

## Влияние строения и структуры древесины различных пород на расход клея при производстве фанеры

Д.С. Русаков<sup>1а</sup>, Г.С. Варанкина<sup>1б</sup>, А.Н. Чубинский<sup>1с</sup>, М.В. Степанищева<sup>2д</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, пер. Институтский, 5, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

<sup>а</sup> dima-ru25@mail.ru, <sup>б</sup> varagalina@yandex.ru, <sup>с</sup> a.n.chubinsky@gmail.com, <sup>д</sup> marina01031977@inbox.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4344-2779>,

<sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3470-5124>,

<sup>с</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7914-8056>,

<sup>д</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4867-3901>

Статья поступила 11.10.2019, принята 13.11.2019

*Изучение поверхностных свойств и строения древесины березы, осины, лиственницы на микроуровне представляет безусловный интерес для изучения взаимодействия древесины различных пород с водой, жидкими клеящими и защитно-декоративными веществами. Проведенные ранее экспериментальные исследования глубины проникновения клея в древесину и деформирования древесных клеток методом электронной микроскопии показали, что глубина проникновения клея в раннюю зону значительно больше, чем в позднюю. Это можно объяснить не только различием толщины стенок клеток, меньшим разрушением стенок поздней древесины, но и топографией полости клеток. Цель работы — исследование поверхностных свойств, строения и структуры древесины, а также сплошности и толщины клеевых соединений методами электронной и оптической микроскопии; исследование влияния строения и структуры древесины различных пород, шероховатости шпона и вязкости связующего на расход клея при производстве фанеры. Исследована поверхность полости клеток древесины березы, осины и лиственницы с помощью сканирующего атомно-силового микроскопа АСМ «СММ 2000» с использованием различных методик зондовой микроскопии, программное обеспечение которого позволяет определить основные параметры топографии поверхности. С полученного трехмерного изображения шпона с помощью программного комплекса iPhotoDraw v. 2.6 рассчитана фактическая площадь шпона с учетом его микроструктуры. Размеры структурных элементов древесины измеряли на снимках, полученных на оптическом и электронном сканирующем микроскопах, с целью определения характера их распределения и эффективного радиуса полостей. Анализ микроструктуры древесины позволяет предположить возможность применения теории фракталов для описания ее эффективных характеристик. Для оценки влияния исследуемых переменных факторов на расход клея был проведен эксперимент с использованием полного факторного плана. Исследованиями установлено, что практически весь нанесенный на шпон клей адсорбируется древесиной. Исходя из этого, понятие «клеевой слой» может быть определено как зона древесины, пропитанной клеем. Область древесины, пропитанной клеем, деформируется в большей степени, чем непропитанная. Глубина проникновения клея в раннюю зону значительно больше, чем в позднюю. Это объясняется не только различной толщиной стенок клеток, но и меньшим их разрушением в процессе лущения у поздней древесины. В среднем клей проникает в шпон на глубину 0,06–0,16 мм, толщина деформированной зоны составляет 0,08–0,6 мм. Результаты экспериментальных исследований показали, что некоторые наружные клетки листов шпона открыты и не заполнены клеем — вероятно, в них может быть расположена парогазовая смесь. Экспериментальная оптимизация методом крутого восхождения выявила входящие параметры функции, при которых выходной параметр — расход клея — был минимальным.*

**Ключевые слова:** строение древесины; структура древесины; поверхностные свойства древесины; шероховатость шпона; электронная микроскопия; оптическая микроскопия; карбамидоформальдегидная смола; вязкость клея; расход клея.

## The influence of the structure and texture of wood of various species on the consumption of glue in the production of plywood

D.S. Rusakov<sup>1а</sup>, G.S. Varankina<sup>1б</sup>, A.N. Chubinsky<sup>1с</sup>, M.V. Stepanishcheva<sup>2д</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>а</sup> dima-ru25@mail.ru, <sup>б</sup> varagalina@yandex.ru, <sup>с</sup> a.n.chubinsky@gmail.com, <sup>д</sup> marina01031977@inbox.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4344-2779>,

<sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3470-5124>,

<sup>с</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7914-8056>,

<sup>д</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4867-3901>

Received 11.10.2019, accepted 13.11.2019

*Studying the surface properties and structure of birch, aspen, and larch wood at the micro level is of undoubted interest for studying the interaction of wood of various species with water, liquid adhesives, and protective and decorative substances. Previous experimental studies of the depth of penetration of glue into wood and deformation of wood cells by electron microscopy showed that the depth of penetration of glue into the early zone is much greater than in the late one. This can be explained not only by the difference in cell wall thickness, lesser destruction of the late wood walls, but also by the topography of the cell cavity. The aim of the research is to study the surface properties, texture and structure of wood, as well as the continuity and thickness of adhesive joints by electron and optical microscopy; study the influence of the texture and structure of wood of various species, the roughness of veneer and the viscosity of the binder on the consumption of glue in the production of plywood. The surface of the cell cavity of birch wood, aspen and larch was studied using an AFM "SMM 2000" scanning atomic force microscope using various probe microscopy techniques, the software of which allows one to determine the basic parameters of the surface topography. From the obtained three-dimensional image of the veneer using the iPhotoDraw version 2.6 software package, the actual veneer area was calculated taking into account its microstructure. The sizes of the structural elements of wood were measured on images taken with optical and electronic scanning microscopes in order to determine the nature of their distribution and the effective radius of the cavities. Analysis of the microstructure of wood suggests the possibility of using the theory of fractals to describe its effective characteristics. To assess the influence of the studied variable factors on the glue consumption, an experiment was conducted using the full factorial design. The research has found that almost all adhesive applied to veneers is absorbed by wood. On this basis, the concept of "adhesive layer" can be defined as a zone of wood impregnated with glue. The area of wood impregnated with glue is deformed to a greater extent than non-impregnated. The depth of penetration of the adhesive in the early zone is much greater than in the late. This is explained not only by the different thickness of the cell walls, but also by their smaller destruction in the process of peeling in late wood. On average, the adhesive penetrates the veneer to a depth of 0.06 - 0.16 mm, the thickness of the deformed zone is 0.08 - 0.6 mm. The results of experimental studies have shown that some of the outer cells of the veneer sheets are open and not filled with glue - it is likely that a gas-vapor mixture can be located in them. Experimental optimization by the steep climb method revealed the input parameters of the function, at which the output parameter - glue consumption - was minimal.*

**Keywords:** wood texture; wood structure; surface properties of wood; veneer roughness; electron microscopy; optical microscopy; urea-formaldehyde resin; adhesive viscosity; adhesive consumption.

**Введение.** Режим склеивания характеризуется такими параметрами, как состояние применяемого клея, расход клея, наносимого на склеиваемые поверхности, топография склеиваемых поверхностей, температура склеивания, давление на склеиваемый материал, продолжительность выдержки склеиваемого материала под давлением, продолжительность выдержки склеенного материала после освобождения из пресса [1–3]. Для получения прочного клеевого соединения необходимо добиваться хорошего смачивания древесины клеем и образования тонкого, однородного по толщине и сплошного клеевого слоя, в котором отсутствуют или были бы сведены к минимуму внутренние напряжения.

В рамках данного исследования рассматривались основные факторы, это состояние применяемого клея, расход клея, наносимого на склеиваемые поверхности, и топография склеиваемой поверхности.

Состояние клея определяется его концентрацией, вязкостью и температурой. Для получения сплошного (непористого) клеевого слоя, имеющего высокую когезионную прочность, из него предварительно должен быть удален растворитель. При склеивании древесины, являющейся капиллярно-пористым материалом, часть содержащегося в клее растворителя поглощается древесиной, а некоторая часть испаряется в атмосферу во время открытой выдержки. Количество поглощаемого древесиной растворителя зависит от начальной концентрации клея, оказывая заметное влияние на качество продукции.

Одна из характеристик клея — его вязкость, оказывающая существенное влияние на качество клеевого соединения. Известно, что от начального значения вязкости клея зависят: а) способность клея смачивать склеиваемые поверхности и растекаться по ним; б) степень поглощения древесиной воды, содержащейся в клее; в) скорость отверждения клея. Если смачивание недостаточное, то между клеем и древесиной могут остаться пустоты, микрополости, уменьшающие площадь контак-

та, вследствие чего не образуется сплошного клеевого слоя и понижается прочность клеевого соединения. Эти места служат также очагами концентрации напряжений, ослабляющих прочность клеевого соединения. С этой точки зрения целесообразно применение клеев высокой вязкости. Однако при необходимости уменьшения поглощения древесиной воды, содержащейся в клее, надо применять более вязкие клеи, кроме того, поскольку вязкость клея есть функция глубины его поликонденсации, т. е. молекулярной массы, продолжительность отверждения клея тем меньше, чем выше его вязкость. В клеевых растворах после приготовления продолжают процессы поликонденсации и происходит нарастание вязкости. Следовательно, применение высоковязких клеев создает возможность некоторого ускорения процесса склеивания или, например, снижения температуры плит пресса при склеивании толстых листовых материалов, что способствует уменьшению перепадов температуры по толщине и тем самым повышению качества склеивания. Все указанные обстоятельства требуют выбора такого клея, который имеет приемлемую для производства вязкость. После соединения склеиваемых поверхностей процесс нарастания вязкости клея продолжается, но протекает он со значительно меньшей интенсивностью, только за счет поглощения древесиной воды, содержащейся в клее.

Расход клея оказывает существенное влияние на качество клеевого соединения. При малом расходе клеевой слой может быть прерывистым, и перенос клея на вторую поверхность неполным, что неизбежно снизит прочность клеевого соединения. При явно увеличенном расходе клея образуется утолщенный клеевой слой, в котором могут возникать значительные внутренние напряжения, являющиеся причиной образования микротрещин. Приемлемый для производства расход клея определяется состоянием склеиваемых поверхностей, вязкостью клея и температурой, при которой ведется склеивание, а также анатомическим строением древесины. Мягкие пористые породы древесины требуют увеличения количества наносимого клея. При нанесении клея на поверхности, имеющие большие микронеровно-

сти, также требуется увеличивать его расход. Наконец, с повышением температуры, при которой производится склеивание, расход клея может быть меньшим, так как снижается вязкость клея и улучшается смачивание древесины. В зависимости от конкретных условий склеивания, расход клея при производстве фанеры следующий: для меламино-, карбамидо-, резорцино- и фенолоформальдегидных клеев — 90–130 г/м<sup>2</sup>.

Изучение поверхностных свойств [4–19] и строения древесины березы, осины, лиственницы на микроуровне представляет безусловный интерес для изучения взаимодействия древесины различных пород с водой, жидкими клеящими и защитно-декоративными веществами. Проведенные ранее экспериментальные исследования глубины проникновения клея в древесину [2; 4; 7; 8–10] и деформирования древесных клеток методом электронной микроскопии показали, что глубина проникновения клея в раннюю зону значительно больше, чем в позднюю. Это можно объяснить не только различием толщины стенок клеток, меньшим разрушением стенок поздней древесины, но и топографией полости клеток.

**Цель работы:** 1) исследование поверхностных свойств, строения и структуры древесины, а также сплошности и толщины клеевых соединений методами электронной и оптической микроскопии; 2) исследование влияния строения и структуры древесины различных пород, шероховатости шпона и вязкости связующего на расход клея при производстве фанеры.

**Методика проведения исследований.** Исследована поверхность полости клеток древесины березы, осины и лиственницы с помощью сканирующего атомно-силового микроскопа АСМ «СММ 2000» (рис. 1) с использованием различных методик зондовой микроскопии, программное обеспечение которого позволяет определить основные параметры топографии поверхности.

Принцип действия микроскопа (рис. 2) основан на квантовом эффекте туннелирования электронов через узкий потенциальный барьер между исследуемой проводящей поверхностью образца и острием микрозонда.

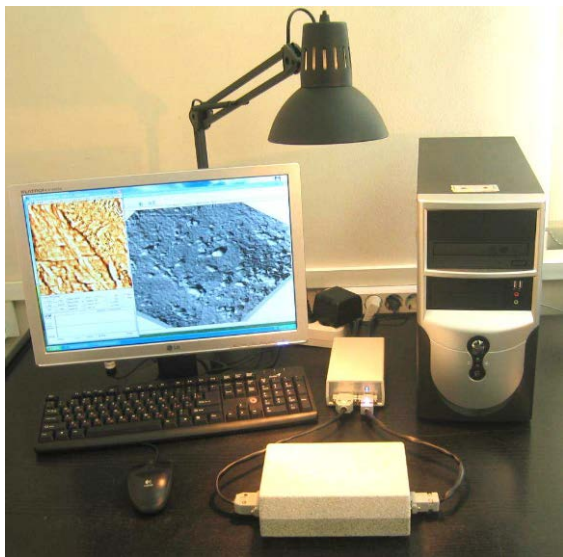


Рис. 1. Микроскоп сканирующий зондовый «СММ-2000», общий вид

Детектируя туннельный ток, протекающий при постоянном электрическом смещении между микрозондом и образцом, получают информацию о топографии проводящей поверхности в атомном масштабе. Поддерживая с помощью обратной связи постоянную силу взаимодействия между микрозондом и поверхностью образца, регистрируют положение острия микрозонда, что позволяет получить трехмерное изображение топографии поверхности.

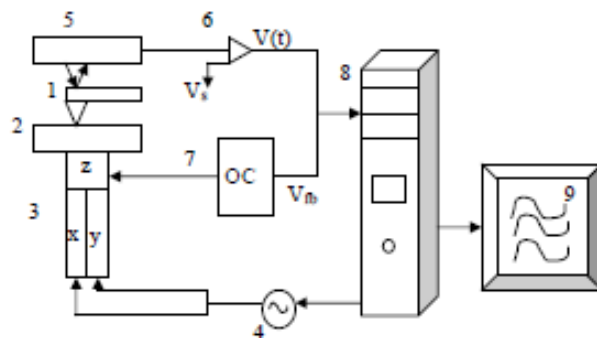


Рис. 2. Общая схема сканирующего зондового микроскопа: 1 — зонд; 2 — образец; 3 — пьезоэлектрические двигатели  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ; 4 — генератор напряжения развертки на  $x$ ,  $y$  пьезокерамики; 5 — электронный сенсор; 6 — компаратор; 7 — электронная цепь обратной связи; 8 — компьютер; 9 — изображение поверхности образца  $Z(x,y)$

Микроскоп, работая в режимах сканирующего атомно-силового или сканирующего туннельного микроскопа, позволяют дополнительно воздействовать зондом на поверхность и снимать дополнительные сигналы взаимодействия зонда и поверхности, в том числе за счет подключения оператором различных внешних приборов, отражая при этом не только геометрические, но и физические параметры поверхности объекта.

С полученного трехмерного изображения шпона с помощью программного комплекса iPhotoDraw v. 2.6 рассчитана фактическая площадь шпона с учетом его микроструктуры.

Размеры структурных элементов древесины измеряли на снимках, полученных на оптическом и электронном сканирующем микроскопах, с целью определения характера их распределения и эффективного радиуса полостей. Анализ микроструктуры древесины позволяет предположить возможность применения теории фракталов для описания ее эффективных характеристик [4; 9].

Известно, что фракталы обнаруживаются в структуре твердых тел [4; 9]; так, самоподобие характерно и для строения древесины (см. рис. 3).

Для оценки влияния исследуемых переменных факторов на расход клея был проведен эксперимент с использованием полного факторного плана ПФЭ 2<sup>3</sup> [3; 20].

Входные параметры: шероховатость шпона ( $\mu\text{км}$ ), определяли на микроскопе ТСП-4М по ГОСТ 7016-2013); эффективный размер проводящей полости древесины сосны ( $\mu\text{км}$ ); условная вязкость клея ( $\text{сек}$ ), определяли на вискозиметре ВЗ-246 по ГОСТ 8420-74).

Выходные параметры (показатели качества): расход клея ( $\text{г/м}^2$ , определяли ГОСТ 14231-88).

Постоянные факторы представлены в табл. 1, исследуемые переменные факторы — в табл. 2.

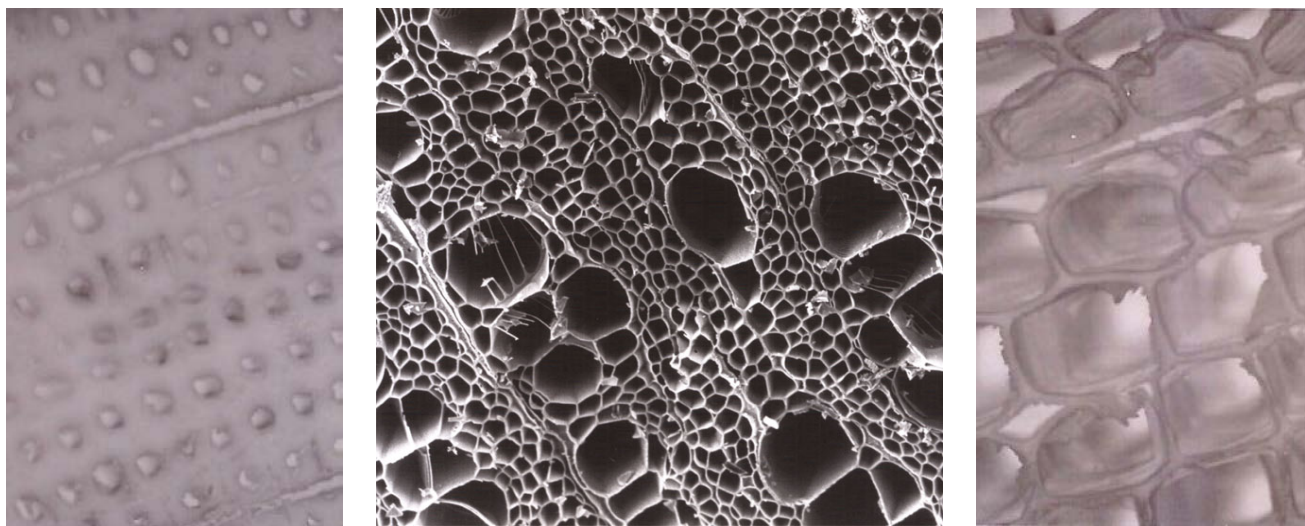


Рис. 3. Микрофотографии древесины лиственницы, полученные на сканирующем электронном микроскопе [11]

Таблица 1

*Постоянные факторы эксперимента*

Наименование фактора	Единица измерения	Значение
Порода шпона	–	сосна
Температура окружающей среды	°С	20
Температура смолы	°С	20
Марка смолы	–	КФ-МТ-15 (ТУ-6-06-12-88)

Таблица 2

*Переменные факторы эксперимента и уровни их варьирования*

Наименование фактора	Интервал варьирования	Уровни варьирования		
		нижний	средний	верхний
Шероховатость шпона, мкм	10	220	230	240
Эффективный размер проводящей полости древесины сосны, мкм	2	38	40	42
Условная вязкость клея, с	5	75	80	85

**Результаты исследований и их анализ.** Полученный расчетный эффективный размер проводящей полости древесины сосны равен 30 мкм, что хорошо согласуется с экспериментальными данными [4; 7; 9; 10]; ширина полостей, в которые проникает клей, находится в диапазоне от 24 до 43 мкм (рис. 4, 5).

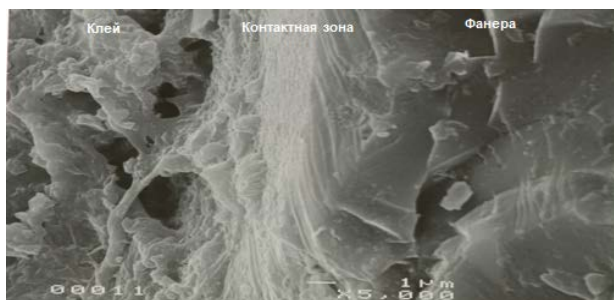


Рис. 4. Изображение клеевого соединения соснового шпона на карбамидоформальдегидном клее, полученное на сканирующем зондовом микроскопе «СММ-2000»

Проникновение клея в поверхностные полости древесины (рис. 4, 5) и его последующее отверждение,

изменяя деформации и поверхностную пористость древесины, не оказывают существенного влияния на характер распределения размеров проводящих полостей древесины. Отдельные древесные клетки, расположенные в пропитанной клеем зоне и около нее, имеющие повышенную влажность, сильно деформированы. Отдаленные от этой зоны клетки, как правило, вообще не меняют форму и размеры.

Проникновение клея в поверхностные полости древесины (рис. 4, 5) и его последующее отверждение, изменяя деформации и поверхностную пористость древесины, не оказывают существенного влияния на характер распределения размеров проводящих полостей древесины. Отдельные древесные клетки, расположенные в пропитанной клеем зоне и около нее, имеющие повышенную влажность, сильно деформированы. Отдаленные от этой зоны клетки, как правило, вообще не меняют форму и размеры.

На прочность клеевого соединения в исследуемом диапазоне толщина клеевого слоя существенного влияния не оказывает. Прочность преимущественно зависит от площади контакта связующего с древесиной, глуби-

ны проникновения клея в древесину и природы самого клея [1; 4; 7; 9; 10].

Клеевое соединение условно можно разделить на клеевой слой и зону древесины, пропитанную клеем, что доказывается анализом объемных моделей клеевого соединения. Зона древесины, пропитанная клеем, представляет собой вскрытые сосуды, полости трахеид, волокон либриформа, в которые проник клей [4; 7; 9; 10].

По результатам съемки и реконструкции объектов были произведены замеры толщины клеевого соединения. Толщина клеевого соединения на карбамидоформальдегидном клее составляет 0,046–0,079 мм.

Полученное с помощью программного комплекса iPhoto Draw v. 2.6 трехмерное изображение позволило рассчитать фактическую площадь единичной поверхности полости клетки (рис. 5).

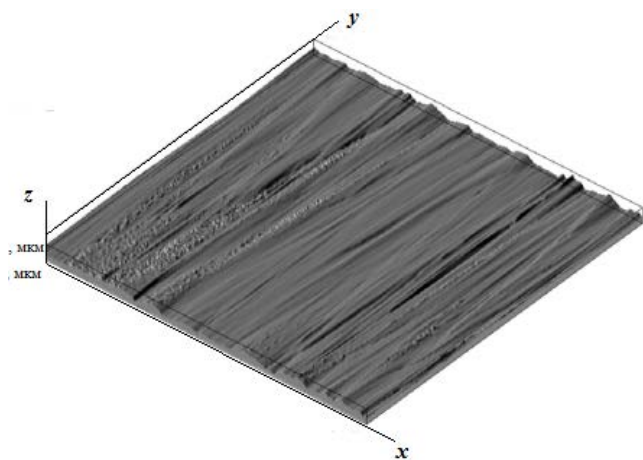


Рис. 5. Трехмерное изображение шпона из древесины ливенницы

Трехмерное изображение позволяет в более наглядной форме оценить характерные особенности шероховатости поверхности и, как следствие, фактическую площадь контакта клея со шпоном. Установлено, что для березового шпона с учетом его микроструктуры фактический расход клея необходимо увеличить на 25–35 %.

На следующем этапе для исследования влияния строения и структуры древесины породы сосна на расход карбамидоформальдегидного клея проведен эксперимент ПФЭ  $2^3$  и поиск оптимальных параметров режима склеивания.

Экспериментальную оптимизацию исследуемого процесса проводили методом крутого восхождения, который основан на градиентном методе поиска экстремума. Параметром оптимизации являлся расход карбамидоформальдегидного клея  $y$ , г/м<sup>2</sup>, значение которого минимизировалось.

В качестве центра плана первой серии опытов выбрана точка:  $X_1^{(0)} = 230$  мкм;  $X_2^{(0)} = 40$  мкм;  $X_3^{(0)} = 80$  с. Интервалы варьирования факторов:  $\Delta_1 = 10$  мкм;  $\Delta_2 = 2$  мкм;  $\Delta_3 = 5$  с. В первой серии был реализован ПФЭ  $2^3$ .

Уравнение регрессии по первой серии опытов имеет вид (1):

$$y = 143,4 + 1,88 x_1 + 1,38 x_2 + 2,1 x_3. \quad (1)$$

Далее планируются опыты крутого восхождения, учитывая, что отыскивается минимальное значение параметра оптимизации, значения факторов в этих

опытах получают последовательным вычислением значений шага из основного уровня факторов. Все запланированные опыты крутого восхождения были последовательно реализованы. Лучшим из поставленных опытов является 11-й опыт, который был принят за центр нового плана. В новой серии опытов сохранены те же интервалы варьирования факторов, по результатам реализации ПФЭ  $2^3$  (опыты 13–20), получена линейная модель (2):

$$y = 130,5 + 2,5 x_1 + 0,75 x_2 + 2,25 x_3. \quad (2)$$

В результате экспериментального нахождения экстремума исследуемой функции признаны оптимальными условия проведения 22-го опыта при минимальном расходе клея — 120 г/м<sup>2</sup>: шероховатость шпона — 175 мкм, эффективный размер проводящей полости древесины сосны — 33,8 мкм, условная вязкость клея — 61,6 с.

**Заключение.** Исследованиями установлено, что практически весь нанесенный на шпон клей адсорбируется древесиной. Исходя из этого, понятие «клеевой слой» может быть определено как зона древесины, пропитанной клеем.

Область древесины, пропитанной клеем, деформируется в большей степени, чем непропитанная. Глубина проникновения клея в раннюю зону значительно больше, чем в позднюю. Это объясняется не только различной толщиной стенок клеток, но и меньшим их разрушением в процессе лущения у поздней древесины. В среднем клей проникает в шпон на глубину 0,06–0,16 мм, толщина деформированной зоны составляет 0,08–0,6 мм.

Результаты экспериментальных исследований показали, что некоторые наружные клетки листов шпона открыты и не заполнены клеем — вероятно, в них может быть расположена парогазовая смесь.

Экспериментальная оптимизация методом крутого восхождения выявила входящие параметры функции, при которых выходной параметр — расход клея — был минимальным.

#### Литература

1. Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Формирование низкотоксичных клеевых древесных материалов: моногр. СПб.: Химиздат, 2014. 148 с.
2. Чубинский А.Н. Формирование клеевых соединений древесины. СПб.: СПбГУ, 1992. 164 с.
3. Чубинский А.Н., Сергеевичев В.В. Моделирование процессов склеивания древесных материалов. СПб.: Изд. дом «Герда», 2007. 176 с.
4. Коваленко И.В., Чубинский М.А., Русаков Д.С., Варанкина Г.С. Поверхностные свойства и строение древесины осины // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. 2016. Вып. 217. С. 182–193.
5. Русаков Д.С., Иванов А.М., Чубинский М.А., Варанкина Г.С. Исследование критического поверхностного натяжения и способности смачиваться древесины разных пород // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. 2017. Вып. 221. С. 271–281.
6. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Федяев А.А. Влияние строения и свойств древесины на прочность ее склеивания / СПбГЛТА // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. СПб., 2010. С. 155–163.
7. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Варанкина Г.С., Федяев А.А., Чубинский М.А., Швец В.Л., Чаузов К.В. Физические методы испытаний древесины. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 25 с.

8. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Чаузов К.В., Кульков А.М. Исследование клеевых соединений древесины // Лесной вестник МГУЛ. 2016. № 2(109). С.120–125.
9. Чубинский А.Н., Русаков Д.С., Чубинский М.А., Варанкина Г.С. Влияние строения древесины на качество склеивания / СО РАН // Строение, свойства и качество древесины – 2018: материалы VI Междунар. симпозиума им. Б.Н. Уголева, посвящ. 50-летию Регион. Координац. совета по современным проблемам древиноведения. М., 2018. С. 212–215.
10. Chubinsky A.N., Okuma M., Sugiyama J. Observation on the deformation of wood cells in the gluing process of veneer. Bulletin of the Tokyo University Forests. 1990. Vol. 82, № 2. P. 131–135.
11. Chauzov K., Varankina G. Investigation on gluing Larch Wood by modified. glue. Development and modernization of production // International conference on production engineering. Budva, Crna Gora: Bihac University. 2013. P. 737–743.
12. Chubov A., Tsarev G., Matyushenkova E. Excusive wood protection // Russian Forestry Review. 2008. № 3. P. 79.
13. Hse Chung – Yun. Wettability of Southern Pine Veneer by phenol Formaldehyde wood adhesives // Forest Products Journal. 1972. № 22 (1). P. 51–56.
14. Nguen T., Johns W.E. The Effects of Aging and Extraction on the Surface Free Energy of Douglas Fir and Redwood // Wood Science and Technology. 1979. № 13. P. 29–40.
15. Matyushenkova E. The wood protection technique in Russia // Russian Forestry Review. 2008. № 3. P. 76–78.
16. Otten A., Elpel D., Ermatschenko N. Klebstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen // Coating. 2007. 40, № 8. P. 28–32.
17. Goto N., Saiki H. Studies on Wood Gluing. XIII: Gluability and Scanning Electron Microscopic Study of wood – Polypropylene Bonding // Wood Science and technology. 1982. № 16(4). P. 21–31.
18. Jokel J., Pavlikova M.V. Ply v Vikosti na Obsah Volnych Radikalov v dreve // Drevarsky Vyskum. 1979. № 24(4). P. 11–22.
19. Uguina Maria A., Sotelo Jose L. Roles of ZSM-5 modifier agents in selective toluene disproportionation // Can. J. Chem. Eng. 1993. Vol. 71, № 4. P. 558.
5. Rusakov D.S., Ivanov A.M., Chubinskij M.A., Varankina G.S. The study of critical surface tension and the ability to wet wood of different species // Izvestia SPbLTA. 2017. Vyp. 221. P. 271–281.
6. Chubinskij A.N., Tambi A.A., Fedyaev A.A. The influence of the structure and properties of wood on the strength of its bonding / SPbGLTA // Izv. S.-Peterb. lesotekhn. akad. SPb., 2010 P. 155–163.
7. Chubinskij A.N., Tambi A.A., Varankina G.S., Fedyaev A.A., Chubinskij M.A., Shvec V.L., Chauzov K.V. Physical methods for testing wood. SPb.: SPbGLTU, 2015. 25 p.
8. Chubinskij A.N., Tambi A.A., Chauzov K.V., Kul'kov A.M. The study of adhesive wood compounds // Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2016. № 2 (109). P. 120–125.
9. Chubinskij A.N., Rusakov D.S., Chubinskij M.A., Varankina G.S. The influence of the structure of wood on the quality of bonding / SO RAN // Stroenie, svojstva i kachestvo drevesiny - 2018: materialy VI Mezhdunar. simpoziuma im. B.N. Ugoleva, posvyashch. 50-letiyu Region. Koordinac. soveta po sovremennym problemam drevesinovedeniya. M., 2018. P. 212–215.
10. Chubinsky A.N., Okuma M., Sugiyama J. Observation on the deformation of wood cells in the gluing process of veneer. Bulletin of the Tokyo University Forests. 1990. Vol. 82, № 2. P. 131–135.
11. Chauzov K., Varankina G. Investigation on gluing Larch Wood by modified. glue. Development and modernization of production // International conference on production engineering. Budva, Crna Gora: Bihac University. 2013. P. 737–743.
12. Chubov A., Tsarev G., Matyushenkova E. Excusive wood protection // Russian Forestry Review. 2008. № 3. P. 79.
13. Hse Chung - Yun. Wettability of Southern Pine Veneer by phenol Formaldehyde wood adhesives // Forest Products Journal. 1972. № 22(1). P. 51–56.
14. Nguen T., Johns W.E. The Effects of Aging and Extraction on the Surface Free Energy of Douglas Fir and Redwood // Wood Science and Technology. 1979. № 13. P. 29–40.
15. Matyushenkova E. The wood protection technique in Russia // Russian Forestry Review. 2008. № 3. P. 76–78.
16. Otten A., Elpel D., Ermatschenko N. Klebstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen // Coating. 2007. 40, № 8. P. 28–32.
17. Goto N., Saiki H. Studies on Wood Gluing. XIII: Gluability and Scanning Electron Microscopic Study of wood - Polypropylene Bonding // Wood Science and technology. 1982. № 16(4). P. 21–31.
18. Jokel J., Pavlikova M.V. Ply v Vikosti na Obsah Volnych Radikalov v dreve // Drevarsky Vyskum. 1979. № 24(4). P. 11–22.
19. Uguina Maria A., Sotelo Jose L. Roles of ZSM-5 modifier agents in selective toluene disproportionation // Can. J. Chem. Eng. 1993. Vol. 71, № 4. P. 558.

#### References

1. Varankina G.S., Chubinskij A.N. The formation of low toxiced glued wood materials: monogr. SPb.: Himizdat, 2014. 148 p.
2. Chubinskij A.N. The formation of glued joints of wood. SPb.: SPbGU, 1992. 164 p.
3. Chubinskij A.N., Sergeevichev V.V. Modeling of gluing processes of wood materials. SPb.: Izd. dom «Gerda», 2007. 176 p.
4. Kovalenko I.V., Chubinskij M.A., Rusakov D.S., Varankina G.S. Surface properties and structure of aspen wood // Izvestia SPbLTA. 2016. Vyp. 217. P. 182–193.