

**Е.Г. Соколова**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КЛЕЕВЫХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ МЕЛАМИНОКАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ**

*Введение.* Изготовление многих материалов и изделий из древесины производится с применением технологической операции склеивания. При этом на результат этой технологической операции оказывают влияние характеристики клеевого состава, древесины и внешние факторы.

При изготовлении водостойкого материала необходимо применять для склеивания смолу с соответствующими показателями, например, меламинокарбаминоформальдегидную смолу с содержанием меламина 20% (МКФС) [Кондратьев, 2015; Кондратьев и др., 2003, 2010, 2011; Соколова, 2017; Соколова, 2018]. Для целенаправленного влияния на эксплуатационные качества продукции можно использовать различные модифицирующие добавки [Варанкина и др., 2013, 2014, 2015, 2016, 2017; Русаков, 2016; Русаков и др., 2017, 2019; Иванов и др., 2017; Чубинский и др., 2011, 2012, 2013; Кондратьев, 2015; Угрюмов, 2015, 2016, 2017; Ugolev, 2014].

Нанесение клеевого состава на поверхность шпона при склеивании фанеры производят в воздушной среде. Поэтому в формировании клеевого слоя на поверхности шпона участвуют три компонента: подложка, клеевой состав и воздушная среда. Характер взаимодействия данных компонентов определяется силами взаимного притяжения молекул разных составляющих, формируются связи адгезии между клеевым составом и подложкой. При нанесении клеевого состава на поверхность шпона форма свободной поверхности жидкости зависит от соотношения сил поверхностного натяжения на границе раздела фаз, от межмолекулярного взаимодействия клеевого состава с поверхностью шпона. Для разрушения системы взаимного притяжения клеевого слоя и поверхности подложки необходимо преодолеть силу, затратив работу (работу адгезии).

Цель работы – изучение механизма и основных закономерностей взаимодействия клеевого состава и поверхности шпона в процессе нанесения. Это позволит правильно подобрать количество и вид модификаторов, скорректировав основные характеристики клеевого состава и поверхности шпона при формировании клеевого соединения.

*Методика исследования.* Для оценки работы адгезии и закономерностей смачивания и растекания были использованы меламинакарбаминоформальдегидная смола и модификаторы: аэросил технический, доломитовая мука и лигносульфонаты технические (ЛСТ). В качестве подложки был выбран березовый шпон. Оценку смачивания и поверхностного натяжения производили по стандартной методике [Чубинский и др., 2016]. По найденным краевым углам и поверхностным натяжениям расчетно-графическим методом определяли критическое поверхностное натяжение.

Работа адгезии клеевой композиции с поверхностью древесины определяется по формуле:

$$W_a = \sigma_{\text{тр}} + \sigma_{\text{жг}} - \sigma_{\text{жт}}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\text{тр}}$  – поверхностное натяжение подложки на границе с воздухом;  $\sigma_{\text{жг}}$  – поверхностное натяжение клеевого состава на границе с воздухом;  $\sigma_{\text{жт}}$  – поверхностное натяжение подложки на границе с клеевым составом.

При анализе данного выражения установлено, что при контакте клеевой композиции с древесиной свободная поверхностная энергия равна поверхностному натяжению подложки на границе с клеевым составом. А при разрыве связи между подложкой и клеевым составом она составляет сумму значений поверхностного натяжения подложки и поверхностного натяжения клеевого состава на границе с воздухом. Работа адгезии может быть представлена в виде выражения, при условии равновесия системы, с учетом уравнения Юнга:

$$W_a = \sigma_{\text{жт}} \cdot (1 + \cos \theta), \quad (2)$$

где  $\theta$  – краевой угол смачивания.

Выражение зависимости косинуса краевого угла от поверхностного натяжения имеет вид:

$$\cos \theta = 1 - b \cdot (\sigma_{\text{жг}} - \sigma_{\text{кр}}), \quad (3)$$

где  $b$  – коэффициент равный тангенсу угла наклона зависимости  $\cos \theta = f(\sigma_{\text{жг}})$ ;  $\sigma_{\text{кр}}$  – критическое поверхностное натяжение.

Если подставить данную зависимость в выражение работы адгезии, получаем:

$$W_a = (2 + b \cdot \sigma_{\text{кр}}) \cdot \sigma_{\text{жг}} - b \cdot \sigma_{\text{жг}}^2. \quad (4)$$

При использовании клеевого состава с поверхностным натяжением равным:

$$\sigma_{\text{жг}} = \frac{1}{b} + \frac{1}{2} \cdot \sigma_{\text{кр}}, \quad (5)$$

выражение, описывающее максимальную работу адгезии, принимает вид:

$$W_a = \frac{1}{b} + \sigma_{\text{кр}} + \frac{1}{4} b \cdot \sigma_{\text{кр}}^2. \quad (6)$$

Используя данные закономерности, определяли количественную оценку работы адгезии.

*Результаты исследования.* Степень смачивания шпона клеевым составом характеризуется краевым углом. С уменьшением поверхностного натяжения подложки и поверхностного натяжения клеевого состава на границе с воздухом уменьшается и угол смачивания с одновременным улучшением условия растекания. Смачивающая способность клеевого состава определяется адгезионным взаимодействием всех составляющих. Но процесс смачивания зависит и от силы межмолекулярного взаимодействия внутри клеевого состава, от сил когезии.

Значения краевых углов и поверхностных натяжений клеевых составов представлены в табл. 1. Полученные данные были использованы для построения зависимостей косинуса краевого угла от поверхностного натяжения (рис. 1, 2, 3). Графически определены значения критических поверхностных натяжений и коэффициенты для расчета работы адгезии, полученные результаты представлены в табл. 1. Установлены уравнения работы адгезии для исследуемых клеевых составов (табл. 2).

Таблица 1

**Показатели краевых углов и поверхностных натяжений клеевых составов с разными модификаторами**

**Indicators of edge angles and surface tensions of adhesive joints with different modifiers**

Содержание модификатора, масс. ч.	Краевой угол, °	Поверхностное натяжение, мН/м	Критическое поверхностное натяжение, мН/м	Работа адгезии, мДЖ/м <sup>2</sup>
МКФС + аэросил технический				
5	64, 67, 69	71, 75, 79	14	34,583
10	70, 72, 75		8	16,571
15	73, 76, 78		4	8,187
МКФС + доломитовая мука				
5	68, 69, 73	71, 75, 79	10	21,186
10	73, 75, 78		6	12,002
15	78, 80, 82		2	5,410
МКФС + ЛСТ				
5	67, 70, 72	71, 75, 79	12	26,750
10	73, 75, 78		7	14,055
15	77, 79, 81		3	6,815



Рис. 1. Зависимость косинусов краевых углов от поверхностного натяжения клеевой композиции на основе МКФС и аэросила технического

Fig. 1. Dependence of the cosines of the contact angles on the surface tension of the adhesive composition based on melamine-urea-formaldehyde resin and technical aerosil

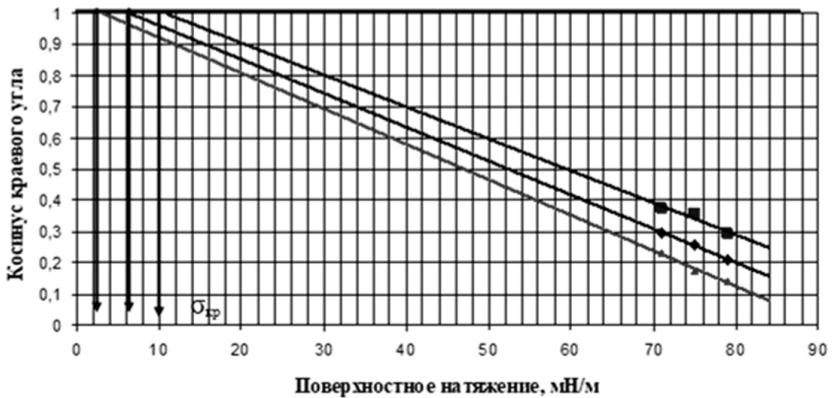


Рис. 2. Зависимость косинусов краевых углов от поверхностного натяжения клеевой композиции на основе МКФС и доломитовой муки

Fig. 2. Dependence of the cosines of the contact angles on the surface tension of the adhesive composition based on melamine-urea-formaldehyde resin and dolomite flour

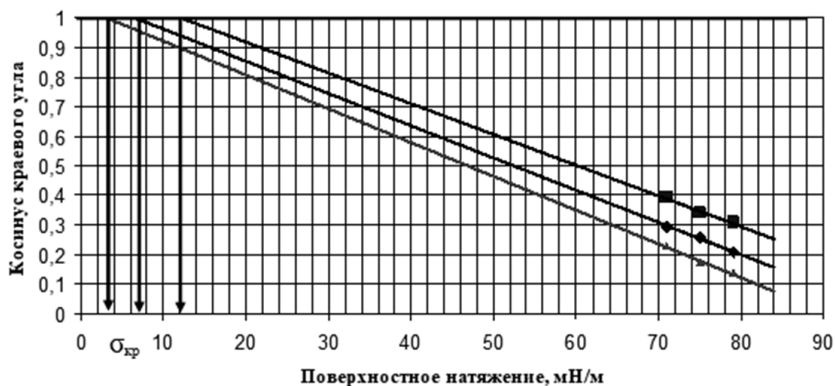


Рис. 3. Зависимость косинусов краевых углов от поверхностного натяжения клеевой композиции на основе МКФС и ЛСТ

Fig. 3. Dependence of the cosines of the contact angles on the surface tension of the adhesive composition based on melamine-urea-formaldehyde resin and technical lignosulfonates

Характер взаимодействия разных клеевых составов с подложкой можно проанализировать с помощью значений критического поверхностного натяжения. Значения критического поверхностного натяжения показывают предельное значение смачивания. Чем меньше критическое поверхностное натяжение, тем хуже смачивающая способность. Если сравнивать клеевые составы с одинаковым процентным соотношением введенного модификатора, то лучшая смачивающая способность наблюдается при использовании клеевого состава с аэросилом техническим.

Вязкость и толщина наносимого слоя оказывают влияние на скорость растекания клеевого состава по подложке. Изменение вязкости будет влиять на значения краевых углов. С уменьшением краевых углов будет увеличиваться скорость растекания. Однако низкие значения краевых углов приводят к увеличению впитывания клеевых составов в поверхность шпона. Это явление также будет оказывать влияние на показатели работы адгезии.

Зависимости работы адгезии от поверхностных натяжений клеевых составов представлены на рис. 4.

Обоснованный выбор клеевого состава необходимо производить на основании максимальных значений работы адгезии в диапазоне не выше критических значений поверхностного натяжения. Выше данных значений явления растекания и смачивания наблюдаться не будут. Максимальное

значение работы адгезии получено при использовании клеевого состава с аэросилом техническим. Для получения максимальной работы адгезии необходимо обоснованно контролировать показатели клеевых составов: поверхностного натяжения, краевого угла смачивания. Полученные закономерности, уравнения работы адгезии позволяют рационально подобрать параметры клеевых материалов.

Таблица 2

**Уравнения работы адгезии**

**Adhesion work equations**

Содержание модификатора	Уравнение работы адгезии	Поверхностное натяжение, необходимое для достижения максимальной работы адгезии, МДж/м <sup>2</sup>
МКФС + аэросил технический		
5	$W_a = 7,096 \cdot \sigma_{ж} - 0,364 \cdot \sigma_{ж}^2$	9,747
10	$W_a = 4,912 \cdot \sigma_{ж} - 0,364 \cdot \sigma_{ж}^2$	6,747
15	$W_a = 3,456 \cdot \sigma_{ж} - 0,364 \cdot \sigma_{ж}^2$	4,747
МКФС + доломитовая мука		
5	$W_a = 5,06 \cdot \sigma_{ж} - 0,306 \cdot \sigma_{ж}^2$	8,289
10	$W_a = 3,836 \cdot \sigma_{ж} - 0,306 \cdot \sigma_{ж}^2$	6,289
15	$W_a = 2,612 \cdot \sigma_{ж} - 0,306 \cdot \sigma_{ж}^2$	4,289
МКФС + ЛСТ		
5	$W_a = 5,888 \cdot \sigma_{ж} - 0,324 \cdot \sigma_{ж}^2$	9,086
10	$W_a = 4,268 \cdot \sigma_{ж} - 0,324 \cdot \sigma_{ж}^2$	6,586
15	$W_a = 2,972 \cdot \sigma_{ж} - 0,324 \cdot \sigma_{ж}^2$	4,586

Анализируя полученные результаты исследований всех клеевых составов, было определено, что оптимальным количеством введения модификаторов является 10 мас.ч. При этом количестве наблюдается хорошая смачивающая способность при обеспечении необходимой прочности готовой продукции.

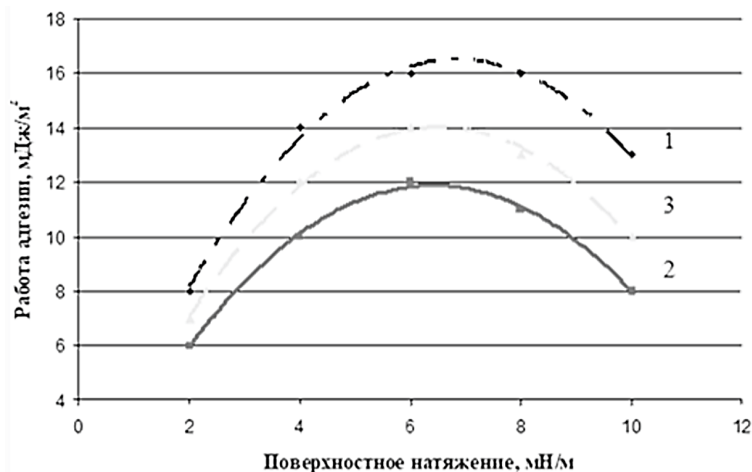


Рис. 4. Зависимость работы адгезии от поверхностного натяжения клеевого состава (1 – МКФС + аэросил технический; 2 – МКФС + доломитовая мука; 3 – МКФС + ЛСТ)

Fig. 4. Dependence of the adhesion work on the surface tension of the adhesive composition (1 – melamineureaformaldehyde resin + technical aerosil; 2 – melamine ureaformaldehyde resin + dolomite flour; 3 – melamineureaformaldehyde resin + technical lignosulfonates)

**Заключение.** С уменьшением краевого угла увеличивается адгезия клеевого состава к поверхности шпона. При этом предел смачивания характеризуется критическим поверхностным натяжением, при уменьшении которого ухудшается смачивающая способность. Работа адгезии увеличивается при улучшении условий смачивания, то есть при увеличении критического поверхностного натяжения и уменьшении краевого угла смачивания. Полученные закономерности взаимодействия клеевого состава с поверхностью шпона позволяют определить степень смачивания и растекания с целью рационального подбора параметров клеевых материалов.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Варанкина Г.С. Анализ эффективности снижения токсичности и сокращения продолжительности склеивания древесных материалов различными модификаторами // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2015. Вып. 210. С. 138–148.

Варанкина Г.С., Брутян К.Г., Чубинский А. Н. Модифицированные карбаминоформальдегидные и фенолоформальдегидные клеи для древесностружечных плит и фанеры // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. № 6. С. 14–19.

Варанкина Г.С., Русаков Д.С. Модификация фенолоформальдегидной смолы побочными продуктами сульфатно-целлюлозного производства // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2013. Вып. 204. С. 130–137.

Варанкина Г.С., Русаков Д.С., Козик П.С. Исследование процессов склеивания шпона фенолоформальдегидной смолой с использованием промежуточных продуктов сульфатно-целлюлозного производства // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 2 (30). С. 120–127.

Варанкина Г.С., Русаков Д.С., Чубинский А. Н. Склеивание фанеры модифицированными клеями // Системы. Методы. Технологии. 2015. №4(28). С. 133–138.

Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Обоснование механизма модификации феноло- и карбаминоформальдегидных клеев шунгитовыми сорбентами // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2014. №2(101) С. 108–112.

Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Формирование низкотоксичных клееных древесных материалов. СПб.: Химиздат, 2014. 148 с.

Иванов А.М., Русаков Д.С., Варанкина Г.С., Чубинский А. Н. Модификация алюмосиликатами фенолоформальдегидных смол для склеивания фанеры // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. №3. С. 13–17.

Кондратьев В.П. Российский рынок смол: рост потребления и производства // Фанера. 2015. Вып. 1, С. 28–33.

Кондратьев В.П., Александрова Н.Д., Чубов А.Б., Залиаев А.А. Совершенствование феноло- и карбаминоформальдегидных клеев для производства березовой и лиственничной фанеры // Деревообрабатывающая промышленность. 2003. Вып. 4. С. 2.

Кондратьев В.П., Чубов А.Б., Соколова Е.Г. Новые виды эффективных клеев для производства водостойкой экологически чистой фанеры // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2010. Вып. 191. С. 169–179.

Кондратьев В.П., Чубов А.Б., Соколова Е.Г. Совершенствование эксплуатационных свойств и технологии фанеры повышенной водостойкости // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2011. Вып. 194. С. 116–124.

Русаков Д.С. Модификация фенолоформальдегидной смолы продуктами сульфитно-целлюлозного производства // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 1(29). С. 113–119.

Русаков Д.С., Варанкина Г.С., Чубинский А. Н. Модификация феноло- и карбаминоформальдегидных смол побочными продуктами производства целлюлозы // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. №6. С. 16–20.

Русаков Д.С., Чубинский А.Н., Варанкина Г.С. Совершенствование технологии склеивания древесных материалов модифицированными клеями. СПб.: СПбГЛТУ, 2019. 127 с.

Соколова Е.Г. Модификация фенолоформальдегидной смолы меламинар-баминоформальдегидной смолой для склеивания фанеры // Научный периодиче-



ский журнал Братского государственного университета. Системы. Методы. Технологии. 2018. 2 (38). С. 111–115.

*Соколова Е.Г.* Совершенствование эксплуатационных свойств и технологии фанеры повышенной водостойкости, изготовленной с применением меламина-карбаминоформальдегидных смол // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 221. С. 282–293.

*Угрюмов С.А.* Анализ химического состава и свойств древесных плит на основе модифицированных клеевых композиций // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2016. № 4. С. 42–43.

*Угрюмов С.А.* Исследование процесса отверждения модифицированной фенолоформальдегидной смолы // Клеи. Герметики. Технологии. 2015. №5. С. 32–34.

*Угрюмов С.А.* Модификация карбаминоформальдегидной смолы олеиновой кислотой для производства плитных материалов конструкционного назначения с использованием костры льна // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: МНТК, 13–15 апреля 2016 г. Т. 2. СПбГЛТУ, 2016. С. 219.

*Угрюмов С.А.* Способы модификации фенолоформальдегидных смол, применяемых в производстве клееных древесных материалов. Обзор. // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. №5. С. 14–19.

*Чубинский А.Н., Варанкина Г.С.* Обоснование технологии склеивания фанеры модифицированными клеями // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012. Вып. 201. С. 185–193.

*Чубинский А.Н., Варанкина Г.С.* Формирование низкотоксичных древесностружечных плит с применением модифицированных клеев // Лесной журнал. 2013. № 6. С. 67–72.

*Чубинский А.Н., Варанкина Г.С., Русаков Д.С., Денисов С.В.* Ускорение процесса склеивания шпона фенолоформальдегидными клеями // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2011. Вып. 194. С. 121–128.

*Чубинский А.Н., Кузнецова Е.Г., Коваленко И.В.* Физико-химические основы процессов склеивания: учебное пособие по выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 35.03.02. СПб.: СПбГЛТУ, 2016. 40 с.

*Ugolev B.N.* Wood science and forest commodity science. M.: GOU VPO MGUL, 2007. 351 p. (In Russ.)

## References

*Varankina G.S., Chubinskij A.N.* Formirovanie nizkotoksichnyh kleenyh drevesnyh materialov [Formation of low-toxic glued wood materials]. SPb.: Himizdat, 2014. 148 p. (In Russ.)

*Chubinskii A.N., Kuznecova E.G., Kovalenko I.V.* Fiziko-himicheskie osnovi processov skleivaniya. Uchebnoe posobie po vipolneniyu laboratornih rabot dlya studentov napravleniya podgotovki 35.03.02. SPb.: SPbGLTU, 2016. 40 p.

*Chubinskii A.N., Varankina G.S.* Formirovanie nizkotoksichnyh drevesnostruzhechnykh plit s primeneniem modifitsirovannykh klevov [The formation of

low-toxic chipboard with the use of the modified adhesives]. *Lesnoj zhurnal*, 2013, no. 6, pp. 67–72. (In Russ.)

*Chubinskii A.N., Varankina G.S.* Obosnovanie tekhnologii skleivaniya fanery modifitsirovannymi kleyami [Substantiation of the technology of bonding plywood modified adhesives]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2012, iss. 201, pp. 185–193. (In Russ.)

*Chubinskii A.N., Varankina G.S., Rusakov D.S., Denisov S.V.* Uskorenie processa skleivaniya shpona fenoloformal'degidnymi kleyami [The reduction of the veneer gluing process duration using phenol-formaldehyde resins]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2011, iss. 194, pp. 121–128. (In Russ.)

*Ivanov A.M., Rusakov D.S., Varankina G.S., Chubinskii A.N.* Modifikatsiya alyumosilikatami fenoloformal'degidnykh smol dlya skleivaniya fanery [Modification of aluminosilicates, phenolic-formaldehyde resins for bonding plywood]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2017, no. 3, pp. 13–17. (In Russ.)

*Kondrat'ev V.P., Aleksandrova N.D., Cubov A.B., Zalipaev A.A.* Sovershenstvovanie fenolo- i karbamidoformal'degidnykh kleev dlya proizvodstva berezovoy i listvennichnoy fanery [The improvement of phenolic resins and urea-formaldehyde adhesives for the production of birch and larch plywood]. *Derevoobrabatyvaiushchaia promyshlennost'*, 2003, no. 4, pp. 2. (In Russ.)

*Kondrat'yev V.P.* Rossiyskiy rynek smol: rost potrebleniya i proizvodstva [The Russian market of resins: consumption growth and production]. *Plywood*, 2015, iss. 1, pp. 28–33. (In Russ.)

*Kondrat'yev V.P., Chubov A.B., Sokolova E.G.* Novyye vidy effektivnykh kleyev dlya proizvodstva vodostoykoy ekologicheskii chistoy fanery [New types of effective adhesives for the production of waterproof environmentally friendly plywood]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2010, iss. 191, pp. 169–179. (In Russ.)

*Kondrat'yev V.P., Chubov A.B., Sokolova E.G.* Sovershenstvovaniye ekspluatatsionnykh svoystv i tekhnologii fanery povyshennoy vodostoykosti [Improvement of operational properties and technology of plywood increased water resistance]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2011, iss. 194, pp. 116–124. (Russ.)

*Rusakov D.S.* Modifikatsiya fenoloformal'degidnoy smoly produktami sulfitno-cellyuloznogo proizvodstva. [Modification of phenol-formaldehyde resin by products of sulfite-cellulose production]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2016, no. 1(29), pp. 113–119. (In Russ.)

*Rusakov D.S., Chubinskij A.N., Varankina G.S.* Sovershenstvovanie tekhnologii skleivaniya drevesnykh materialov modifitsirovannymi kleyami [Improvement of the technology of gluing wood materials with modified adhesives]. SPb.: SPbGLTU, 2019. 127 p. (In Russ.)

*Rusakov D.S., Varankina G.S., Chubinskii A.N.* Modifikatsiya fenolo- i karbamidoformal'degidnykh smol pobochnymi produktami proizvodstva cellyulozy [Modification of phenolic resins and urea-formaldehyde resins by-products of pulp production]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2017, no. 6, pp. 16–20. (In Russ.)

Sokolova E.G. Modifikaciya fenoloformal'degidnoj smoly melaminokarbamidoformal'degidnoj smoloy dlya skleivaniya fanery [Modification of phenol-formaldehyde resin with melamine-urea-formaldehyde resin for gluing plywood]. *Nauchnyj periodicheskiy zhurnal Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2018, 2 (38), pp. 111–115. (In Russ.)

Sokolova E.G. Sovershenstvovanie ekspluatatsionnykh svoystv i tekhnologii fanery povyshennoj vodostojkosti, izgotovlennoj s primeneniem melaminokarbamidoformal'degidnykh smol [Improving the performance properties and technology of plywood with increased water resistance, made using melamine-urea-formaldehyde resins]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2017, iss. 221, pp. 282–293. (In Russ.)

Ugolev B.N. Wood science and forest commodity science. M.: GOU VPO MGUL, 2007. 351 p. (In Russ.)

Ugryumov S.A. Sposoby modifikatsii fenoloformal'degidnykh smol, primenyaemykh v proizvodstve kleenykh drevesnykh materialov [Methods of modification of phenol-formaldehyde resins used in the manufacture of laminated wood materials. Review.]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2017, no. 5. pp. 14–19. (In Russ.)

Ugryumov S.A. Analiz himicheskogo sostava i svoystv drevesnykh plit na osnove modifitsirovannykh kleevykh kompozitsiy [Analysis of the chemical composition and properties of wood boards on the basis of modified adhesive compositions]. *Bulletin of Moscow state forest University – Forest Herald*, 2016, no. 4, pp. 42–43. (In Russ.)

Ugryumov S.A. Issledovanie processa otverzhdneniya modifitsirovannoy fenoloformal'degidnoj smoly [Study of the curing process of the modified phenol-formaldehyde resin]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2015, no. 5. pp. 32–34. (In Russ.)

Ugryumov S.A. The modification of urea formaldehyde resin oleic acid for the production of plate materials of construction use a shive // *Forests of Russia: politics, industry, science, education: materials of the International scientific and technical conference*, 13–15 April 2016. 2016, vol. 2, pp. 219. (In Russ.)

Varankina G.S. Analiz ehffektivnosti snizheniya toksichnosti i so-krashcheniya prodolzhitel'nosti skleivaniya drevesnykh materialov razlichnymi modifikatorami [Analysis of the effectiveness of emission control and reduce the length of the bonding of wood materials with various modifiers]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2015, iss. 210, pp. 138–148. (In Russ.)

Varankina G.S., Brutyan K.G., Chubinskii A.N. Modifitsirovannye karbamidoformal'degidnye i fenoloformal'degidnye klei dlya drevesno-struzhechnykh plit i fanery [Modified urea-formaldehyde and phenol-formaldehyde adhesives for chipboard and plywood]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2017, no. 6, pp. 14–19. (In Russ.)

Varankina G.S., Chubinskii A.N., Obosnovanie mekhanizma modifikatsii fenolo- i karbamidoformal'degidnykh kleev shungitovymi sorbentami [Study of the mechanism of the modification of phenolic resins and urea-formaldehyde adhesives schungite sorbents]. *Vestnik MGUL – Lesnoj vestnik*, 2014, no. 2(101), pp. 108–112. (In Russ.)

Varankina G.S., Rusakov D.S. Modifikaciya fenoloformal'degidnoj smoly pobochnymi produktami sul'fatno-cellyuloznogo proizvodstva [Modification of phenol

resin by the by-products of sulphate pulp production]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2013, iss. 204, pp. 130–137. (In Russ.)

Varankina G.S., Rusakov D.S., Chubinsky A.N. Skleivanie fanery modifitsirovannymi kleyami [Bonding of plywood modified adhesives]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2015, no. 4(28), pp. 133–138. (In Russ.)

Varankina G.S., Rusakov D.S., Kozik P.S. Issledovanie processov skleivaniya shpona fenoloformal'degidnoj smoloy s ispol'zovaniem promezhutochnykh produktov sulfatno-cellyuloznogo proizvodstva [Research of processes of veneer agglutination by phenol-formaldehyde resin with the use of intermediate products of sulfate-cellulose production]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2016, no. 2(30), pp. 120–127. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 17.05.2023*

---

**Соколова Е.Г.** Исследование свойств клеевых составов на основе меламинакарбаминоформальдегидной смолы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 247. С. 278–290. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.278-290

Изготовление многих материалов и изделий из древесины зависит от технологической операции склеивания. При этом на результат этой технологической операции оказывают влияние характеристики клеевого состава, древесины и внешние факторы. Для получения водостойкого материала необходимо применять для склеивания смолу с соответствующими показателями, например, меламинакарбаминоформальдегидную смолу с содержанием меламина 20%. Для более детального влияния на эксплуатационные качества продукции можно использовать различные модифицирующие добавки. Характер взаимодействия клеевых составов и древесины определяется силами взаимного притяжения молекул, формируются связи адгезии. При нанесении клеевого состава на поверхность шпона форма свободной поверхности жидкости зависит от соотношения сил поверхностного натяжения на границе раздела фаз, от межмолекулярного взаимодействия клеевого состава с поверхностью шпона. Для разрушения системы взаимного притяжения клеевого слоя и поверхности подложки необходимо преодолеть силу, затратив работу (работу адгезии). Изучение механизма и основных закономерностей взаимодействия клеевого состава и поверхности шпона в процессе нанесения позволит правильно подобрать количество и вид модификаторов, скорректировав основные характеристики клеевого состава и поверхности шпона при формировании клеевого соединения. Для оценки работы адгезии и закономерностей смачивания и растекания были использованы меламинакарбаминоформальдегидная смола и модификаторы: аэросил технический, доломитовая мука и лигносульфонаты технические. Изложены результаты определения критического поверхностного натяжения и работы адгезии. Определено, что оптимальным количеством модификаторов является 10 мас.ч. При этом количестве наблюдается хорошая смачивающая способность при обеспечении необходимой прочности готовой продукции.

**Ключевые слова:** меламинакарбаминоформальдегидная смола, адгезия, работа адгезии, краевой угол.

**Sokolova E.G.** Study of properties of adhesive compositions based on melamine-urea-formaldehyde resin. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2024, iss. 247, pp. 278–290 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.278-290

The production of many materials and wood products depends on the technological operation of gluing. At the same time, the result of this technological operation is influenced by the characteristics of the adhesive composition, wood and external factors. To obtain a waterproof material, it is necessary to use a resin with appropriate indicators for gluing, for example, melamine urea formaldehyde resin with a melamine content of 20%. For a more detailed influence on the performance of products, it is possible to use various modifying additives. The nature of the interaction of adhesive compositions and wood is determined by the forces of mutual attraction of molecules, adhesion bonds are formed. When applying the adhesive composition on the surface of the veneer, the shape of the free surface of the liquid depends on the ratio of the surface tension forces at the phase boundary, on the intermolecular interaction of the adhesive composition with the surface of the veneer. To destroy the system of mutual attraction of the adhesive layer and the surface of the substrate, it is necessary to overcome the force by spending work (adhesion work). The study of the mechanism and basic patterns of interaction between the adhesive composition and the surface of the veneer during the application process will allow you to correctly select the amount and type of modifiers, adjusting the main characteristics of the adhesive composition and the surface of the veneer during the formation of the adhesive joint. To evaluate the work of adhesion and patterns of wetting and spreading, melamine urea formaldehyde resin and modifiers were used: technical aerosil, dolomite flour and technical lignosulfonates. The results of determining the critical surface tension and the work of adhesion are presented. It was determined that the optimal amount of modifiers is 10 mass parts. With this amount, good wetting ability is observed while ensuring the necessary strength of the finished product.

**Keywords:** melamineureaformaldehyde resin, adhesion, work of adhesion, contact angle.

---

**СОКОЛОВА Екатерина Геннадьевна** – доцент Санкт-Петербургского Лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5. Санкт-Петербург. Россия. E-mail: nikitinaek@rambler.ru

**SOKOLOVA Ekaterina G.** – Associate Professor of St.Petersburg Forestry Technical University.

194021. Institutsky line 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: nikitinaek@rambler.ru