavnykh derevyannykh balok // Nauchnoe obozrenie. – 2016, № 17. С. 10...15.

11. Lin'kov N.V. Opredelenie tolshchiny kompozitsionnogo materiala v soedinenii derevyannykh elementov "КМ-obkleyka" // Vestnik MGSU. – 2012, №8. С. 125...130.

12. Lin'kov N.V. Opredelenie parametrov soedineniya "КМ-obkleyka" dlya derevyannykh elementov sostavnogo secheniya // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2014, № 9. С. 47...50.

13. Ponomarev A.N. Sostavnye drevesno-polimernye kompozitsionnye materialy v promyshlennno-grazhdanskom stroitel'stve // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. – 2016, № 8 (68). С. 45...57.

14. Danilov A.I., Kalugin I.A. Usilenie rastyanutykh elementov polimerami na osnove vysokoprochnogo volokna // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2018, № 12. С. 25...31.

15. Ibragimov A.M., Kustov A.A., Mokin N.A. Ekspерименталь'noe i chislennoe issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya tekhnicheskoy tkani s pokrytiem, rabotayushchey v sostave stroitel'noy konstruktсий v forme giperbolicheskogo paraboloida // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2018, №7. С.35...42.

Рекомендована кафедрой металлических и деревянных конструкций. Поступила 16.04.19.