

DOI: 10.58168/TBiEc2025_460-466

УДК 674.038

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДВУХЭТАПНОГО СКЛЕИВАНИЯ ВЛАЖНОГО ШПОНА В УСЛОВИЯХ НАО «СВЕЗА КОСТРОМА»

APPLICATION OF TWO-STAGE GLUING TECHNOLOGY OF WET VENEER IN THE CONDITIONS OF COMPANY «SVEZA KOSTROMA»

Чумак К.А., инженер-технолог НАО «Свеза Кострома», Кострома, Россия.

Яблоков А.А., руководитель службы технологий и качества НАО «Свеза Кострома», Кострома, Россия.

Титунин А.А., советник РААСН, д.т.н., заведующий кафедрой лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», Кострома, Россия.

Chumak K.A., Process Engineer, NAO «Sveza Kostroma», Kostroma, Russia.

Yablokov A.A., Head of Technology and Quality Service, NAO «Sveza Kostroma», Kostroma, Russia.

Titunin A.A., Advisor of RAASN, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Forestry and Wood Processing Industries, Kostroma State University, Kostroma, Russia.

Аннотация: в статье представлены результаты исследований по производству березовой фанеры на предприятии НАО «Свеза Кострома». Показано, что при традиционной технологии после сушки 3–7 % шпона имеют влажность более 6 %. Для того, чтобы избежать образования «пузырей», влажный шпон досушивается, что приводит к росту производственных расходов и увеличению выбросов парниковых газов. Предложена технология двухэтапного склеивания влажного шпона, базирующаяся на известных закономерностях повышения удельной теплоемкости и теплопроводности древесины при увеличении ее влажности и температуры. Доказано, что применение предлагаемой технологии при производстве березовой фанеры толщиной 18 мм позволяет ежегодно экономить примерно 4000 кВт·ч энергии и снижать выбросы парниковых газов на 2,8 т.

Abstract: the article presents the results of research on the production of birch plywood at the enterprise of Company “Sveza Kostroma”. It is shown that with the traditional technology, after drying, 3-7 % of the veneer has a moisture content of more than 6 %. In order to avoid the formation of "bubbles", the wet veneer is dried, which leads to an increase in production costs and an increase in greenhouse gas emissions. The technology of two-stage gluing of wet veneer is proposed, based on the known patterns of increasing the specific heat capacity and thermal conductivity of wood with increasing humidity and temperature. It has been proven that the use of the proposed technology in the production of birch plywood with a thickness of 18 mm can save approximately 4,000 kWh of energy annually and reduce greenhouse gas emissions by 2.8 tons.

Ключевые слова: низкоуглеродные технологии, снижение выбросов парниковых газов, фанера, двухэтапное склеивание, влажный шпон

Keywords: low carbon technologies, greenhouse gas emission reduction, plywood, two-stage gluing, wet veneer

Одним из экологически чистых и единственным видом сырья, регенерируемым на поверхности Земли, является древесина. Поэтому не случайно на современном этапе развития промышленного производства специалисты все больше используют в качестве основного материала древесину. Это относится и к сфере строительства зданий и сооружений. На изготовление деревянных конструкций требуется от 4 до 126 раз меньше энергозатрат, чем на изготовление аналогичных стальных и железобетонных конструкций. Расширение объемов строительства из древесины и древесных материалов в строительстве существенно снижает энергопотребление на их производство, сокращая выбросы вредных веществ в атмосферу. Древесина в конструкциях сохраняет в себе углерод на протяжении всего срока эксплуатации зданий и сооружений, что обеспечивает уменьшение выбросов углерода в атмосферу и снижение его негативного влияния на климат. Здания из древесины и древесных материалов обеспечивают комфортность пребывания в них людей. Проведение экологических и энергосберегающих мероприятий на любом этапе производства продукции из древесины несомненно вносит дополнительный вклад в минимизацию негативного воздействия на окружающую среду и сокращение углеродного следа, обеспечивая углеродную нейтральность – баланс между выбросами "парниковых газов" и их поглощение, как залог здоровой жизни сегодняшнего и следующих поколений. Данное направление теоретических и прикладных разработок в полной мере соответствует достижению национальных целей, таких как комфортная и безопасная среда для жизни, экологическое благополучие, устойчивая и динамичная экономика, технологическое лидерство, определенных Указом Президента Российской Федерации В.В. Путина от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».

НАО «Свежа Кострома» – один из семи комбинатов компании, ежегодно производит примерно 120 тыс м³ березовой фанеры марки ФК формата 1525×1525 мм. Как известно, для производства 1м³ фанеры требуется от 80 до 130 кВт·ч энергии, большая часть которой расходуется на сушку шпона и в процессе его горячего склеивания. При этом в силу ряда причин не удастся полностью избежать появления «пузырей», что в конечном итоге приводит к образованию брака и отрицательно сказывается на экономических показателях работы предприятия. Рассматривая в комплексе актуальную задачу снижения выбросов парниковых газов при производстве продукции из древесины, группа компаний «Свежа» присоединилась к климатическому меморандуму «Вместе к низкоуглеродному будущему», разработанному в «Северстали» и направленному на поддержку усилий по предотвращению климатических изменений. Один из принципов меморандума – внедрение низкоуглеродных технологий. В этом направлении на предприятии совместно с кафедрой лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств Костромского

государственного университета ведется работа по снижению энергозатрат и разработке режимов производства фанеры с использованием влажного шпона. Под влажным в данном случае понимается шпон влажностью $W=11-12\%$ [1].

Влажность березового шпона, как и его плотность, отличается большим разбросом значений в пределах даже тех полноформатных листов, которые получены из одного чурака. Если же встречаются участки с ложным ядром, то этот разброс значений по влажности становится еще больше [2]. Известно, что избыток влаги в древесине негативно сказывается на прочности клеевого соединения. Это обусловлено тем, что повышенная влажность снижает вязкость клеевого раствора и увеличивает время его желатинизации, а также уменьшает количество реакционноспособных групп в древесине [3].

На производстве клееной фанеры до 7% шпона имеет повышенную влажность, что приводит к образованию дефектов в виде "пузырей". Для предотвращения брака такой шпон отбраковывается и подвергается дополнительной сушке или выравниванию влажности за счет перекалывания его с сухим шпоном, что увеличивает в конечном итоге затраты на производство фанеры.

Проблема склеивания влажного шпона изучается довольно давно. Российскими и зарубежными учеными разработаны различные способы низкотемпературного склеивания хвойного шпона [4], модификации клея для повышения его вязкости и предотвращения чрезмерного впитывания в древесину [5–8]. Однако, эти методы ориентированы на способ пакетного склеивания, который характеризуется длительным процессом прогрева листов шпона до температуры, необходимой для отверждения клея, следовательно – повышенными энергозатратами. Поэтому задача совершенствования технологии склеивания шпона повышенной влажности с целью снижения внутрипроизводственных издержек и сокращению выбросов парниковых газов является актуальной.

В основу способа двухэтапного склеивания влажного шпона положены известные зависимости удельной теплоемкости и теплопроводности древесины от температуры и влажности [9]. При склеивании пакета, в котором внутри располагаются листы шпона с влажностью примерно $W=6\%$, а снаружи – с влажностью $W=11-12\%$ вероятность образования «пузырей» значительно ниже, чем если бы шпон повышенной влажности располагался внутри пакета. Исходя из этого, на первом этапе производства фанеры склеивается «полуфабрикат», в средних слоях которого используется сухой шпон, а наружные слои или «рубашка» из шпона влажностью $W=11-12\%$ [1]. На втором этапе данный полуфабрикат доклеивается сухим шпоном с учетом требуемой толщины готовой продукции.

В ходе исследований при производстве фанеры марки ФК толщиной 18 мм было рассчитано время прогрева пакета для склеивания 13 листов шпона толщиной 1,5 мм влажностью $W \leq 6,6\%$ (первый вариант – традиционная технология) и для склеивания шпона в два этапа, когда сначала склеивается пакет из пяти слоев с наружными листами, влажность которых составляет $W=11-12\%$, а затем на втором этапе пакет доклеивается с двух сторон

4 листами сухого шпона (второй вариант). Схемы склеивания листов шпона для первого и второго вариантов показаны на рис.1.

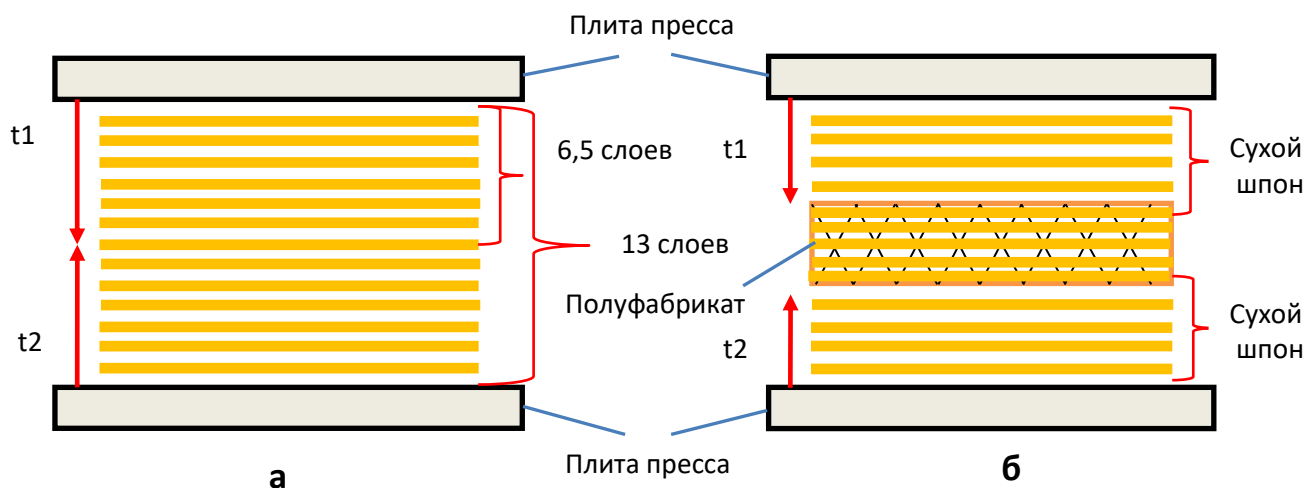
При расчете времени прогрева использовались известные зависимости ф. (1) и ф. (2) для определения количества тепла Q , которое необходимо передать через пакет к клеевому слою, Дж:

$$Q = \lambda F \frac{\Delta t}{\Delta x} T_B, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности березы, Вт/м·К; F – площадь сечения склеиваемого пакета, перпендикулярного тепловому потоку, м²; T_B – продолжительность выдержки пакетов в прессе, с; Δt – разность конечной и начальной температуры пакета, К; Δx – расстояние между начальной и конечной точками нагрева, м:

$$Q = Cm\Delta t, \quad (2)$$

где C – удельная теплоемкость древесины березы, Дж/кг·К; m – масса прогреваемых листов шпона, кг.



а – первый вариант (традиционная технология); б – второй вариант (технология двухэтапного склеивания)

Рисунок 1 – Схемы склеивания листов шпона

Выразив из ф. (1) время прогрева пакета и проведя необходимые преобразования, было получено выражения для определения времени прогрева шпона:

$$T_B = \frac{Cm\Delta x}{\lambda F}. \quad (3)$$

Результаты расчетов времени прогрева шпона с учетом его влажности и других параметров представлены в табл. 1. Размеры листов шпона 1600×1600×1,5 мм. В расчетах времени цикла прессования продолжительность снижения давления на склеиваемый материал после пьезотермической обработки в прессе $\tau_{сн}$ и продолжительность вспомогательных операций (загрузка и выгрузка пресса, смыкание и размыкание плит) $\tau_{всп}$ были приняты с учетом средних значений работы прессов на предприятии: $\tau_{сн} = 1,1$ мин; $\tau_{всп} = 3$ мин.

Как видно из таблицы, при двухэтапном склеивании шпона при производстве фанеры толщиной 18 мм общее время цикла склеивания сокращается на 0,3 мин. Если принять, что предприятие переходит на предложенную технологию двухэтапного склеивания, то суммарная экономия времени на прессование составит примерно 67 часов. Эта экономия времени соответствует снижению расхода энергии на досушивание влажного шпона и его прессование около 4000 кВт·ч энергии, что эквивалентно снижению выбросов CO₂ в объеме 2,8 т /год [10].

Таблица 1 – Исходные данные и результаты расчета времени прогрева шпона по вариантам склеивания

Наименование показателя	Значения показателей		
	Традиционная технология	Двухэтапное склеивание	
		Первый этап (внутренний слой/наружный слой)	Второй этап
Влажность шпона, %	6,6	6,6 / 12	6,6
Плотность, кг/м ³	565	565 / 567	565
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	0,16	0,16 / 0, 22	0,16
Удельная теплоемкость, Дж/кг·К	2000	2000 / 2250	2000
Время прогрева, мин	11,2	1,4	5,4
Время цикла, мин	15,3	5,5	9,5
Полное время, мин	15,3	15,0	

Полученные расчетным путем данные о времени прогрева пакета шпона были апробированы в лабораторных, а затем и в производственных условиях. Проведенные испытания образцов фанеры на скалывание по клеевому слою и при определении прочности при изгибе подтвердили возможность применения технологии двухэтапного склеивания влажного шпона с целью снижения производственных расходов и сокращению выбросов парниковых газов.

Список литературы

1. Чумак К. А., Титуниин А. А. Технологические аспекты двухэтапного способа получения фанеры с использованием влажного шпона// Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2024. No 3 (31). С. 69–79. – URL: <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2024.3.69>.

2. Амосова И. Б., Феклистов П. А. Распределение влаги по сечению ствола в древесине березы повислой / И. Б. Амосова, П. А. Феклистов // Лесной вестник. – 2010. – № 3. – С. 97–101.
3. Чубинский А. Н. Моделирование процессов склеивания древесных материалов / А. Н. Чубинский, В. В. Сергеевичев. – СПб.: Издательский дом Герда, 2007. – 176 с.
4. Залипаев А. А. Технология низкотемпературного склеивания хвойного шпона : автореф. дис. ...канд. техн. наук : 05.21.05 / Залипаев Александр Анатольевич ; СПбГУКИ. – Санкт-Петербург, 2014. – 18 с.
5. Плотников Н. П. Обоснование выбора модифицирующих веществ для склеивания шпона повышенной влажности / Н. П. Плотников, С. Н. Трошкин // Системы. Методы. Технологии. – 2017. – №1. – С. 107-113.
6. Ortynska G. Bonding of birch veneer with high moisture content using phenol-formaldehyde resin modified by soy protein / Ortynska G., Bekhta P., Lyuty P., Sedliačik , J. // Acta Facultatis Xylogiae. – 2018. – № 60(1). – С. 85–91.
7. Bekhta P. Properties of Modified Phenol-Formaldehyde Adhesive for Plywood Panels Manufactured from High Moisture Content Veneer / Bekhta P., Ortynska G., Sedliacik J. // Drvna Industrija – 2014. - № 65(4). – С. 293 – 301.
8. Севастьянов К. Ф. Интенсификация процесса склеивания фанеры / К. Ф. Севастьянов. – Москва: Лесная промышленность, 1976. – 144 с.
9. Боровиков А. М. Справочник по древесине : справочник / А. М. Боровиков, Б. Н. Уголев. – М. : Лесная пром-сть, 1989. – 296 с.
10. Гайнуллина Л.Р., Фасыхов А.Р., Тимербаев Н.Ф., Ибрагимова В.Р. Углеродный след энергетического сектора // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 365–384. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-365-384>.

References

1. Chumak K. A., Titunin A. A. Technological aspects of the two-stage plywood production method with wet veneer. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2024;(3):69–79. (In Russian). – URL: <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2024.3.69>.
2. Amosova I.B., Feklistov P.A. Moisture distribution over trunk cross section in birch wood / I.B. Amosova, P.A. Feklistov // *Lesnoy Vestnik*. – 2010. –№ 3. – Pp. 97–101. (In Russian).
3. Chubinsky A. N. Modeling processes of gluing wood materials / A. N. Chubinsky, V. V. Sergeevichev. - SPb: Gerda Publishing House, 2007. –176 p. (In Russian).
4. Zalipaev A. A. Technology of low-temperature bonding of coniferous veneer : Ph. ...Candidate of Technical Sciences : 05.21.05 / Zalipaev Alexander Anatolievich ; SPbGUKI. – St. Petersburg, 2014. – 18 p. (In Russian).

5. Plotnikov N. P. Substantiation of choice of modifying agents for gluing of veneer with increased humidity / N. P. Plotnikov, S. N. Troshkin // *Systems. Methods. Technologies.* - 2017. – №1. – Pp. 107–113. (In Russian).
6. Ortynska G. Bonding of birch veneer with high moisture content using phenol-formaldehyde resin modified by soy protein / Ortynska G., Bekhta P., Lyutyy P., Sedliačik, J. // *Acta Facultatis Xylologiae.* – 2018. – № 60(1). – Pp. 85–91.
7. Bekhta P. Properties of Modified Phenol-Formaldehyde Adhesive for Plywood Panels Manufactured from High Moisture Content Veneer / Bekhta P., Ortynska G., Sedliacik J. // *Drvna Industrija* – 2014. - № 65(4). – Pp. 293 – 301.
8. Sevastyanov K.F. Intensification of the process of gluing plywood / K.F. Sevastyanov. - Moscow: Forest Industry, 1976. – 144 p. (In Russian).
9. Borovikov A.M. Handbook on wood : a reference book / A.M. Borovikov, B.N. Ugolev. - Moscow : *Lesnaya Promyshlennost*, 1989. – 296 p. (In Russian).
10. Gainullina LR, Fasykhov AR, Timerbaev NF, Ibragimova VR. Carbon footprint of the energy sector. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety.* 2024;32(4):365–384. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-365-384>.