

# Строительные конструкции

УДК 684.4.059.3.001.5

© С. И. Миронова, канд. техн. наук

© А. В. Тихомиров, зав. лабораторией

© С. Е. Кирютина, аспирант

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

E-mail: mstefania@mail.ru, a9765598@mail.ru,

sekir@lan.spbgasu.ru

© S. I. Mironova, PhD in Sci. Tech.

© A. V. Tikhomirov, Head of Laboratory

© S. E. Kiryutina, post-graduate student

(Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: mstefania@mail.ru, a9765598@mail.ru,

sekir@lan.spbgasu.ru

## ИССЛЕДОВАНИЯ ОДНОКОМПОНЕНТНОГО ПОЛИУРЕТАНОВОГО КЛЕЯ НА СООТВЕТСТВИЕ 2-МУ КЛАССУ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КЛЕЕНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### RESEARCH OF SINGLE-COMPONENT POLYURETHANE RESIN GLUE ON COMPLIANCE TO THE 2ND CLASS OF THE FUNCTIONAL PURPOSE OF WOODEN GLUED DESIGNS

Рассматривается изучение прочностных свойств клеевых соединений на основе однокомпонентного полиуретанового клея марки «Иовапур 686.30» (Германия). Приведена методика прочностных испытаний. Показано, что данный клей соответствует 2-му классу функционального назначения клеевых конструкций по ГОСТ 33122–2014.

*Ключевые слова:* полиуретановые клеи, прочность клеевого соединения, водостойкость клеевого соединения, морозостойкость, теплостойкость, предел прочности клеевого соединения при растяжении образцов вдоль волокон древесины.

The paper presents the study of the strength properties of adhesive compounds based on one-component polyurethane glue of the "Iovapur 686.30" brand (Germany). The strength tests technique is submitted. It is shown that the adhesive complies with Class 2 of the functional purpose of wooden glued structures in accordance with GOST 33122-2014.

*Keywords:* polyurethane adhesives, bonding strength, water resistance of the adhesive bond, cold resistance, heat resistance, strength limit of glue connection at stretching of samples along wood fibers.

В нашей стране при изготовлении несущих деревянных клеевых конструкций (ДКК) используются, как правило, клеи на основе резорциновых и меламиновых смол с предварительным перемешиванием компонентов клеев или их раздельным нанесением на склеиваемые поверхности, а также на основе карбамида, двухкомпонентные клеи повышенной водостойкости; на основе поливинилацетата и на основе эпоксидных смол в соответствии с табл. 2 СП 64.13330.2011 [12].

В настоящее время для изготовления ДКК все чаще используются полиуретановые клеи (ПУ), которые имеют достаточно высокую эксплуатационную прочность и широко распространены в Европе. Полиуретановые клеи обладают более высокой устойчивостью к нагрузкам и влиянию неблагоприятных факторов (например, влаги, тепла или холода [1, 2]), их отверждение происходит непосредственно на подложке в результате взаимодействия изоцианатных групп полиуретана с влагой воздуха. Такие материалы стабильны

при хранении и в то же время быстро отверждаются во влажной атмосфере. Однако длительное время такие клеи не находили широкого использования в нашей стране из-за специфики их применения.

Появление нового клеевого материала на рынке производства клееной древесины с рядом выгодных преимуществ требует определения типа стойкости клеевого состава в зависимости от его прочностных свойств [3, 5].

Целью работы являлись экспериментальные исследования прочности и водо-, тепло- и морозостойкости клеевых соединений деревянных строительных конструкций на полиуретановом клее (клей марки «Иовапур 686.30» (Германия)) на предмет соответствия 2-му классу функционального назначения клееных конструкций по ГОСТ 33122–2014 [4].

Исследования проводились на малых образцах из сосны в соответствии с утвержденной нормативно-технической документацией ГОСТ 15613.1–84 [11] и методике, изложенной в [1].

Влажность древесины сосны находилась в пределах 8–14 %. При этом перепад влажности между смежными слоями составлял не более 3 %.

До начала испытаний образцы выдерживали (кондиционировали) в нормальных температурно-влажностных условиях (относительной влажности воздуха  $(65 \pm 5) \%$ , температуре  $(20 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении 760...765 мм рт. ст.) для полного отверждения клея и релаксации внутренних напряжений в древесине в течение не менее 3 суток [4].

Перед испытаниями измерялись геометрические размеры образцов и определялась влажность древесины, а также при необходимости другие физические характеристики (плотность древесины, ширина годичных колец и др.). При проведении испытаний фиксировали величину разрушающей нагрузки и характер разрушения образца (отношение площади разрушения образца по древесине к площади разрушения по клеевой прослойке, выраженное в процентах). Испытания образцов проводились при температуре воздуха  $(20 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$  и влажности  $(65 \pm 5) \%$ . Испытания проводились на испытательной машине с погрешностью измерения нагрузки не более 1 %, позволяющей проводить испытания

со скоростью перемещения нагружающей головки от 2 до 10 мм/мин [4]. За результат испытаний принимали среднее арифметическое предела прочности всех испытанных образцов, фиксируя при этом минимальное значение и характер разрушения.

#### Определение водостойкости клеевых соединений

Форма и размеры образцов для испытаний показаны на рис. 1. При формировании нижнего уступа в образце не допускается перерезание клеевого слоя.

Для определения водостойкости клеевых соединений [7, 9] образцы помещали в сосуд с водой и погружали таким образом, чтобы слой воды над ними был 2–3 см.

Выдержка образцов проводилась в течение 48 ч в воде с температурой  $(20 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$ . По истечении этого времени образцы извлекали из воды, протирали чистой сухой тканью или фильтровальной бумагой, одну половину образцов подвергали обмеру и механическим испытаниям, другую высушивали при нормальном температурно-влажностном режиме (кондиционировали) до достижения начальной влажности [4], а затем испытывали (рис. 2).

В работе была изучена стойкость клеевых соединений при воздействии горячей воды — кипячение образцов проводилось в течение 3 ч. После кипячения образцы охлаждали в течение 30 мин в проточной воде, имеющей температуру

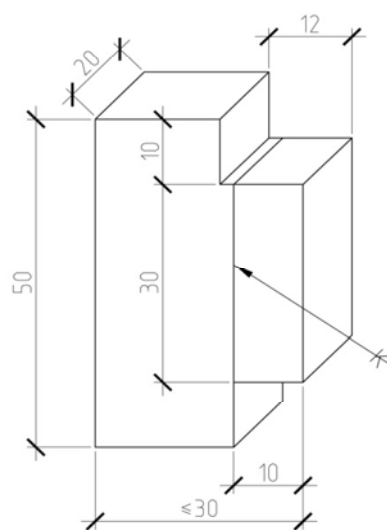


Рис. 1. Образец для испытания клеевых соединений на скалывание



(20±2) °С. Охлажденные образцы извлекали из воды, протирали, затем одну половину подвергали обмеру и механическим испытаниям, а другую высушивали при нормальном температурно-влажностном режиме (кондиционировали) до достижения начальной влажности и испытывали [4].

Испытания образцов проводят по методике определения предела прочности при скалывании вдоль волокон по п. 6 [4].



Рис. 2. Вымачивание и высушивание образцов

Приспособление с установленным в нем образцом помещали на опорную платформу испытательной машины таким образом, чтобы ось пуансона приспособления совпадала с осью нагружающего устройства испытательной машины (рис. 3) [4]. При этом поверхность нижнего уступа образца при установке должна плотно прижиматься к соответствующей поверхности приспособления.

Образец нагружали непрерывно. Испытание продолжали до разрушения образца. Разрушающую нагрузку определяли с погрешностью не более 50 Н. При этом фиксировали характер разрушения клеевого соединения.

В табл. 1 сведены результаты при исследовании водостойкости клеевых соединений.

Относительная прочность образцов, мокрых после кипячения, несколько ниже установленной для повышенной группы водостойкости, что относится к качеству древесины образцов. Полученные в результате испытаний значения относительной прочности клеевых соединений на

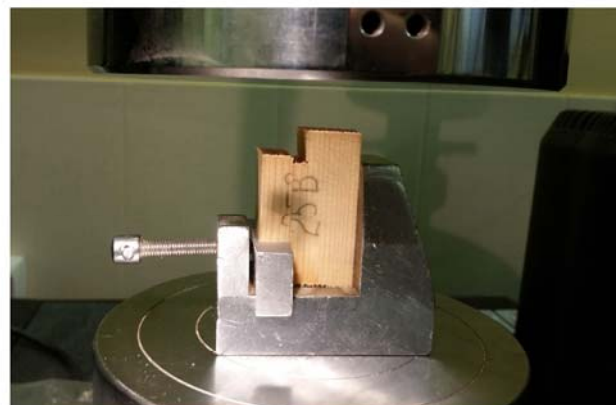


Рис. 3. Испытание образцов

Таблица 1

**Результаты исследования водостойкости клеевых соединений**

Характеристика испытания	Вид образцов	Предел прочности, МПа		Относительная прочность, %		Группа водостойкости
		по ГОСТ 33121-2014	при испытаниях	по ГОСТ 33121-2014	при испытаниях	
После выдержки в воде	Мокрые	От 3,2	3,8	От 60	60	Повышенная
	Кондиционированные	От 3,2	6,0	Менее 60	94	Повышенная
После кипячения	Горячие (100 °С)	От 3,2	3,2	Более 60	54	Средняя
	Кондиционированные	От 4,3	6,1	От 90	96	Повышенная

основе клея после вымачивания и кипячения соответствуют значениям, установленным для клеев типа II с повышенной группой водостойкости по [4].

**Определение предела прочности клеевых соединений при растяжении вдоль волокон древесины**

Испытания по определению предела прочности клеевых соединений при растяжении вдоль волокон проводились в соответствии с [6, 7]. Испытания проводились на образцах, изготовленных из древесины бука плотностью  $(700 \pm 50) \text{ кг/м}^3$ , угол между годичными кольцами находился в пределах между  $30^\circ$  и  $90^\circ$ . Принцип испытания основан на приложении усилия к единичному клеевому соединению, выполненному внахлестку, при растяжении вдоль волокон древесины. Форма, размеры и внешний вид образцов показаны на рис. 4, 5.

Образец помещали в захваты испытательной машины таким образом, чтобы расстояние между захватами находилось в пределах от 50 до 90 мм (рис. 6), площадь клеевого шва  $200 \text{ мм}^2$ .

Нагружение происходило непрерывно до разрушения образца. Разрушающую нагрузку определяли с погрешностью не более 50 Н.

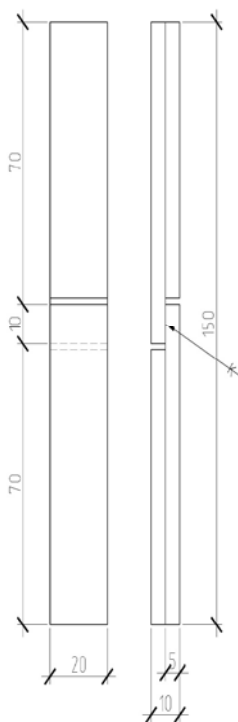


Рис. 4. Форма и размеры образца для испытаний по растяжению вдоль волокон

При этом фиксировали также характер разрушения клеевого соединения. Сравнение результатов испытания и значений по ГОСТ приведено в табл. 2.

В соответствии с результатами испытаний средний предел прочности клеевого соединения

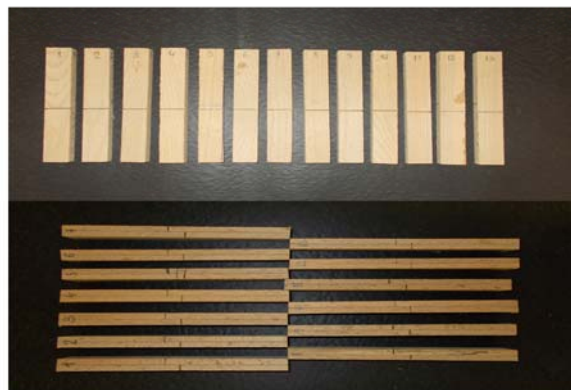


Рис. 5. Образцы из бука

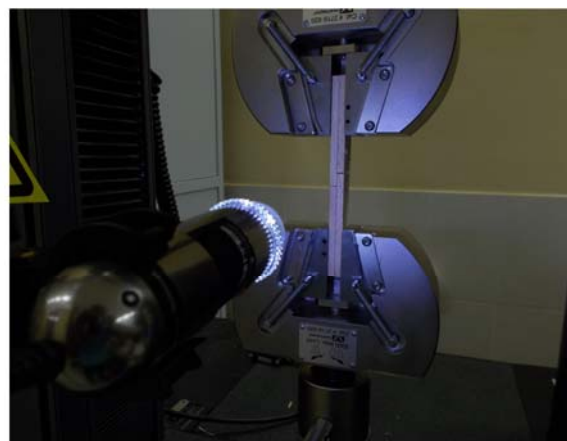


Рис. 6. Испытания образцов на определение предела прочности клеевых соединений при растяжении вдоль волокон древесины

Таблица 2

**Сравнение результатов испытания на прочность клеевых соединений и значений**

Результаты	Значение предела прочности, МПа	Характер разрушения
По ГОСТ 33121–2014	9,0	Разрушение по клею
При испытании	10,66	Разрушение по клею



равен 10,66 МПа, что выше нормативного значения, указанного в табл. 2 ГОСТ 33122–2014.

#### Определение тепло- и морозостойкости клеевых соединений

В зависимости от степени стойкости к температурным воздействиям клеевые соединения подразделяются на группы:

- нормальной теплостойкости и морозостойкости;
- пониженной теплостойкости и морозостойкости.

Испытания по определению тепло- и морозостойкости клеевых соединений проводились в соответствии с п. 8 [9].

Для проведения испытаний было изготовлено три серии образцов. Первая серия (10 шт.) состояла из контрольных образцов, вторая и третья серии (по 20 шт.) — из образцов, подлежащих испытаниям на тепло- и морозостойкость (рис. 7).

Испытания на теплостойкость проводились путем выдерживания образцов второй серии в термокамере в течение двух недель при температуре  $(90 \pm 3)^\circ\text{C}$ .

Для испытаний на морозостойкость образцы с влажностью выше предела гигроскопичности



Рис. 7. Образцы для испытания на теплостойкость

( $W \geq 30\%$ ), т. е. вымоченные в воде при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  в течение 48 ч, помещали в морозильную камеру на две недели при температуре  $-30^\circ\text{C}$  [4]. Зазоры между образцами, укладываемыми на сетки стеллажей термокамеры или морозильной камеры, были менее 5 мм. К образцам, находящимся в камерах, был обеспечен доступ воздуха со всех сторон. После укладки образцов дверцы камер закрывали и доводили температуру до указанной в п. 8.3 или 8.4 (ГОСТ 33121–2014) в зависимости от вида воздействий. Колебания температуры в различных частях камеры не должны были быть более  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

Момент доведения температуры в камере до заданной считался началом испытаний на тепло- и морозостойкость клеевых соединений соответственно [4].

После проведения испытаний на тепло- и морозостойкость образцы испытывали на скалывание вдоль волокон древесины до разрушения (рис. 8). При этом образцы второй серии (теплостойкость) делили на две группы: одну группу образцов испытывали до разрушения на испытательной машине (время с момента извлечения образцов из камеры до начала испытаний не превышало 3–5 мин); вторую группу образцов, а также третью серию образцов (морозостойкость) выдерживали в течение двух недель в нормальных температурно-влажностных условиях до достижения ими температуры и влажности контрольных образцов, а затем испытывали на скалывание.

Относительную прочность клеевого соединения подсчитывали с точностью до 1 %.

Результаты испытаний на тепло- и морозостойкость приведены в табл. 3.

Согласно данным табл. 3 образцы соответствуют группе нормальной тепло- и морозостойкости.

На основании результатов проведенных экспериментальных исследований прочности и стойкости клеевых соединений деревянных строительных конструкций на полиуретановом клее можно утверждать, что клей марки «Иовапур 686.30» (Германия) соответствует 2-му классу функционального назначения клеевых конструкций по ГОСТ 33122–2014 и может использоваться для производства клеевых деревянных конструкций [9, 10].

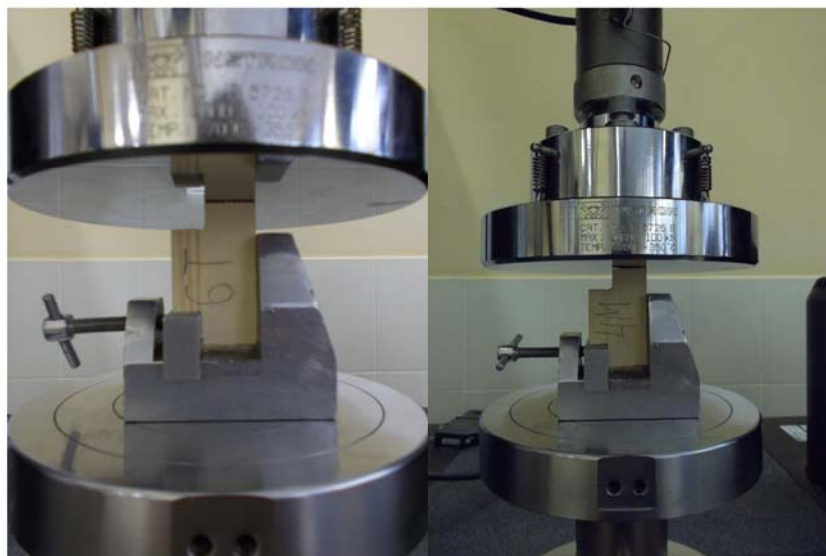


Рис. 8. Определение морозо- и теплостойкости испытанием на скалывание

Таблица 3

**Результаты испытаний на тепло- и морозостойкость**

№	Характеристика испытания	Вид образцов	Относительная прочность, %		Группа
			по ГОСТ 33121–2014	при испытаниях	
1	Теплостойкость	Горячие	≥75	93	Нормальная
2	Теплостойкость	Кондиционированные	≥90	103	Нормальная
3	Морозостойкость	Кондиционированные	≥100	105	Нормальная

**Библиографический список**

1. Белянкин Ф. П. Прочность древесины при скалывании вдоль волокон // Киев: Акад. Наук УССР, 1955. С. 140.

2. Мелехов В. И., Глухих В. Н., Бызов В. Е. Плоская деформация при изгибе круглого цилиндрически анизотропного неоднородного тела // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2014. № 5 (341). С. 118–126.

3. ГОСТ 20850. Конструкции деревянные клееные. Общие технические условия.

4. ГОСТ 33122–2014. Клеи для несущих деревянных конструкций. Общие технические требования.

5. ГОСТ 33080–2014. Классы прочности конструкционных пиломатериалов и методы их определения.

6. ГОСТ 8486–86\*. Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия.

7. ГОСТ 33120–2014. Конструкции деревянные клееные. Методы определения прочности клеевых соединений.

8. EN 302-1. Клеи для несущих деревянных конструкций. Методы испытаний. Часть 1. Определение

прочности клеевого соединения при продольном сдвиге.

9. ГОСТ 33121–2014. Конструкции деревянные клееные. Методы определения стойкости клеевых соединений к различным температурно-влажностным воздействиям.

10. EN 302-2. Клеи для несущих деревянных конструкций. Методы испытаний. Часть 2. Определение устойчивости к расслоению (лабораторный метод).

11. ГОСТ 15613.3–77. Древесина клееная массивная. Метод определения прочности при растяжении клеевого торцевого соединения впритык.

12. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-8.

13. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций. ЦНИИСК, 1976.

**References**

1. Belyankin F. P. *Prochnost' drevesiny pri skalyvanii vdol' volokon* [Strength of wood at shearing along fibers]. Kiev, Academy of Sciences, USSR, 1955, p. 140.

2. Melekhov V. I., Glukhikh V. N., Byzov V. E. *Ploskaya deformatsiya pri izgibe kruglogo tsilindricheski anizotrop-*



nogo neodnorodnogo tela [Flat deformation at bending of cylindrically anisotropic non-uniform body]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal -- News of higher educational institutions. Forestry journal*, 2014, no. 5 (341), pp. 118–126.

3. GOST 20850. *Konstruktsii derevyannye kleenye. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [GOST 20850. Designs the wooden glued. General specifications].

4. GOST 33122–2014. *Klei dlya nesushchikh derevyannykh konstruktsiy. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya* [GOST 33122-2014. Glues for the bearing wooden designs. General technical requirements].

5. GOST 33080–2014. *Klasy prochnosti konstruktsionnykh pilomaterialov i metody ikh opredeleniya* [GOST 33080-2014. Classes of durability of constructional timber and methods of their definition].

6. GOST 8486–86\*. *Pilomaterialy khvoynykh porod. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 8486-86\*. Timber of coniferous species. Specifications].

7. GOST 33120–2014. *Konstruktsii derevyannye kleenye. Metody opredeleniya prochnosti kleevykh soedineniy* [GOST 33120-2014. Wooden glued designs. Methods of determining the durability of glued connections].

8. EN 302-1. *Klei dlya nesushchikh derevyannykh konstruktsiy. Metody ispytaniy. Chast' 1. Opredelenie prochnosti kleevogo soedineniya pri prodol'nom sdvige* [EN 302-1.

Glues for the bearing wooden designs. Test methods. Part 1. Determination of durability of glued connection at longitudinal shift].

9. GOST 33121–2014. *Konstruktsii derevyannye kleenye. Metody opredeleniya stoykosti kleevykh soedineniy k razlichnym temperaturno-vlazhnostnym vozdeystviyam* [GOST 33121-2014. Wooden glued designs. Methods of determining the resistance of glued connections to various temperature and moist influences].

10. EN 302-2. *Klei dlya nesushchikh derevyannykh konstruktsiy. Metody ispytaniy. Chast' 2. Opredelenie ustoyчивости k rassloeniyu (laboratornyy metod)* [EN 302-2. Glues used for the bearing wooden designs. Test methods. Part 2. Determination of resistance to stratification (laboratory method)].

11. GOST 15613.3–77. *Drevesina kleenaya massivnaya. Metod opredeleniya prochnosti pri rastyazhenii kleevogo tortseвого soedineniya vprityk* [GOST 15613.3-77. Glued solid wood. A method of determining the durability at stretching the glued face connection end-to-end].

12. SP 64.13330.2011. *Derevyannye konstruktsii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp II-25-8*. [SP 64.13330.2011. Wooden designs. Revised edition of SNIp II-25-8].

13. *Rekomendatsii po ispytaniyu derevyannykh konstruktsiy* [Recommendations about testing wooden designs]. TsNIISK Publ., 1976.