

## ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 674.812-419

С. А. Угрюмов, А. С. Свешников

### ОЦЕНКА АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ И МЕЖФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СТРУКТУРЕ ФАНЕРЫ С ВНУТРЕННИМИ СЛОЯМИ ИЗ ДРЕВЕСНО-КЛЕЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ

*Путём прямого эксперимента изучено влияние схем сборки пакетов фанеры с внутренними слоями из древесно-клеевой композиции на величину адгезионной прочности и межфазного взаимодействия при равномерном отрыве и скалывании. Определены рациональные конструкции сборки пакетов фанеры.*

*Ключевые слова:* фанера; лущёный шпон; древесно-клеевая композиция; адгезионная прочность; межфазное взаимодействие; структура пакета.

**Введение.** При производстве фанеры неизбежно образуются древесные отходы. Вовлечение в производство древесных композиционных материалов отходов деревоперерабатывающих производств способствует снижению себестоимости готовой продукции и их эффективной утилизации [1,2].

Целесообразно использование осмолённых древесных частиц из измельчённых отходов сопутствующего фанерного производства для изготовления внутренних слоёв фанеры. Основу прочности такого материала составляет лущёный шпон, а композиция на основе древесных частиц, смешанных с синтетическим связующим, служит наполнителем [3,4].

Производство фанеры с внутренним заполнением из древесно-клеевой композиции позволяет эффективно утилизировать образующиеся древесные отходы, снизить производственные затраты, расширить ассортимент выпускаемой продукции при сохранении её качества и конкурентоспособности, что является актуальным для деревообрабатывающей отрасли.

Возможность прогнозирования прочностных свойств фанеры, а также степени межфазного взаимодействия между листами шпона и внутренним заполнением является важной, поскольку позволяет регулировать схемы её сборки и рецептуру в зависимости от необходимых свойств и сфер применения.

---

© Угрюмов С. А., Свешников А. С., 2014.

Ссылка на статью: Угрюмов С. А., Свешников А. С. Оценка адгезионной прочности и межфазного взаимодействия в структуре фанеры с внутренними слоями из древесно-клеевой композиции // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1(21). – С. 53-68.

Любая система адгезив (жидкость) – субстрат (твёрдое тело) характеризуется величиной адгезии и характером разрушения (типом нарушения связи между компонентами). Вопрос о характере разрушения имеет практическую значимость. Зная слабые места материала, можно искать пути повышения его работоспособности и долговечности [5,6]. Межфазное взаимодействие в фанере с внутренними слоями из древесно-клеевой композиции проявляется на границах фаз: жидкость (связующее) – твёрдое тело (древесные частицы); жидкость (связующее) – твёрдое тело (лущёный шпон).

Под структурой пакета фанеры с внутренними слоями из древесно-клеевой композиции будем понимать число слоёв шпона определённой толщины, чередующихся с внутренними слоями из осмолённых древесных частиц, полученных из измельчённых отходов фанерного производства. Рациональные структуры пакетов фанеры с внутренним заполнением на основе древесных частиц и их физико-механические свойства рассмотрены в работе [7].

Представляет также практический интерес оценка величины адгезионной прочности и межфазного взаимодействия на границе раздела фаз (слоёв лущёного шпона и древесно-клеевой композиции) в структуре фанеры.

**Цель работы** – оценка величины адгезионной прочности и межфазного взаимодействия на границах лущёного шпона и древесно-клеевой композиции в зависимости от схемы сборки пакета фанеры.

**Решаемые задачи:**

оценка величины межфазного взаимодействия и адгезионной прочности фанеры с внутренними слоями из древесно-клеевой композиции в зависимости от структуры пакета, рекомендация рациональной схемы сборки пакета фанеры.

**Методика проведения экспериментальных исследований.** Образцы фанеры форматом 400х400 мм были изготовлены по различным схемам сборки в лабора-

торном гидравлическом прессе П100-400. При проведении опытных запрессовок применялся клей на основе карбамидоформальдегидной смолы КФН-66 и отвердителя хлористого аммония, в наружных и промежуточных слоях использовался берёзовый лущёный шпон номинальной толщиной 1,5 мм, для внутреннего заполнения использовалась берёзовая специальная резаная стружка фракции 10/5, изготовление проводилось при следующих постоянных факторах:

- номинальная толщина фанеры 16 мм;
- температура прессования 130°C;
- удельное давление прессования 2 МПа;
- время выдержки под давлением 7 мин (0,44 мин/1 мм).

Готовые образцы фанеры кондиционировались в течение 1 суток, после чего раскраивались на соответствующие образцы для проведения испытаний.

В связи с отсутствием стандартной методики определения адгезионной прочности и величины межфазного взаимодействия фанеры с внутренними слоями из древесно-клеевой композиции за основу взята методика оценки величины адгезионной прочности при отрыве листов шпона по ГОСТ 27325 [8] и методика определения прочности при скалывании по ГОСТ 9624 [9].

Сущность метода оценки адгезионной прочности при отрыве слоёв заключается в отрыве участка облицовывающего покрытия (листов лущёного шпона) от подложки (внутренних слоёв из древесно-клеевой композиции) в перпендикулярном к ней направлении в зависимости от конструкции сборки пакета фанеры с фиксацией разрушающей нагрузки.

Определение адгезионной прочности производили на образцах фанеры размерами 50х50 мм. На рабочую поверхность берёзового цилиндра ровным сплошным слоем наносили эпоксидный клей марки ЭДП ТУ 2385-039-54804491-2004. На поверхность покрытия по центру образца

наклеивали цилиндр перпендикулярно горизонтальной плоскости, после чего делали выдержку в течение 24 часов в помещении при температуре воздуха ( $20 \pm 2$ ) °С. После выдержки сверлили поверхность покрытия вокруг цилиндра до подложки, допуская появление следа сверления на внутреннем слое из древесно-клеевой композиции. Внешний вид образца для испытания фанеры с внутренними слоями из древесно-клеевой композиции представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид образца для определения адгезионной прочности

Для проведения испытаний применялась разрывная машина Р-5. Испытуемые образцы устанавливали в приспособление для испытаний. Приспособление для испытаний крепили к верхнему захвату машины через цилиндр по схеме, приведённой на рис. 2.

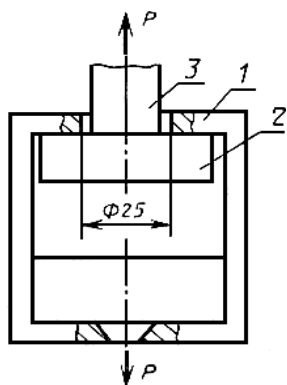


Рис. 2. Схема крепления образца в разрывной машине: 1 – захват образца; 2 – образец; 3 – берёзовый цилиндр

Для определения влияния конструкции сборки пакета на величину адгезионной прочности и межфазного взаимодействия испытания проводили для наружных и центральных листов шпона.

Схемы установки цилиндров при испытании адгезии наружных и центральных листов шпона в пакете в зависимости от конструкции сборки представлены на рис. 3.

По результатам испытаний определяли предел прочности и характер разрушения образца.

Для определения прочности при скалывании по границам раздела фаз были изготовлены образцы, представленные на рис. 4.

Длина образца составляла 85 мм, толщина – 16 мм. Ширина пропила определялась в зависимости от толщины пропила и составляла от 8 до 15 мм для осуществления возможности полного захвата испытательным приспособлением. Глубину пропила  $h$  определяли в зависимости от структуры пакета. Длина плоскости скалывания  $l$  составляла ( $12,5 \pm 0,5$ ) мм.

Определение предела прочности при скалывании по границам раздела фаз проводили на испытательной машине Р-5, оборудованной клиновыми захватами. Для каждого образца фиксировали разрушающую нагрузку, определяли предел прочности и характер разрушения.

**Результаты проведения экспериментов.** Общепринятой является следующая классификация типов разрушений: адгезионный (адгезив целиком отделяется от субстрата), когезионный (разрыв происходит по клеевому слою или подложке), смешанный (адгезионно-когезионный, при котором происходит частичное отделение адгезива (клеявого слоя) от субстрата (подложки) либо частичное разрушение субстрата и частичное разрушение адгезива).

Адгезионная прочность для основных схем сборки фанеры была определена экспериментально при равномерном отрыве наружных и центральных листов шпона.

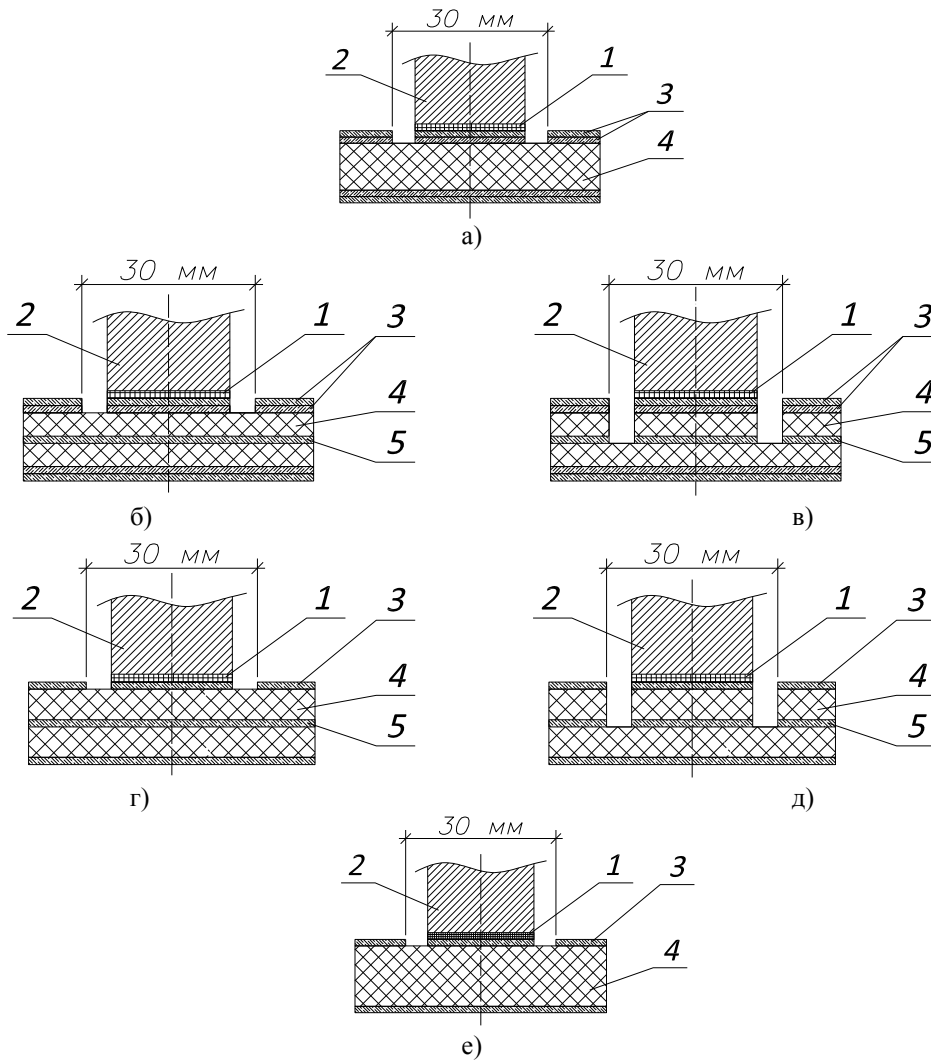


Рис. 3. Схемы установки цилиндров при испытании: а) схема сборки № 1 (наружные листы шпона); б) схема сборки № 2 (наружные листы шпона); в) схема сборки № 2 (центральный лист шпона); г) схема сборки № 3 (наружные листы шпона); д) схема сборки № 3 (центральный лист шпона); е) схема сборки № 4 (наружные листы шпона). 1 – слой эпоксидного клея; 2 – берёзовый цилиндр; 3 – наружные листы шпона; 4 – центральный лист шпона

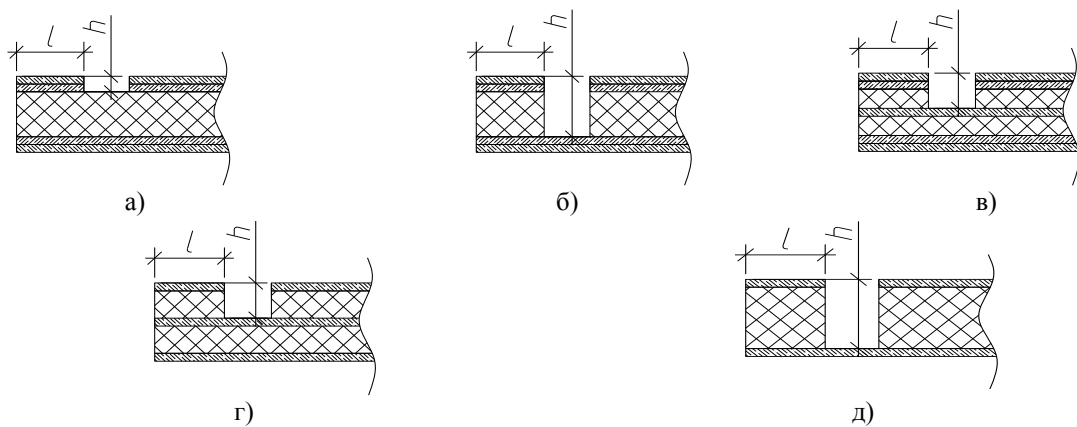


Рис. 4. Форма образцов для определения предела прочности при скалывании: а) схема сборки № 1 (верхние листы шпона); б) схема сборки № 1 (нижние листы шпона); в) схема сборки № 2; г) схема сборки № 3; д) схема сборки № 4

Доминирующий характер разрушения образцов после испытания по отрыву листов шпона представлен на рис. 5.



Рис. 5. Характерное разрушение образца фанеры при отрыве

Результаты экспериментальных исследований по определению адгезионной прочности фанеры с внутренними слоями

из древесно-клеевой композиции при отрыве листов шпона представлены в табл. 1.

Полученные данные показывают, что при отрыве листов шпона в основном наблюдается когезионный по древесно-клеевой композиции или смешанный характер разрушения, что свидетельствует о высокой прочности межфазного соединения.

Характер межфазного взаимодействия жидкости (связующего) с твёрдым телом (древесные частицы и шпон) на границе их взаимодействия в зависимости от схемы сборки фанеры определялся путём скалывания по границе контакта наружного листа шпона и внутреннего слоя из древесно-клеевой композиции, а также внутреннего слоя из древесно-клеевой композиции и центрального листа шпона.

Таблица 1

Адгезионная прочность фанеры при отрыве листов шпона от внутренних слоев из древесно-клеевой композиции

| № схемы сборки | Адгезионная прочность при отрыве листов шпона от внутренних слоёв из древесно-клеевой композиции, МПа |                                   |                         |                          |                                   |                         | Тип разрушения образца при испытании                           |  |
|----------------|---|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------|--|--|
|                | наружных листов шпона   |                                   |                         | центрального листа шпона |                                   |                         |  |  |
|                | среднее значение  | среднее квадратическое отклонение | коэффициент вариации, % | среднее значение         | среднее квадратическое отклонение | коэффициент вариации, % | наружных листов шпона  | центрального листа шпона               |
| 1              | 1,59  | 0,032                             | 1,87                    | -                        | -                                 | -                       | когезионный по внутреннему слою из древесно-клеевой композиции | -                                      |
| 2              | 1,63  | 0,051                             | 3,35                    | 1,25                     | 0,033                             | 2,40                    | смешанный (шпон/древесные частицы)                             | смешанный тип (шпон/древесные частицы) |
| 3              | 1,67  | 0,050                             | 3,23                    | 1,23                     | 0,015                             | 0,81                    | когезионный по внутреннему слою из древесно-клеевой композиции | смешанный тип (шпон/древесные частицы) |
| 4              | 1,65  | 0,112                             | 6,82                    | -                        | -                                 | -                       | смешанный тип (шпон/древесные частицы)                         | -                                      |



а)



б)



в)

Рис. 6. Характерное разрушение образцов при скалывании:  
а) схема сборки № 1 (верхние листы шпона); б) схема сборки № 3; в) схема сборки № 4

Таблица 2

#### Прочность фанеры при скалывании по клеевому слою

| №<br>схемы сборки       | Прочность при скалывании по слоям, МПа |                                   |                      | Основной тип разрушения образцов при испытании  |
|-------------------------|--|-----------------------------------|----------------------|---|
|                         | среднее значение                       | среднее квадратическое отклонение | коэффициент вариации |   |
| 1 (верхние листы шпона) | 3,05                                   | 0,331                             | 10,86                | Когезионный по древесно-клеевой композиции  |
| 1 (нижние листы шпона)  | 3,1                                    | 0,192                             | 6,20                 | Смешанный по клеевому шву между слоями шпона с вырывом волокон древесины из поверхности шпона |
| 2                       | 4,21                                   | 0,162                             | 3,86                 | Когезионный по древесно-клеевой композиции  |
| 3                       | 4,12                                   | 0,172                             | 4,18                 | Когезионный по древесно-клеевой композиции  |
| 4                       | 3,15                                   | 0,158                             | 5,02                 | Когезионный по древесно-клеевой композиции  |

Для примера на рис. 6 приведены некоторые характерные разрушения образцов при скалывании в зависимости от структуры пакета.

Результаты экспериментальных исследований по определению прочности

фанеры с внутренними слоями из древесно-клеевой композиции при скалывании представлены в табл. 2.

Полученные данные показывают, что при скалывании по клеевым слоям в основном наблюдается когезионный по дре-

весно-клеевой композиции или смешанный характер разрушения, что свидетельствует о высокой прочности межфазного соединения.

**Интерпретация результатов эксперимента.** При адгезионном отрыве слоёв шпона и при скалывании по граничным слоям фанеры с внутренними слоями на основе древесно-клеевой композиции в основном наблюдается когезионное разрушение по древесно-клеевой композиции независимо от схемы сборки. Высокая адгезионная прочность на границе раздела фаз (слоёв шпона и древесно-клеевой композиции) объясняется наличием клеевой прослойки с повышенным содержанием клея – контактирует осмоленный лист шпона и осмоленные древесные частицы.

Незначительная разница в величинах адгезионной прочности по границам фаз в зависимости от их месторасположения объясняется различием степени отверждения связующего по сечению фанеры – в процессе прессования температура в

центральных слоях меньше, чем в наружных, следовательно, полнота отверждения связующего во внутренних слоях меньше, чем в наружных.

Максимальный предел прочности при отрыве наблюдается у образцов фанеры со схемами сборки № 2, № 3 с наличием внутреннего слоя шпона [7], поэтому их рекомендуется использовать в ответственных конструкциях. С точки зрения организации технологического процесса простотой формирования пакета обладают схемы сборки № 1, № 4.

**Выводы.** Высокие показатели адгезионной прочности при отрыве листов шпона и глубокое межфазное взаимодействие на границе раздела слоёв шпона и слоёв из древесно-клеевой композиции позволяют сделать вывод о надёжности и хорошей несущей способности фанеры с внутренними слоями из древесно-клеевой композиции, которая эффективно может использоваться в качестве конструкционного материала в различных сферах.

#### Список литературы

1. Стрелкова, В. П. Линии малой мощности для производства плит и других прессованных изделий из древесных и сельскохозяйственных отходов / В.П. Стрелкова, О.М. Новикова // Деревообрабатывающая промышленность. – 1993. – № 6. – С. 21–22.
2. Угрюмов, С. А. Организационно-техническое обеспечение производства композиционных материалов на основе древесных наполнителей и костры льна: монография / С.А. Угрюмов. – Кострома: КГТУ, 2008. – 147 с.
3. Угрюмов, С. А. Организация технологического процесса производства композиционной фанеры / С.А. Угрюмов, А.А. Смирнов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник: научно-информационный журнал. – 2006. – № 3. – С. 123–126.
4. Угрюмов, С. А. Разработка технологической последовательности производства композиционной фанеры / С. А. Угрюмов, Е. А. Боровков, А. Е. Щербаков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник: научно-информационный журнал. – 2007. – № 6. – С. 120–123.
5. Берлин, А. А. Основы адгезии полимеров / А. А. Берлин, В. Е. Басин. – М.: Химия, 1974. – 392 с.
6. Берлин, А.А. Принципы создания композиционных полимерных материалов / А. А. Берлин [и др.]. – М.: Химия, 1990. – 240 с.
7. Угрюмов, С.А. Комплексное исследование свойств композиционной фанеры / С.А. Угрюмов, А.С. Свешников // Вестник МГУЛ – Лесной вестник: научно-информационный журнал. – 2010. № 6. – С. 163–165.
8. ГОСТ 27325-87 (СТ СЭВ 5091-85) Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения адгезии лакокрасочных покрытий. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 7 с.
9. ГОСТ 9624-2009 Древесина слоистая клееная. Метод определения прочности при скалывании. – М.: Стандартинформ, 2010. – 16 с.

Статья поступила в редакцию 24.12.13.

*УГРЮМОВ Сергей Алексеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств, Костромской государственной технологической университет (Российская Федерация, 156005, Кострома, ул. Дзержинского, 17). Область научных интересов – техника и технологии производства синтетических олигомеров, клеёных древесных материалов. Автор более 200 публикаций.

E-mail: ugr-s@yandex.ru

*СВЕШНИКОВ Александр Сергеевич* – инженер-проектировщик, ООО «Костромалеспроект» (Российская Федерация, 156601, Кострома, ул. Комсомольская, д. 4). Область научных интересов – производство древесных композиционных материалов. Автор 15 публикаций.

E-mail: mmarus@mail.ru

*UGRUMOV Sergey Alexeyevich* – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Chair of Timber Cutting and Processing Industries, Kostroma State University of Technology (17, Dzerzhinskogo st., Kostroma, 156005, Russian Federation). Research interests – techniques and technologies of production of synthetical oligomers, bounded wood products. The author of more than 200 publications.

E-mail: ugr-s@yandex.ru

*SVESHNIKOV Alexander Sergeevich* – planning engineer, LLC «Kostromalesproekt» (4, Komsomol'skaya st., Kostroma, 1566601, Russian Federation). Research interests – production of wood composite materials. The author of 15 publications.

E-mail: mmarus@mail.ru

*S. A. Ugrumov, A. S. Sveshnikov*

### EVALUATION OF ADHESION STRENGTH AND INTERPHASE INTERACTION IN PLYWOOD STRUCTURE WITH INTERNAL LAYERS OF WOOD-ADHESIVE COMPOSITION

**Key words:** *plywood; peeled veneer; wood-adhesive; adhesive strength; interphase interaction; plywood structure.*

#### ABSTRACT

**Introduction.** *Involvement in the production of wood composite materials waste of woodwork industries helps to reduce the cost of finished products and their effective utilization. It is advisable to use tarred wood particles of crushed waste concomitant plywood plant for manufacture of the inner layers of plywood. Assessment of adhesive strength and interphase interaction at the borders of phase interface (peeled veneer and wood-adhesive) in plywood structure is of practical interest. **The purpose of the work** is to estimate adhesion strength and interphase interaction at the borders of veneer sheets and wood-adhesive composition according to the structure of plywood. **Solvable tasks:** An estimate of the interphase interaction and adhesion strength of plywood with internal layers of wood adhesive composition depending on the package structure, the recommendation of a rational structure of plywood are the problems under consideration. **Methodology.** In the absence of a standard methodology for determining the adhesion strength and the value of interphase interaction of plywood with internal layers of wood-adhesive composition is taken as a basis for estimating the adhesion technique tearing strength veneers according to GOST (National standard) 27325 and method of determining the strength of chipping in accordance with GOST (National standard) 9624. **Experimental results.** Adhesive strength for the main schemes of plywood was determined experimentally by means of uniform avulsion of external and central veneers. The data show that in case of separation of the veneer sheets, cohesive in wood adhesive composition or mixed character of fracture are mainly observed. It indicates high interphase strength of the connection. Character of interphase interaction of liquid (binder) with the solid body (wood particles and veneer) on the border of their interaction depending on the structure of plywood was determined by cleaving at the contact boundary of the outer sheet veneer and an inner layer of wood-adhesive composition, as well as an inner layer of wood-adhesive composition and the central veneer sheet. Experimental results show that by chipping in adhesive layers, cohesive on wood adhesive composition or a mixed character of fracture, indicating interphase of high strength compound are observed. **Interpretation of the experimental results.** The maximum limit of tearing strength was observed in the samples of plywood № 2, № 3 with the presence of inner layer of veneer, so it is recommended to use them in critical structures. From the perspective of the technological process organization, simple packet assembly was observed in the schemes № 1 and № 4. **Conclusion.** High performance of adhesive tearing strength of veneer sheets and deep interphase interaction on the interface of the layers of veneer and layers of wood adhesive composition make it possible to make a conclusion about reliability and good bearing capacity of plywood with internal layers of wood-adhesive composition, which can be effectively used as a construction material in various fields.*



## References

1. Strelkova V.P., Novikova O.M. Linii maloy moshchnosti dlya proizvodstva plit i drugikh pressovannykh izdeliy iz drevesnykh i selskokhozyaystvennykh otkhodov [Low Power Lines for Plates Production and Other Moldings of Wood and Agricultural Wastes]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost [Wood Processing Industry]*. 1993. No 6. P. 21–22.
2. Ugrumov S. A. Organizatsionno-tekhnicheskoe obespechenie proizvodstva kompozitsionnykh materialov na osnove drevesnykh napolniteley i kostrylna: monografiya [Organizational and Technical Production Support of Composite Materials Based on Wood Fillers and Shoves: monograph]. Kostroma: KGTU, 2008. 147 p.
3. Ugrumov S.A., Smirnov A.A. Organizatsiya tekhnologicheskogo protsessa proizvodstva kompozitsionnoy fanery [Organization of Technological Process of Composite Plywood Production]. *Vestnik MGUL. Lesnoy Vestnik: nauchno-informatsionnyy zhurnal [Vestnik of MSFU. Forest Vestnik: academic and information journal]*. 2006. No 3. P. 123-126.
4. Ugrumov S.A., Borovkov E. A., Shcherbakov A. E. Razrabotka tekhnologicheskoy posledovatel'nosti proizvodstva kompozitsionnoy fanery [Development of Technological Order of Composite Plywood Production]. *Vestnik MGUL. Lesnoy Vestnik: nauchno-informatsionnyy zhurnal [Vestnik of MSFU. Forest Vestnik: academic and information journal]*. 2007. No 6. P. 120–123.
5. Berlin A.A., Basin V.E. Osnovy adgezii polimerov [Fundamentals of Polymers Adhesion]. Moscow: Khimiya Publ., 1974. 392 p.
6. Berlin A. A. Printsipy sozdaniya kompozitsionnykh polimernykh materialov [Principles of Manufacturing of Composite Polymer Materials]. Moscow: Khimiya Publ., 1990. 240 p.
7. Ugrumov S.A., Sveshnikov A.S. Kompleksnoe issledovanie svoystv kompozitsionnoy fanery [Complex Study of Composite Plywood Properties]. *Vestnik MGUL. Lesnoy Vestnik: nauchno-informatsionnyy zhurnal [Vestnik of MSFU. Forest Vestnik: academic and information journal]*. 2010. № 6. P. 163-165.
8. GOST 27325-87 (ST SEV 5091-85) Detali i izdeliya iz drevesiny i drevesnykh materialov. Metod opredeleniya adgezii lakokrasochnykh pokrytiy. [All Union State Standard 27325-87 (ST SEV 5091-85) Components and Goods of Wood and Woody Materials. Method for Adhesion Determination of Paints]. Moscow: Izdatelstvo standartov, 1987. 7 p.
9. GOST 9624-2009 Drevesina sloistaya kleenaya. Metod opredeleniya prochnosti pri skalyvanii. [All Union State Standard 9624-2009 Layed and Laminated Wood. Strength Test in Case of Chipping]. Moscow: Standartinform, 2010. 16 p.