

**К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**TO THE QUESTION OF THE METHOD FOR DETERMINING
THE STRENGTH CHARACTERISTICS
OF ADHESIVE JOINTS OF WOODEN STRUCTURES**

Н.В. ЛИНЬКОВ

N.V. LINKOV

(Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет (НИУ МГСУ))

(Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) National Research University)

E-mail: Nicklinkov@gmail.com

Соединение деревянных элементов "КМ-обклейка" выполняется с применением композиционного материала на основе стеклоткани и клеевой эпоксидной матрицы холодного отверждения. В настоящей работе представлена сравнительная оценка прочностных характеристик соединения "КМ-обклейка", полученных нормированием по методу предельных состояний с учетом изменчивости показателей, и по методике ЦНИИСК с учетом коэффициентов надежности, отражающих длительную прочность древесины. Исследование выполнено на результатах испытаний трех серий образцов соединения при разной толщине композиционного материала. Установлены значения нормативных и кратковременных расчетных сопротивлений срезу соединения "КМ-обклейка" с учетом соответствующих режиму нагружения коэффициентов длительной прочности древесины по методу предельных состояний и по методике ЦНИИСК. Выполнена сравнительная оценка полученных разными методами прочностных характеристик соединения.

The connection of the wooden elements "CM-gluing" is carried out using a composite material based on fiberglass and an adhesive epoxy matrix of cold curing. This paper presents a comparative assessment of the strength characteristics of the KM-gluing compound obtained by normalization by the method of limiting states taking into account the variability of indicators, and by the TsNIISK method taking into account reliability coefficients reflecting the long-term strength of wood. The

study was performed on the results of tests of three series of samples of the compound at different thicknesses of the composite material. The values of normative and short-term design resistances for shear joints "CM-gluing" are established taking into account the coefficients of long-term strength of wood corresponding to the loading mode by the method of ultimate states and by the TsNIISK method. A comparative assessment of the strength characteristics of the compound obtained by different methods is performed.

Ключевые слова: композиционный материал, соединение "КМ-обклейка", нормативное сопротивление, кратковременное расчетное сопротивление, коэффициент длительной прочности древесины, коэффициент надежности, метод предельных состояний, разрушающая нагрузка, верхняя граница области упругой работы соединения, расчетная несущая способность соединения.

Keywords: composite material, "CM-gluing" joint, normative resistance, short-term design resistance, long-term strength coefficient of wood, reliability coefficient, limiting state method, breaking load, upper boundary of the joint elastic work region, calculated joint bearing capacity.

В практике строительства для усиления конструкций и узлов находят применение композиционные материалы [1...6]. На кафедре металлических и деревянных конструкций НИУ МГСУ разработаны соединения деревянных элементов с применением композиционного материала на основе стеклоткани и клеевой эпоксидной матрицы холодного отверждения [7...10]. В соединении, называемом "КМ-обклейка", композиционный материал формируется на боковых поверхностях соединяемых элементов с одновременным отверждением клеевой эпоксидной матрицы и созданием адгезионных связей между композитом и древесиной. Несущая способность соединений деревянных конструкций, в том числе с применением клея, характеризуется нормативным и расчетным сопротивлениями, которые определяют нормированием при доверительной вероятности по минимуму 0,95 и 0,99. В то же время существует методика ЦНИИСК, позволяющая определять расчетную несущую способность и расчетное сопротивление соединений деревянных конструкций на основе коэффициентов надежности, которые зависят от длительной прочности древесины и от времени действия разрушающей нагрузки на образец.

Цель работы – сравнительная оценка прочностных характеристик соединения

"КМ-обклейка", полученных нормированием по методу предельных состояний с учетом изменчивости показателей, и по методике ЦНИИСК с учетом коэффициентов надежности, отражающих длительную прочность древесины.

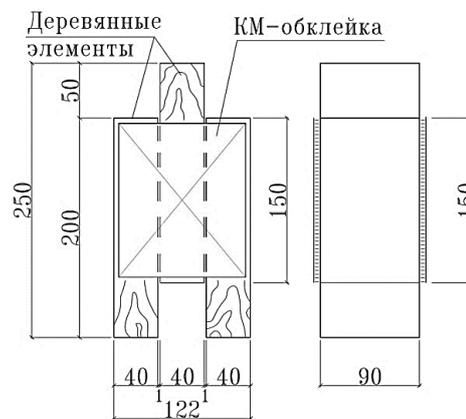


Рис. 1

Сравнительную оценку несущей способности соединения "КМ-обклейка" выполняли на основе обработки результатов испытаний трех серий образцов КМ-соединения при толщине композиционного материала $t_{\text{КМ}}=0,45$ мм (серия 1), $t_{\text{КМ}}=0,8$ мм (серия 2), $t_{\text{КМ}}=1,2$ мм (серия 3) на основе одного, двух и трех слоев стеклоткани в КМ-обклейке соответственно. В каждой серии было испытано по 12 образцов. Образцы

симметричные двухсрезные, конструкция и размеры представлены на рис. 1.

Оценку и определение несущей способности соединений "КМ-обклейка" по методике ЦНИИСК проводили в соответствии с ГОСТ 33082–2014 "Конструкции деревянные. Методы определения несущей способности узловых соединений". Для каждого образца определяли требуемый коэффициент надежности по разрушающей нагрузке N_t :

$$K_t = 1,64 \cdot (1,94 - 0,116 \lg t),$$

где $t = \frac{t'}{38,2}$ – время [с], приведенное к неизменному действию разрушающего усилия N_t на образец; t' – продолжительность испытания образца [с].

Из условия оценки несущей способности соединений по разрушающей нагрузке N_t :

$$\frac{N_t}{N_{nt}} \geq K_t = 1,64 \cdot (1,94 - 0,116 \lg t),$$

где N_{nt} – расчетная несущая способность КМ-соединения по нагрузке N_t , определяем расчетную несущую способность N_{nt} образца соединения "КМ-обклейка":

$$N_{nt} \leq \frac{N_t}{K_t} = \frac{N_t}{1,64 \cdot (1,94 - 0,116 \lg t)}.$$

Исходя из нагрузки N_{I-II} , соответствующей верхней границе области упругой работы КМ-соединения, расчетную несущую способность $N_{nt-I-II}$ КМ-соединения по нагрузке N_{I-II} определяем так же из условия:

$$N_{nt-I-II} \leq \frac{N_{I-II}}{K_{I-II}},$$

где $K_{I-II} = 1,3$ – требуемый коэффициент надежности по нагрузке N_{I-II} , соответствующей верхней границе области упругой работы соединения.

По методике ЦНИИСК расчетная несущая способность образца N_{nt} и $N_{nt-I-II}$ определяется с учетом длительной прочности древесины и содержит прочностную характеристику, соответствующую расчетному сопротивлению срезу соединения "КМ-обклейка" при коэффициенте длительной

прочности $m_{дл} = 0,66$. Кратковременное расчетное сопротивление срезу $R_{ср}$ соединения "КМ-обклейка" согласно методике ЦНИИСК, исходя из нагрузок N_t и N_{I-II} и соответствующее режиму нагружения линейно возрастающей нагрузкой, составит:

$$R_{ср,t} = \frac{\sum_1^n \sigma_{ср,t}}{nm_{дл}},$$

$$R_{ср,I-II} = \frac{\sum_1^n \sigma_{ср,I-II}}{nm_{дл}},$$

где $n=12$ – количество образцов в серии; $\sigma_{ср,t} = \frac{N_t}{F_{расч}}$ – напряжения среза в образце соединения "КМ-обклейка" на уровне разрушающей нагрузки N_t ; $\sigma_{ср,I-II} = \frac{N_{I-II}}{F_{расч}}$ – то же, на уровне нагрузки N_{I-II} ; $F_{расч} = n_{ср} (L_{шва} t_{км})$ – расчетная площадь среза композиционного материала в образце; $n_{ср} = 4$ – количество срезов композиционного материала в образце; $L_{шва} = 150$ мм – длина одного среза образца; $t_{км} = 0,45$ мм, $0,8$ мм и $1,2$ мм – толщина композиционного материала в обклейке серий 1, 2 и 3 соответственно.

При коэффициенте длительной прочности $m_{дл} = 0,66$ кратковременное расчетное сопротивление срезу соединения "КМ-обклейка" по методике ЦНИИСК на основе разрушающей нагрузки N_t составило $R_{ср,t} = 48,66$ МПа, $35,63$ МПа и $30,44$ МПа, на основе нагрузки N_{I-II} - $R_{ср,I-II} = 72,84$ МПа, $47,35$ МПа и $40,06$ МПа для КМ-обклейки толщиной $t_{км} = 0,45$ мм, $0,8$ мм и $1,2$ мм.

Для метода предельных состояний (МПС) величину нормативного и расчетного сопротивления срезу соединения "КМ-обклейка" установим статистической обработкой результатов испытаний. Нормативное сопротивление срезу соединения "КМ-обклейка", определенное с обеспеченностью $0,95$:

$$R_{ср}^H = R_{ср}^{Bp} (1 - \eta_n v).$$

Кратковременное расчетное сопротивление срезу соединения "КМ-обклейка", определенное с обеспеченностью $0,99$:

$$R_{cp}^{MPC} = R_{cp}^{BP}(1 - \eta_p v),$$

или

$$R_{cp}^{MPC} = R_{cp}^n m_{дл} / \gamma_m,$$

где R_{cp}^{BP} – временное сопротивление срезу (среднее значение распределения) соединения "КМ-обклейка"; γ_m – коэффициент надежности по материалу; $\eta_n = 1,65$ – квантиль в предполагаемой статистической функции распределения с обеспеченностью 0,95; $\eta_p = 2,33$ – то же, с обеспеченностью 0,99; $m_{дл}$ – коэффициент длительной прочности, величина которого зависит от режима длительности нагружения и согласно СП 64.13330.2017 для линейно возрастающей нагрузки $m_{дл}=1$, для условий совместного действия постоянной и временной нагрузок $m_{дл}=0,66$; v – коэффициент вариации показателей прочности по данным ис-

пытаний образцов соединения "КМ-обклейка".

Кратковременное расчетное сопротивление срезу соединения "КМ-обклейка" по методу предельных состояний (МПС) с обеспеченностью 0,99 составило $R_{cp}^{MPC} = 72,21$ МПа, 49,57 МПа, 46,08 МПа для КМ-обклейки толщиной $t_{км} = 0,45$ мм, 0,8 мм и 1,2 мм.

Результаты вычислений представлены в табл. 1 (сопротивление срезу соединения "КМ-обклейка" по методике ЦНИИСК и по методу предельных состояний (МПС)) и на рис. 2 (прочностные характеристики соединения "КМ-обклейка": а – временное и кратковременное расчетное сопротивление срезу; б – отношение расчетных сопротивлений срезу по методике ЦНИИСК и по методу предельных состояний (МПС) $R_{ЦНИИСК} / R_{МПС}$).

Т а б л и ц а 1

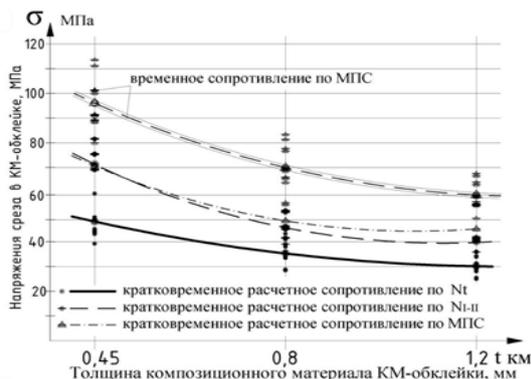
№ обр.	Nп1 = Nt / Kxp , кН			Nп2 = N1-II / KI-II , кН			$\sigma_{Nt} = N_{п1} / F_{cp}$, МПа			$\sigma_{N1-II} = N_{п2} / F_{cp}$, МПа			σ_{MPC} , МПа								
	при толщине КМ-обклейки $t_{км}$, мм																				
	0,45	0,8	1,2	0,45	0,8	1,2	0,45	0,8	1,2	0,45	0,8	1,2	0,45	0,8	1,2						
1	8,97	11,14	13,63	12,31	14,62	19,23	33,21	23,22	18,93	45,58	30,45	26,71	100,00	69,79	57,22						
2	8,20	12,23	13,37	12,31	14,62	19,23	30,37	25,48	18,58	45,58	30,45	26,71	92,59	77,08	56,25						
3	8,23	9,01	12,15	13,46	13,46	19,23	30,49	18,76	16,87	49,86	28,04	26,71	92,59	57,50	51,53						
4	8,19	10,84	16,15	14,62	12,31	19,23	30,34	22,58	22,43	54,13	25,64	26,71	88,52	64,58	63,89						
5	8,15	14,02	15,13	12,31	16,92	19,23	30,18	29,20	21,02	45,58	35,26	26,71	88,15	83,33	59,86						
6	10,84	11,24	17,19	12,31	16,92	19,23	40,14	23,42	23,88	45,58	35,26	26,71	114,81	66,67	67,36						
7	7,99	10,87	16,54	12,31	16,92	19,23	29,58	22,65	22,97	45,58	35,26	26,71	89,63	68,13	68,33						
8	9,04	11,06	13,67	12,31	16,92	19,23	33,48	23,05	18,98	45,58	35,26	26,71	101,11	69,17	56,67						
9	9,21	12,47	13,71	13,46	14,62	19,23	34,13	25,97	19,04	49,86	30,45	26,71	102,96	77,71	56,81						
10	8,11	13,14	14,25	14,62	14,62	19,23	30,04	27,37	19,80	54,13	30,45	26,71	91,11	81,88	59,03						
11	10,04	10,48	15,62	13,46	14,62	19,23	37,18	21,83	21,70	49,86	30,45	26,71	111,85	65,63	64,58						
12	7,09	8,96	12,17	12,31	13,46	16,92	26,27	18,68	16,91	45,58	28,04	23,50	80,00	56,46	50,69						
							32,12	23,52	20,09	48,08	31,25	26,44									
	Временное сопротивление по МПС, МПа												96,11	69,83	59,35						
	Коэффициент вариации V												0,107	0,125	0,096						
	Коэффициент длительной прочности $m_{дл}$												0,66			0,66			1		
	Нормативное сопротивление срезу R_{cp}^n												53,36	39,88	33,00	79,88	53,00	43,43	79,19	55,48	49,95
	Кратковрем. расчетное сопротивление срезу R_{cp}^p												48,66	35,63	30,44	72,84	47,35	40,06	72,21	49,57	46,08
	Коэффициент надежности по материалу γ_m												1,10	1,12	1,08	1,10	1,12	1,08	1,10	1,12	1,08

Принимаем за эталон метод предельных состояний и соответствующие величины нормативного и кратковременного расчетного сопротивлений. Из табл. 1 видим, что нормативные и расчетные сопротивления срезу соединения "КМ-обклейка", определенные на основе методики ЦНИИСК по

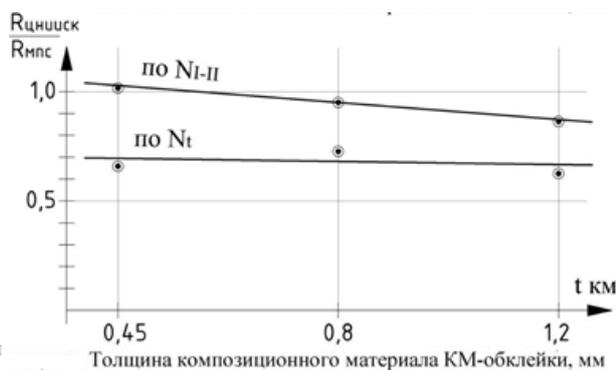
разрушающей нагрузке Nt , отличаются от эталонных значений, полученных нормированием с учетом статистической изменчивости показателей прочности по методу предельных состояний, в меньшую сторону на 28...34%. Те же прочностные характеристики, определенные по методике ЦНИИСК

по нагрузке N_{I-II} , хорошо согласуются с эталонными значениями нормирования, отлича-

ясь для КМ-обклейки в 1 и 2 слоя на 1% и 4% соответственно.



а)



б)

Рис. 2

Для КМ-обклейки в 3 слоя сопротивление срезу по методике ЦНИИСК составило на 13% меньше эталонных значений. Это объясняется тем, что с увеличением толщины композиционного материала усложняется характер работы соединения "КМ-обклейка" и к механическому разрушению композиционного материала добавляется отрыв КМ-обклейки от боковой поверхности соединяемых деревянных элементов. Это явление, при неизменной прочности композиционного материала обклейки, увеличивает деформации соединения и соответственно отражается на величине усилия N_{I-II} , которое определяется по критерию деформативности.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных испытаний и выполненных расчетов сделаны следующие выводы.

1. Кратковременные расчетные сопротивления срезу соединения "КМ-обклейка" для толщины композиционного материала 0,45...1,2 мм, определенные на основе методики ЦНИИСК по разрушающей нагрузке N_t , составили 30...48 МПа и отличаются в меньшую сторону на 28...34% от эталонных значений 46...72 МПа, полученных нормированием по методу предельных состояний.

2. Кратковременные расчетные сопротивления срезу соединения "КМ-обклейка", определенные на основе методики ЦНИИСК по нагрузке N_{I-II} , составили 40...72 МПа и отличаются от эталонных значений, полученных нормированием по методу предельных состояний, на 1...4% при толщине КМ-обклейки $t_{KM}=0,45$ мм и 0,8 мм.

3. Методика ЦНИИСК позволяет определять прочностные характеристики соединения "КМ-обклейка", значения которых не превышают величину нормативного и расчетного сопротивлений, полученных по методу предельных состояний. Расчеты соединений "КМ-обклейка" на основе показателей прочности, полученных по методике ЦНИИСК, позволяют обеспечить безопасную эксплуатацию соединений "КМ-обклейка" и деревянных конструкций, разработанных и усиленных с применением указанных соединений.

4. Для определения прочностных характеристик соединения "КМ-обклейка" по методике ЦНИИСК рекомендуется проводить оценку несущей способности по нагрузке N_{I-II} , соответствующей верхней границе области упругой работы соединений. Для определения прочностных характеристик соединения "КМ-обклейка" по методике ЦНИИСК на основе разрушающей нагрузки N_t требуется уточнение коэффициентов длительной прочности соединения "КМ-обклейка" при различной толщине композиционного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рощина С.И., Сергеев М.С., Грибанов А.С., Кардаш Е.В., Марков С.В., Кустикова Ю.О. Исследование модели цельнодеревянных балок, симметрично усиленных стеклотканью на модифицированном эпоксидном олигомере // Естественные и технические науки. – 2014, № 9-10 (77). С. 378...380.

2. Волик А.Р., Дунникова О.В. Работа деревянных элементов с усилением поперечного сечения композитными тканями // Перспективы развития строительного комплекса. – 2014. С. 329...334.

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

4. Ponomarev A.N., Rassokhin A.S. Hybrid wood-polymer composites in civil engineering // Инженерно-строительный журнал. – 2016, № 8 (68). С. 45...57.

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

6. 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.

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

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

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

10. 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.

vanie modeli tsel'noderevyannykh balok, simmetrichno usilennykh steklotkan'yu na modifitsirovannom epoksidnom oligomere // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2014, № 9-10 (77). С. 378...380.

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

3. Lobov D.M., Kritsin A.V., Tikhonov A.V. Osobennosti armirovaniya derevyannykh elementov, usilennykh uglerodnym voloknom, pri staticheskom izgibe // Izv. Kazanskogo gos. arkhitekturno-stroitel'nogo un-ta. – 2013, № 2 (24). С. 132...138.

4. Ponomarev A.N., Rassokhin A.S. Hybrid wood-polymer composites in civil engineering // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. – 2016, № 8 (68). С. 45...57.

5. Glukhikh V.N., Petrov V.M., Khudaev E.V. Usilenie elementov konstruksiy nakleykoy kompozitsionnykh materialov v szhatoy i rastyanutoy zone // Vestnik gos. un-ta morskogo i rechnogo flota im. admiral S.O. Makarova. – 2017. Т. 9, № 6. С. 1273...1281.

6. Stoyanov V.O., Pogorel'tsev A.A. Issledovanie 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.

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

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

9. Lin'kov N.V. Primenenie steklotkani polotnyanogo perepleteniya v kompozitsionnom materiale dlya usileniya derevyannykh konstruksiy // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, № 3. С. 75...80.

10. Lin'kov N.V. K voprosu o primenenii kompozitsionnykh materialov na tkanevoy osnove v derevyannykh konstruksiyakh sostavnogo secheniya // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 3. С. 103...108.

Рекомендована кафедрой металлических и деревянных конструкций. Поступила 22.06.20.

REFERENCES

1. Roshchina S.I., Sergeev M.S., Griбанov A.S., Kardash E.V., Markov S.V., Kustikova Yu.O. Issledo-