

Известия вузов. Строительство. 2022. № 6. С. 15–29.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (6): 15–29.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 624.046.2:624.011.17

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-762-6-15-29

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ВКЛЕЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИН С МАССИВОМ ДРЕВЕСИНЫ

**Виктор Иванович Жаданов, Владимир Станиславович Гарипов,
Иван Иванович Лисицкий**

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Аннотация. Узловые соединения деревянных элементов определяют прочность, жесткость и надежность деревянных конструкций в целом. Применение клеенных в массив древесины соединительных деталей в виде различного типа стальных элементов обеспечивает качественный скачок в решении вопросов повышения технико-экономической эффективности сквозных конструкций и расширения их номенклатуры. Приведен алгоритм поиска оптимальных параметров клеенных в массив древесины стальных пластин с высверленными отверстиями, гарантирующими наибольшую несущую способность. Исследования проведены при помощи метода многофакторного эксперимента, обеспечивающего уменьшение количества опытов при сохранении достоверности полученных результатов. Определены наиболее значимые параметры, влияющие на прочность соединения, которыми являются длина и ширина пластины, а также плотность заполнения ее клеенной части отверстиями. Доказано, что способ устройства отверстий в пластине дает достаточную степень адгезии по слою «клей-металл», а также повышение несущей способности и снижение деформативности соединения за счет эффективного включения клеевого слоя в работу древесины на скалывание.

Ключевые слова: деревянные элементы, соединение, клей, стальная пластина, отверстие, многофакторный эксперимент, несущая способность

Для цитирования: Жаданов В.И., Гарипов В.С., Лисицкий И.И. Оценка влияния различных факторов на несущую способность соединений клеенных стальных пластин с массивом древесины // Известия вузов. Строительство. 2022. № 6. С. 15–29. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-762-6-15-29.

Original article

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE BEARING CAPACITY OF GLUED STEEL JOINTS PLATES WITH SOLID WOOD

Viktor I. Zhadanov, Vladimir S. Garipov, Ivan I. Lisitsky
Orenburg State University, Orenburg, Russia

Abstract. Nodal joints of wooden elements determine the strength, rigidity and reliability of wooden structures as a whole. The use of connecting parts glued into an array

of wood in the form of various types of steel elements provides a qualitative leap in matters of both increasing the technical and economic efficiency of through structures and in terms of expanding their nomenclature. The article presents an algorithm for finding optimal parameters of steel plates glued into an array of wood with drilled holes that provide the highest value of load-bearing capacity. The studies were carried out using the method of multifactorial experiment, which ensures a reduction in the number of experiments while maintaining the reliability of the results obtained. The most significant parameters affecting the strength of the joint are determined, which are the length and width of the plate, as well as the density of filling its glued part with holes. It is proved that the method of making holes in the plate provides a sufficient degree of adhesion along the «glue-metal» layer, as well as an increase in the bearing capacity and a decrease in the deformability of the joint due to the effective inclusion of the adhesive layer in the work of chipping wood.

Keywords: wooden elements, joint, glue, steel plate, hole, multifactor experiment, bearing capacity

For citation: Zhadanov V.I., Garipov V.S., Lisitsky I.I. Assessment of the influence of various factors on the bearing capacity of glued steel joints plates with solid wood. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (6): 15–29. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-762-6-15-29.

Основным недостатком известных типов соединительных элементов, применяемых в узлах деревянных конструкций в виде нагелей, металлических зубчатых пластин, когтевых шайб и т.п., является их высокая деформативность и, в ряде случаев, недостаточная несущая способность [1–4]. В клееных деревянных конструкциях эти недостатки устранены за счет использования в узлах вклеенных в массив древесины арматурных стальных стержней [5–7]. Такой способ известен в отечественной и зарубежной строительной практике как «система ЦНИИСК». При всех своих достоинствах узлы по системе ЦНИИСК обладают и существенными недостатками, такими как невозможность применения в конструкциях из цельной древесины из-за особенностей расстановки стержней в соединении, проведения сварочных работ в зоне контакта стальных элементов с древесиной.

С точки зрения устранения вышеперечисленных недостатков целесообразно введение в практику новых типов вклеенных элементов в виде стальных пластин. Для ликвидации низкой степени адгезии по слою «клей-металл» российскими учеными было предложено дополнительно обрабатывать поверхность вклеиваемой части пластин насечками, накаткой или профрезерованными пазами, за счет чего достигается повышение несущей способности соединения по сравнению с гладкой поверхностью более чем в 2 раза [8, 9].

Для уменьшения трудоемкости работ по обработке поверхностей пластин и повышения несущей способности соединений авторами статьи предложен способ обработки при помощи высверленных в пластинах сквозных отверстий. Такие отверстия после заполнения выбранного в массиве древесины соответствующего паза и заполнения его клеевой композицией по своей сути выполняют функцию шпонок, обеспечивающих передачу усилия от пластины через клеевую прослойку на древесину, которая за счет этого полноценно работает на скалывание вдоль, поперек или под углом к волокну [10–12].

Однако до настоящего времени в научной и технической литературе отсутствуют четкие указания по проектированию такого вида соединения. Также нет исследований по определению оптимальных параметров клеенных пластин – их длины, ширины, толщины, размеров соединительных фасоннок, диаметра и шага высверливаемых отверстий и т.п.

Для ответа на перечисленные вопросы и минимизации количества опытов целесообразно при проведении исследований применить методику многофакторного эксперимента [13–16]. В качестве характеристики цели (параметр оптимизации), которая может задаваться количественно, взята разрушающая нагрузка $N_{\text{разр}}$. Эксперименты выполнены для случая выдергивания пластины из массива древесины поперек волокон, как наиболее характерного для работы соединительного элемента в конструкции.

На основании данных предыдущих опытов, а также справочной информации, отобраны 10 факторов, влияющих на величину параметра оптимизации: длина пластины X_1 , мм; ширина пластины X_2 , мм; толщина пластины X_3 , мм; длина распределительной фасонки X_4 , мм; диаметр отверстий во вклеиваемой части пластины X_5 , мм; количество отверстий X_6 , шт.; плотность заполнения поверхности пластины отверстиями X_7 , шт/мм²; толщина клеевой прослойки X_8 , мм; тип клея X_9 ; древесина X_{10} . Два последних фактора, несмотря на их значимость, были исключены из перечня по той причине, что в практике строительства наибольшее распространение как конструкционный материал получила сосна, а клей, рекомендуемый СП 64.13330–2017 «Деревянные конструкции», – эпоксидная смола ЭД-20. В итоге имеем 8 факторов. Для определения наиболее значимых факторов из утвержденного перечня, влияющих на параметр оптимизации, составлена матрица рангов (табл. 1).

Для проверки согласованности экспертных оценок проведена математическая обработка результатов ранжирования. Значение коэффициента согласованности (конкордации) экспертов $W_H = 0,5$.

Таблица 1. Матрица рангов

Table 1. Rank matrix

Эксперты ($m = 5$)	Факторы $R = 8$							
	$X_1 - l_{\text{ст}}$, мм	$X_2 - b_{\text{ст}}$, мм	$X_3 - t_{\text{ст}}$, мм	$X_4 - l_{\text{ф}}$, мм	$X_5 - d_{\text{отв}}$, мм	$X_6 - n_{\text{отв}}$, шт.	$X_7 - \rho_{\text{отв}}$, шт/мм ²	$X_8 - t_{\text{кл}}$, мм
1	1	2	7	5	6	3	4	8
2	2	1	8	4	6	5	3	7
3	3	1	8	6	5	4	2	7
4	3	1	7	5	4	6	2	8
5	1	2	7	5	6	4	3	8
$\sum_{j=1}^m a_{ij}$	10	7	37	25	27	22	14	38
Δ_i	-12,5	-15,5	14,5	2,5	4,5	-0,5	-8,5	15,5
$(\Delta_i)^2$	156,25	240,25	210,25	6,25	20,25	0,25	72,25	240,25

Средняя сумма рангов вычисляется по формуле

$$T = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m a_{ij}}{k}, \quad (1)$$

где m – число экспертов, a_{ij} – ранг i -го фактора от j -го эксперта.

$$T = \frac{10 + 7 + 37 + 25 + 27 + 22 + 14 + 38}{8} = 22,5.$$

Разность между суммой рангов i -го фактора и средней суммой рангов

$$\Delta i = \sum_{i=1}^m a_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m a_{ij}}{k} = \sum_{i=1}^m a_{ij} - T. \quad (2)$$

Сумма квадратов разностей:

$$S = \sum_{i=1}^k (\Delta_i)^2, \quad (3)$$

$$S = 946.$$

Коэффициент конкордации:

$$W = \frac{12S}{m^2(k^3 - k)}, \quad (4)$$

$$W = \frac{12 \cdot 946}{5^2(8^3 - 8)} = 0,90.$$

Расчитанная величина коэффициента конкордации выше заданного и меньше единицы, что означает неодинаковое ранжирование факторов. Значимость полученного коэффициента необходимо оценить по критерию соответствия χ^2 (критерий Пирсона). Расчетное значение критерия определяется по формуле:

$$\chi^2 = \frac{12S}{mk(k+1)}, \quad (5)$$

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot 946}{5 \cdot 8(8+1)} = 31,53.$$

Критерий Пирсона при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $f_0 = k - 1 = 7$ взят из справочника. Значение $\chi^2_{\alpha;f} = 6,35$ меньше расчетного значения критерия и можно утверждать, что степень влияния факторов на параметр оптимизации согласуется с коэффициентом конкордации $W = 0,9$. Для наглядности составили диаграмму рангов (рис. 1).

Способами воздействия на объект исследования являются следующие количественные факторы: $X_1 (X_1)$ – длина пластины ($l_{ст}$), мм; $X_2 (X_2)$ – ширина

пластины ($b_{ст}$), мм; X_3 (X_7) – плотность заполнения поверхности пластины отверстиями, шт/мм². Все выбранные факторы совместимы, однозначны, управляемы и независимы.

Так как каждый из факторов реализуется на двух уровнях, то имеем полный факторный эксперимент типа 2^k . Зная число факторов (3 фактора), можно определить количество опытов для реализации всех возможных сочетаний уровней факторов: $N = 2^k$, где N – число опытов, k – число факторов, 2 – число уровней. Для кодирования факторов применяются обозначения «-1» или «-» и «+1» или «+» для нижнего и верхнего уровней соответственно.

Следующим этапом является выбор интервала варьирования для каждого из выбранных факторов. Для облегчения процесса обозначены некоторые конструктивные особенности вклеиваемой части пластины. Диапазон значений длины пластины $l_{пл}$ ограничили значениями 100 и 300 мм для нижнего и верхнего уровней соответственно из конструктивных соображений. При необходимости восприятия больших усилий целесообразно применить несколько параллельно работающих пластин. При конструировании соединений ширину пластины $b_{пл}$ назначают не более половины высоты поперечного сечения деревянного элемента и его острожки. С учетом сортамента пиломатериалов, поставляемых на рынок, определено значение верхнего уровня фактора X_2 . Отверстия, высверливаемые в стержне, приняты диаметром 10 мм. Расположение отверстий на пластине – равномерное по площади. Под плотностью заполнения поверхности пластины отверстиями принимается количество отверстий, приходящееся на единицу площади стержня. Значения уровней факторов приведены в табл. 2.

Все возможные сочетания уровней факторов приведены в табл. 3.

Составленная матрица планирования эксперимента в кодированной форме с добавлением столбцов эффекта взаимодействий факторов первого и второго порядка приведена в табл. 4.

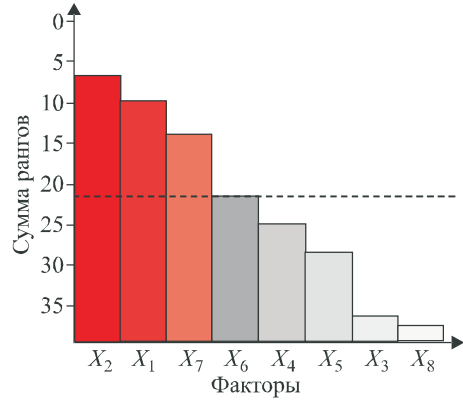


Рис. 1. Средняя априорная диаграмма рангов

Fig. 1. Average a priori rank chart

Таблица 2. Значения уровней факторов, воздействующих на объект

Table 2. Values of the levels of factors affecting the object

Фактор	Значения факторов, соответствующие уровням	
	нижнему (-)	верхнему (+)
X_1 (длина плоского стержня)	100	300
X_2 (ширина плоского стержня)	40	100
X_3 (плотность заполнения поверхности стержня отверстиями)	0,002	0,004

Таблица 3. Сочетания уровней факторов

Table 3. Combinations of factor levels

№ строк/ столбцов	Значения фактора					
	X_1		X_2		X_3	
	кодировое	натуральное	кодировое	натуральное	кодировое	натуральное
1	–	100	–	40	–	0,002
2	+	300	–	40	–	0,002
3	–	100	+	100	–	0,002
4	+	300	+	100	–	0,002
5	–	100	–	40	+	0,004
6	+	300	–	40	+	0,004
7	–	100	+	100	+	0,004
8	+	300	+	100	+	0,004

Таблица 4. Матрица планирования эксперимента

Table 4. Experiment planning matrix

№	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$
1	+	–	–	–	+	+	+	–
2	+	+	–	–	–	–	+	+
3	+	–	+	–	–	+	–	+
4	+	+	+	–	+	–	–	–
5	+	–	–	+	+	–	–	+
6	+	+	–	+	–	+	–	–
7	+	–	+	+	–	–	+	–
8	+	+	+	+	+	+	+	+

Уравнение регрессии в общем виде будет иметь вид

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3. \quad (6)$$

По составленной матрице планирования эксперимента проведено три серии опытов. Для натуральных экспериментов изготовлены образцы, представляющие собой бруски с вклеенными плоскими стальными стержнями, общий вид которых представлен на рис. 2.

Деревянные бруски выполнены из сосны 2-го сорта с размерами поперечного сечения 200×200 мм, длиной 600 мм. Посередине верхней грани брусков выбран паз на требуемую глубину и длину. Выполнение паза произведено ручным фрезером с концевой фрезой. Стальные пластины получены из стали толстолистовой горячекатаной (сортамент по ГОСТ 19903–74) толщиной 6 мм на установке плазменной резки. Отверстия во вклеиваемых частях пластин сверлами диаметром 10 мм выполнены на сверлильном станке в необходимом количестве согласно матрице планирования

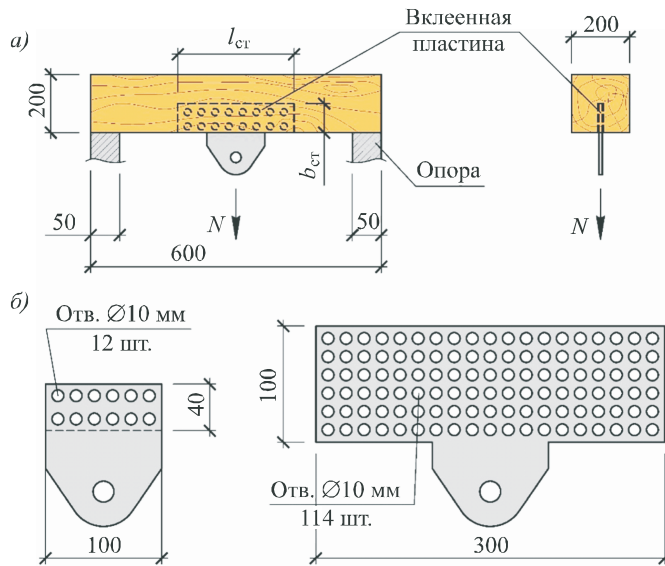


Рис. 2. Модель образца для исследования работы соединения на выдергивание пластины поперек волокон древесины (а) и варианты конструкций клеенных пластин (б)

Fig. 2. A sample model for investigating the operation of the joint for pulling out the plate across the wood fibers (a) and variants of the designs of the glued plates (b)

эксперимента. Пластина представляет собой плоский лист, нижняя часть которого предназначена для вклеивания в паз, а верхняя для соединения с нагружающим устройством. У всех пластин в верхней части, выполняющей роль распределительной фасонки, сделано отверстие диаметром 22 мм для штифта.

Количество испытываемых образцов, необходимых для определения усилия выдергивания N , принято равным пяти для каждой серии.

Эксперименты проведены на испытательной машине ИР 5082-100 (с максимальным усилием 10 т) с подвижной нижней траверсой (рис. 3).

Контролируемые параметры при испытании: нагрузка (нагрузка разрушения), перемещение клеенной пластины относительно бруса, скорость

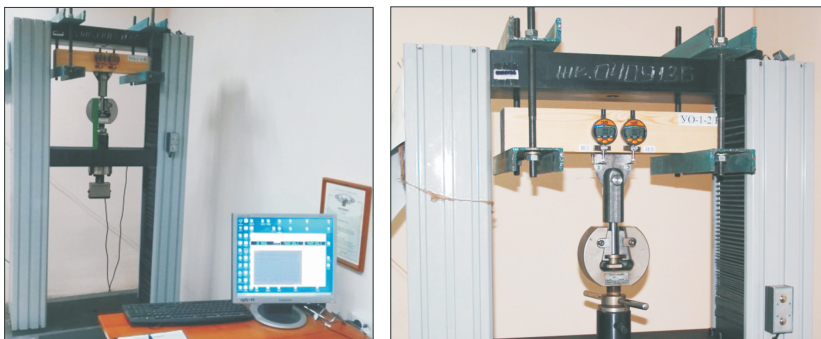


Рис. 3. Процесс испытания опытных образцов

Fig. 3. The process of testing prototypes

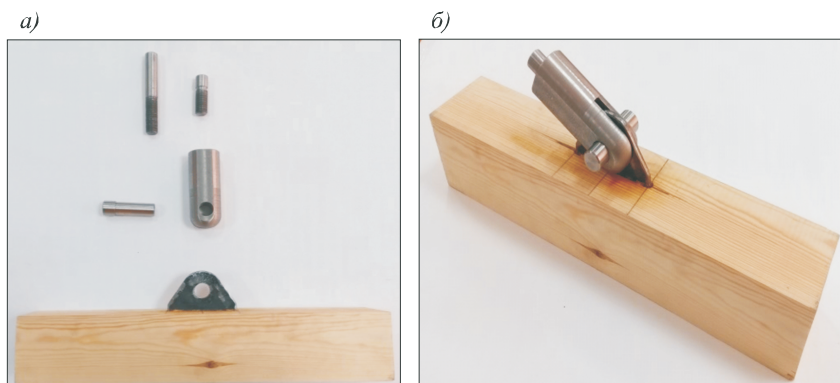
перемещения траверсы. На боковые грани бруса установлены индикаторы часового типа для измерения перемещения клеенной пластины относительно бруса (И1, И2 с ценой деления 0,001 мм).

Приспособление для передачи нагрузки представляет собой массивную металлическую вилку, выполненную из цилиндра диаметром 50 мм с прорезью шириной 8 мм на глубину 62 мм и сквозным отверстием диаметром 22 мм для установки стержня. Торец, возле которого расположено отверстие, имеет сферическую поверхность для возможности поворота приспособления на необходимый угол без касания деревянного бруска. В противоположном торце выполнено резьбовое отверстие М20 для установки шпилек разной длины. Для испытаний потребовались две шпильки, короткая и длинная, что обусловлено конструкцией захватов испытательной машины. Передача нагрузки от приспособления к образцу осуществлялась через цилиндрический шарнир, представляющий собой стержень диаметром 21,5 мм, установленный в совмещенное по оси отверстие в соединительном элементе с отверстиями металлической вилки. Поэлементная схема и общий вид собранного образца представлены на рис. 4.

Испытание образцов выполнялось в режиме ступенчатого нагружения с постоянной скоростью 0,01 кН/с без разгрузки. Величина ступеней составляла 0,1 от ожидаемой величины разрушающего усилия. На каждой ступени снимались показания с приборов.

Для образцов всех серий при испытании на выдергивание поперек волокон характерным было то, что при испытании на первом этапе откалывался участок клееного слоя от стержня вблизи дна паза из-за истощения адгезии. Далее отрывался отколовшийся участок клея с характерным треском. Дальнейшее разрушение происходило от скалывания древесины поперек волокон по площади контакта клееного слоя, оставшегося на стержне.

Результаты расчета для трех серий опытов, проводимых в разное время, представлены в табл. 5.



*Рис. 4. Универсальный образец с нагрузочным приспособлением
а – поэлементная схема; б – общий вид образца с приспособлением*

*Fig. 4. Universal sample with load device
a – element – by – element scheme; b – general view of the sample with the device*

Таблица 5. Результаты опыта

Table 5. Experience results

№	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_{cp}	S_n^2
1	–	–	–	14,22	11,95	15,49	13,89	3,22
2	+	–	–	35,87	41,43	45,96	41,09	25,54
3	–	+	–	40,12	35,51	32,23	35,95	15,71
4	+	+	–	94,56	105,67	119,59	106,61	157,28
5	–	–	+	17,44	19,35	22,68	19,82	7,03
6	+	–	+	57,51	56,31	52,16	55,32	7,88
7	–	+	+	45,32	51,98	48,26	48,52	11,14
8	+	+	+	135,35	143,51	158,32	145,73	135,59

$S_e = 363,39$

В табл. 5 S_n^2 – построчные дисперсии, определяемые по формуле:

$$S_n^2 = \frac{(y_1 - y_{cp})^2 + (y_2 - y_{cp})^2 + (y_3 - y_{cp})^2}{n-1}, \quad (7)$$

$$S_e = \sum_{n=1}^N S_n^2 \text{ – сумма квадратов ошибок.}$$

Для проверки гипотезы об однородности дисперсий вычислен критерий Кохрена. Для этого выбрано наибольшее из рассчитанных значений построчной дисперсии.

Формула расчета критерия Кохрена:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{S_e} \leq G_{\alpha}, \quad (8)$$

$$G = \frac{157,28}{363,39} = 0,433.$$

При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $f_1 = 2$ из справочной таблицы принято значение критерия Кохрена $G_{\alpha} = 0,5157$. Полученное расчетное значение критерия не превышает критического ($0,433 < 0,5157$). С 95%-й доверительной вероятностью ($P = 0,95$) можно утверждать, что дисперсии однородны, а значит, опыт воспроизводим.

Расчет коэффициентов уравнения регрессии проведен по общепринятым формулам [13]. Результаты расчета коэффициентов уравнения регрессии представлены в табл. 6.

Уравнение регрессии с рассчитанными коэффициентами

$$Y = 58,37 + 28,82X_1 + 25,83X_2 + 8,98X_3 + 13,15X_1X_2 + 4,36X_1X_3 + 3,94X_2X_3 + 2,28X_1X_2X_3.$$

Дисперсия воспроизводимости

$$S_y^2 = \frac{S_e}{f_2 f_1}, \quad (9)$$

где $f_1 = n - 1$; $f_2 = N$ – числа степеней свободы.

Таблица 6. Коэффициенты уравнения регрессии

Table 6. Coefficients of the regression equation

№	X_1Y_{cp}	X_2Y_{cp}	X_3Y_{cp}	$X_1X_2Y_{cp}$	$X_1X_3Y_{cp}$	$X_2X_3Y_{cp}$	$X_1X_2X_3Y_{cp}$	Y_{cp}
1	-13,89	-13,89	-13,89	13,89	13,89	13,89	-13,89	13,89
2	41,09	-41,09	-41,09	-41,09	-41,09	41,09	41,09	41,09
3	-35,95	35,95	-35,95	-35,95	35,95	-35,95	35,95	35,95
4	106,61	106,61	-106,61	106,61	-106,61	-106,61	-106,61	106,61
5	-19,82	-19,82	19,82	19,82	-19,82	-19,82	19,82	19,82
6	55,32	-55,32	55,32	-55,32	55,32	-55,32	-55,32	55,32
7	-48,52	48,52	48,52	-48,52	-48,52	48,52	-48,52	48,52
8	145,73	145,73	145,73	145,73	145,73	145,73	145,73	145,73
$\sum_{i=1}^N$	230,57	206,69	71,85	105,17	34,85	31,53	18,25	466,93
$b_{i(j,z)}$	$b_1 = 28,82$	$b_2 = 25,83$	$b_3 = 8,98$	$b_{12} = 13,15$	$b_{13} = 4,36$	$b_{23} = 3,94$	$b_{123} = 2,28$	$b_0 = 58,37$

$$S_y^2 = \frac{363,39}{8 \cdot (3-1)} = 22,71.$$

Дисперсия коэффициентов регрессии и среднеквадратичная ошибка:

$$S_{bi}^2 = \frac{S_y^2}{N}, \tag{10}$$

$$S_{bi}^2 = \frac{22,71}{8} = 2,84.$$

$$S_{bi} = \sqrt{S_{bi}^2}, \tag{11}$$

$$S_{bi} = \sqrt{2,84} = 1,685.$$

Доверительный интервал для коэффициентов регрессии будет равен:

$$\Delta b_i = \pm t S_{bi}, \tag{12}$$

$$\Delta b_i = \pm 2,12 \cdot 1,685 = \pm 3,57,$$

где t – критерий Стьюдента по справочной таблице при выбранном уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $f_3 = f_1, f_2 = 16$.

Значимость коэффициентов, исходя из условия

$$|b_i, b_{ij}, b_{ijz}| \geq t S_{bi}. \tag{13}$$

Коэффициенты, значение которых меньше 3,57, исключаются из уравнения регрессии. Можно сделать вывод, что для параметра оптимизации значимы все члены уравнения, кроме коэффициента b_{123} .

Итоговое уравнение регрессии со значимыми коэффициентами примет вид

$$Y = 58,37 + 28,82X_1 + 25,83X_2 + 8,98X_3 + 13,15X_1X_2 + 4,36X_1X_3 + 3,94X_2X_3.$$

Проверка адекватности полученного уравнения.

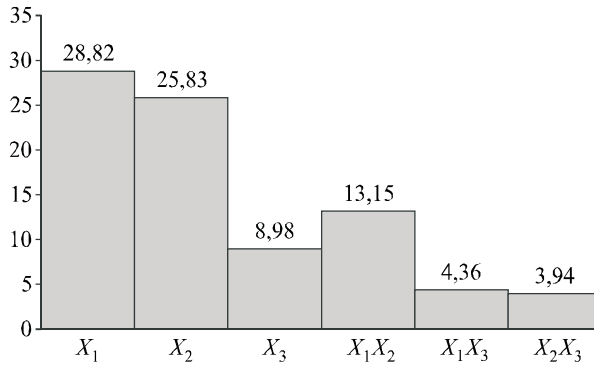


Рис. 5. Влияние факторов на параметр оптимизации

Fig. 5. Influence of factors on the optimization parameter

Остаточная дисперсия:

$$S_{ад}^2 = \frac{S_R}{f_{ад}}, \quad (14)$$

$$S_{ад}^2 = \frac{41,63}{4} = 10,41,$$

где $S_R = \sum_{i=1}^N \Delta y_i^2$ – остаточная сумма квадратов;

$f_{ад}$ – число степеней свободы для дисперсии адекватности, вычисляемое по формуле:

$$f = N - (k + 1), \quad (15)$$

$$f = 8 - (3 + 1) = 4.$$

Выполним проверку, используя критерий Фишера:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2}, \quad F = \frac{10,41}{22,71} = 0,46. \quad (16)$$

Табличное значение F -критерия при уровне значимости $\alpha = 0,05$ составляет 3,01. Так как расчетное значение критерия не превосходит критическое, то можно сделать вывод об адекватности составленного уравнения регрессии. Наибольшее влияние на параметр оптимизации оказывают длина и ширина плоского стержня (рис. 5).

Для наглядности полученных результатов построены графические зависимости (рис. 6, 7).

Анализ экспериментальных наблюдений и полученных зависимостей показал, что плотность заполнения поверхности пластины отверстиями оказывает также

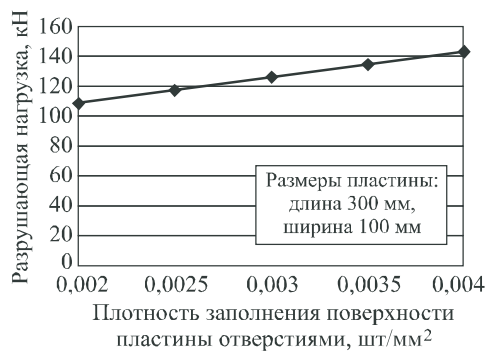


Рис. 6. Модель процесса

Fig. 6. Process model

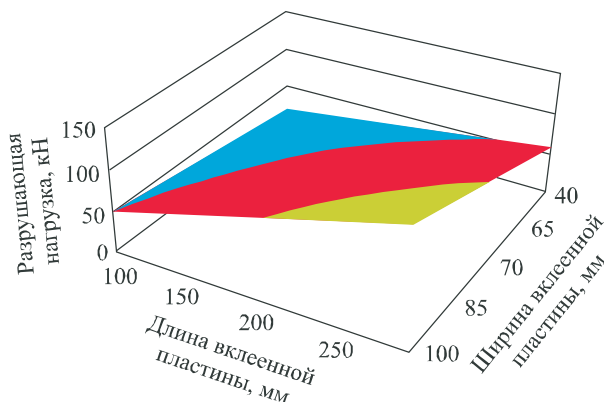


Рис. 7. Оценка отклика поверхности функции (плотность заполнения отверстиями 0,004 шт/мм²)

Fig. 7. Evaluation of the function surface response (the density of filling with holes 0,004 pcs/mm²)

значительное влияние на несущую способность за счет более равномерного распределения скальвающих напряжений по площадке «клей-древесина». Этот факт имеет немаловажное значение в случаях, когда при конструировании узлов проектировщик ограничен в назначении длины и ширины клеенной пластины (рядом расположенные узлы, незначительная высота поперечного сечения элемента и т.п.). Например, при фиксированных значениях длины и ширины клеенной пластины увеличение плотности заполнения поверхности пластины отверстиями с 0,002 до 0,004 шт/мм² (см. рис. 6) позволяет увеличить несущую способность соединения на 32 %.

Выводы. 1. Экспериментальные исследования подтвердили техническую целесообразность применения в соединениях деревянных конструкций стальных клеенных пластин.

2. Установлено, что на несущую способность рассматриваемого класса соединений наибольшее влияние оказывают длина и ширина пластины, а также плотность заполнения поверхности клеиваемой части пластины отверстиями.

3. Выявлено, что наибольшая несущая способность соединения при фиксированных размерах пластины достигается при плотности заполнения поверхности ее клеиваемой части, равной 0,004 шт/мм².

Список источников

1. Орлович Р.Б., Гиль З., Дмитриев П.А. Тенденции в развитии соединений деревянных конструкций в строительстве за рубежом // Известия вузов. Строительство. 2004. № 11. С. 4–9.
2. Водяников М.А., Кашиварова Г.Г., Штро П.С. Деформативность и несущая способность узлов стыка деревянных конструкций на стальных и углепластиковых нагелях // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2017. Т. 2. С. 50–56.

3. Пуртов В.В., Павлик А.В. Сборные фермы из клееной древесины с соединениями на металлических пластинах с зубьями-дюбелями // Известия вузов. Строительство. 2004. № 9. С. 113–118.
4. Zofia Gil. Zbrojenie elementów drewnianych za pomocą prętów spiralnych. VII Konferencja Naukowa // Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych. Szczecin, 2006. P. 89–96.
5. Турковский С.Б., Погорельцев А.А. Создание деревянных конструкций системы ЦНИИСК на основе наклонно вклеенных стержней // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 3. С. 6–8.
6. Турковский С.Б., Погорельцев А.А., Преображенская И.П. Клееные деревянные конструкции с узлами на вклеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК). М.: Стройматериалы, 2013. 308 с.
7. Турковский С.Б., Погорельцев А.А. Экспериментальные исследования стыков растянутых элементов деревянных конструкций на V-образных анкерах // Строительная механика и расчет сооружений. 2021. № 4. С. 64–73.
8. Руднев И.В., Лисов С.В. Соединения элементов деревянных конструкций с применением вклеенных стальных пластин // Известия вузов. Строительство. 2014. № 4. С. 5–12.
9. Руднев И.В., Жаданов В.И. Методика расчета соединений элементов деревянных конструкций на вклеенных стальных пластинах // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 5. С. 155–161.
10. Лисицкий И.И., Жаданов В.И. Деревянные фермы с узловыми соединениями на вклеенных плоских стержнях // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 4. С. 9–15.
11. Лисицкий И.И., Жаданов В.И., Руднев И.В. Способы повышения несущей способности соединений деревянных конструкций на стальных вклеенных пластинах // Известия вузов. Строительство. 2018. № 5. С. 31–43.
12. Пат. 2633897 Российская Федерация, МПК E04B 1/58. Узловое сборно-разборное соединение деревянных стержней / И.И. Лисицкий, В.И. Жаданов, И.В. Руднев, М.А. Аркаев, С.В. Лисов. Опубл. 19.10.17; Бюл. № 29. 6 с.
13. Адлер Ю.П., Маркова Е.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1986. 279 с.
14. Рыбин Ю.И. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов. СПб.: Наука, 2004. 644 с.
15. Гарипов В.С. Моделирование технологических процессов нанесения ионно-плазменных покрытий // Вестник Оренбургского государственного университета. 2005. № 5. С. 146–148.
16. Столповский Г.А., Жаданов В.И., Гарипов В.С. Применение методов планирования эксперимента при поиске оптимальных параметров винтового стержня, влияющих на усилие его выдергивания из массива древесины // Известия вузов. Строительство. 2011. № 2. С. 109–116.

References

1. Orlovich R.B., Gil Z., Dmitriev P.A. Trends in the development of connections of wooden structures in construction abroad. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2004; (11): 4–9. (In Russ.).
2. Vodyannikov M.A., Kashevarova G.G., Shtro P.S. Deformability and bearing capacity of joints of wooden structures on steel and carbon fiber nails. *Sovremennyye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika = Modern technologies in construction. Theory and practice*. 2017; (2): 50–56. (In Russ.).

3. *Purtov V.V., Pavlik A.V.* Prefabricated farms made of glued wood with joints on metal plates with teeth-dowels. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2004; (9): 113–118. (In Russ.).
4. *Zofia Gil.* Zbrojenie elementów drewnianych za pomocą prętów spiralnych. VII Konferencja Naukowa. Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych. Szczecin. 2006. P. 89–96. (In Poland).
5. *Turkovsky S.B., Pogoreltsev A.A.* The creation of wooden structures of the TSNIISK system based on obliquely glued rods. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo = Industrial and civil construction.* 2007; (3): 6–8. (In Russ.).
6. *Turkovsky S.B., Pogoreltsev A.A., Preobrazhenskaya I.P.* Glued wooden structures with nodes on glued rods in modern construction (TSNIISK system). Moscow, 2013. 308 p. (In Russ.).
7. *Turkovsky S.B., Pogoreltsev A.A.* Experimental studies of joints of stretched elements of wooden structures on V-shaped anchors. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy = Construction mechanics and calculation of structures.* 2021; (4): 64–73. (In Russ.).
8. *Rudnev I.V., Lisov S.V.* Connections of elements of wooden structures with change of glued steel plates. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2014; (4): 5–12. (In Russ.).
9. *Rudnev I.V., Zhadanov V.I.* Method of calculation of joints of elements of wooden structures on glued steel plates. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the Orenburg State University.* 2015; (5): 155–161. (In Russ.).
10. *Lisitsky I.I., Zhadanov V.I.* Wooden trusses with nodal connections on glued flat rods. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo = Industrial and civil construction.* 2020; (4): 9–15. (In Russ.).
11. *Lisitsky I.I., Zhadanov V.I., Rudnev I.V.* Ways to increase the bearing capacity of joints of wooden structures on steel glued plates. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2018; (5): 31–43. (In Russ.).
12. Pat. 2633897 Russian Federation, IPC E04B 1/58. Nodal collapsible connection of wooden rods / I.I. Lisitsky, V.I. Zhadanov, I.V. Rudnev, M.A. Arkaev, S.V. Lisov. Publ. 19.10.17; Bull. No. 29. 6 p. (In Russ.).
13. *Adler Yu.P., Markova E.V.* Planning an experiment in the search for optimal conditions. Moscow, 1986. 279 p. (In Russ.).
14. *Rybin Yu.I.* Mathematical modeling and design of technological processes of metal processing. St. Petersburg: Nauka, 2004. 644 p. (In Russ.).
15. *Garipov V.S.* Modeling of technological processes for applying ion-plasma coatings. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the Orenburg State University.* 2005; (5): 146–148. (In Russ.).
16. *Stolpovsky G.A., Zhadanov V.I., Garipov V.S.* Application of experimental planning methods in the search for optimal parameters of a screw rod affecting its pulling force from a solid wood. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2011; (2): 109–116. (In Russ.).

Информация об авторах

В.И. Жаданов – доктор технических наук, профессор, organ-2003@bk.ru

В.С. Гарипов – кандидат технических наук, доцент, vladimir.garipov@mail.ru

И.И. Лисицкий – инженер, ivan4444lis@gmail.com

Information about the authors

V.I. Zhadanov – DSc, Professor, organ-2003@bk.ru

V.S. Garipov – PhD, Ass. Professor, vladimir.garipov@mail.ru

I.I. Lisitsky – Engineer, ivan4444lis@gmail.com

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 29.04.2022
Одобрена после рецензирования 31.05.2022
Принята к публикации 07.06.2022

The article was submitted 29.04.2022
Approved after reviewing 31.05.2022
Accepted for publication 07.06.2022