

**В. В. Васильев**

**Древесное сырьё и стружка  
для производства  
древесностружечных плит**

**Санкт-Петербург  
Издательско-полиграфическая ассоциация  
высших учебных заведений  
2023**

УДК 674.815, 674.816.3

ББК 37.137

В19

*Васильев В. В. Древесное сырьё и стружка для производства древесностружечных плит.* Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб : Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2023. — 64 с.

Приводятся сведения о древесном сырье и стружке для производства древесностружечных плит. Показано многообразие видов древесного сырья, приведены требования к нему и к стружке для разных слоёв плит. Изложены сведения о строении древесины и коры, их химические свойства и физико-механические показатели. Показано и дано объяснение влияния породного состава древесного сырья и коры, формы, размеров и влажности стружки на показатели свойств древесностружечных плит.

© Васильев В. В., 2023

© Издательско-полиграфическая  
ассоциация высших учебных  
заведений, оформление, 2023

ISBN 978-591155-214-5

## Оглавление

	Стр.
Оглавление.....	3
Предисловие.....	4
1. Древесное сырьё .....	5
2. Древесная стружка.....	16
3. Строение и свойства древесины и коры.....	26
4. Влияние свойств древесного сырья и параметров стружки на показатели плит.....	42
Список литературы.....	59

## Предисловие

За первые 20 лет XXI века в Российской Федерации сформировалась развитая подотрасль древесных плит. Если в 2001 году производство древесностружечных плит (ДСП) составляло 2,48 млн. м<sup>3</sup> в год [Шалашов и др, 2003], то в 2020 оно достигло уровня 8,36 млн. м<sup>3</sup> плит при среднегодовых темпах роста выпуска 6,1 % [Васильев, 2022].

Увеличение производства осуществляется за счет ввода в действие новых и модернизации действующих предприятий. Новые заводы ДСП мощностью 200...500 тыс. м<sup>3</sup> в год строят в основном известные зарубежные фирмы и оснащают их современным оборудованием на базе непрерывных ленточно-валковых прессов.

Готовая ДСП состоит из трёх основных компонентов: древесных частиц, сухой отверждённой смолы в количестве 8...14 % и влаги 5...13 %. Соответственно доля древесных частиц составляет 73...87 % от массы плиты. Таким образом, древесина является самым крупнотоннажным сырьевым материалом в производстве ДСП.

В 80-х годах прошлого века заводы ДСП имели мощность от 5 до 250 тыс. м<sup>3</sup> в год. В настоящее время средняя мощность заводов ДСП значительно увеличилась, что может сказаться на сырьевой базе. Для заводов большой мощности экономически выгодно получать сырьё с минимальным плечом доставки. В этом случае целесообразно увеличивать в сырьевом меню долю отходов деревообрабатывающих производств, расположенных на доступном расстоянии от завода ДСП. К массовым видам отходов, пригодных в производстве плит, относятся привозная технологическая щепа, горбыль, опилки и отходы фанерного производства и спичек (карандаши, шпон-рванина).

Активное вовлечение недорогих сырьевых материалов позволяет повысить экономическую эффективность производства. Социологический опрос специалистов отрасли показал, что вопросы снижения расхода древесного сырья и переработка низкокачественной древесины относятся к технологическим проблемам повышенной актуальности [Васильев, 2020].

## 1. Древесное сырьё

Для производства древесностружечных плит (ДСП) используется древесное сырьё, различающееся по виду и породному составу. В табл. 1.1 приведены вариабельные, в табл. 1.2 – усреднённые данные по применяемому древесному сырью на четырёх предприятиях Северо-Запада России различной мощности [Васильев, 2022], а также для сравнения структура сырья на заводах ДСП в конце XX-го века.

По данным ВНИИДрева в 1984 году была следующая структура сырья: дровяная древесина 68,1 %, технологическая щепка 16,9 %, отходы деревообрабатывающих производств 13,1 % [Отлев и др., 1990]. По этим же данным при изготовлении плит использовали 75...77 % древесины лиственных пород и 23...25 % хвойных, в том числе, %, осины и ольхи более 50, берёзы 25...26, сосны и ели 20...21, прочих пород около 2.

Таблица 1.1. Вариабельный состав древесного сырья по виду и породам древесины на заводах древесностружечных плит России различной мощности

Вид древесного сырья и породный состав	Доля сырья, %, для завода ДСП мощностью, тыс. м <sup>3</sup> /год			
	100	120	200	480
Дровяная древесина и балансы:				
• хвойные породы – в том числе	30 – 60	10 – 30	-	10 – 45
	сосна 12-36	сосна	-	сосна 5-30
	ель 12-36	ель	-	ель 5-30
• лиственные породы – в том числе	40 – 70	55 – 70	60 – 65	30 – 45
	осина	осина	осина	осина
	40-70	55-70	24-26	30-40
	береза 0	береза 0	берёза 36-39	береза 2-5
Горбыль	0	0 – 20	5 - 8	10 – 20
Привозная щепка	0	10 – 25	5 – 8	1 – 5
Опилки	0	Редко	1 - 3	10 – 15
Отходы производства шпона и фанеры	0	0	До 20	Карандаши менее 1
Отходы производства ДСП	0	0	2 - 3	Менее 2

Вид древесного сырья и породный состав	Доля сырья, %, для завода ДСП мощностью, тыс. м <sup>3</sup> /год			
	100	120	200	480
Вторсырьё: щепка из древесной тары, поддонов и т.п.	0	0	0	До 5

Приведенные данные показывают, что на каждом предприятии сложилась своя структура потребляемого сырья. Это определяется главным образом доступностью того или иного вида сырья на данной территории, затратами на его транспортировку и технологической схемой производства плит.

Для цехов ДСП, входящих в состав крупных деревообрабатывающих предприятий, структура сырья определяется наличием крупнотоннажных отходов, образующихся в соседних цехах, например, при изготовлении пиломатериалов, фанеры, спичек. Обычно это цеха ДСП мощностью до 200 тыс. м<sup>3</sup> в год. Крупные заводы плит мощностью более 200 тыс. м<sup>3</sup> в год, как правило, являются самостоятельными предприятиями.

Таблица 1.2. Средний состав по виду древесного сырья на заводах древесностружечных плит России разной мощности

Вид древесного сырья	Доля вида сырья, %, для завода ДСП мощностью, тыс. м <sup>3</sup> /год				Средняя доля вида сырья по 4 заводам ДСП, %	Средняя доля вида сырья в 1984 году, %
	100	120	200	480		
Дровяная древесина и балансы	100	78	63	65	70,2	68,1
Привозная щепка	0	12	7	3	4,7	16,9
Горбыль	0	10	7	15	10,9	13,1
Опилки	0	0	2	12,5	7,1	
Отходы производства шпона и фанеры	0	0	18	0,5	4,3	
Отходы производства ДСП	0	0	3	1	1,2	Нет данных
Вторсырьё: щепка из древесной тары, поддонов и т.п.	0	0	0	3	1,6	Нет данных
Итого	100	100	100	100	100,0	98,1

Данные табл. 1.1 и 1.2 показывают, что в настоящее время основное сырьё заводов ДСП – это массивная стволовая древесина в виде дровяной древесины и балансов. Доля её составляет 63...100 % от всего сырья, среднее значение по четырём предприятиям 70,2 %. Остальное сырьё (привозная щепа, горбыль, опилки и др.) является отходами различных деревообрабатывающих производств. Доля применяемых отходов увеличивается от 0 до 32,0 % с ростом мощности завода ДСП. В меню сырья завода большой мощности появляется принципиально новая позиция – вторсырьё.

Завод мощностью 100 тыс. м<sup>3</sup>/год практически не использует отходы, но это особенность этого предприятия. Завод ДСП-120 (мощностью 120 тыс. м<sup>3</sup>/год) потребляет до 22% отходов в виде горбыля и привозной щепы. Это те виды сырья, которое не требует создания дополнительных технологических участков подготовки и переработки сырья. Оно перерабатывается с использованием базовых технологий и оборудования для изготовления древесных частиц. Горбыль измельчают в стружку на станках с ножевым валом или в щепу в рубительной машине, а привозную щепу добавляют к щепе собственного производства и перерабатывают в стружку. Заводы ДСП мощностью 200 и более тыс. м<sup>3</sup>/год используют не только горбыль и привозную щепу, но и другие виды древесных отходов: опилки, отходы производства шпона, фанеры, ДСП, вторсырьё.

Сравнение потребляемого сырья в настоящее время и в 1984 году показывает, что доля основного сырья, - дровяная древесина и балансы, поддерживается практически на одном уровне 70,2 и 68,1%. Очень значительно в 3,6 раза сократилось потребление привозной щепы с 16,9 до 4,7%. Использование отходов деревообрабатывающих производств (горбыль, опилки, отходы производства шпона и фанеры) наоборот выросли в 1,7 раза с 13,1 до 22,3%.

В табл. 1.3 приведён современный состав хвойного и лиственного сырья на заводах ДСП. Усреднённые цифры показывают примерно равное соотношение: хвойные породы занимают 46,8%, а лиственные 53,2%. Основная масса лиственного сырья – это дровяная древесина и балансы (47,8 из 53,2%). Хвойное сырьё в основном поступает в виде отходов деревообработки (щепы, горбыля, опилки).

Таблица 1.3. Состав хвойного и лиственного сырья на заводах древесностружечных плит России разной мощности

Вид древесного сырья	Доля хвойного/лиственного сырья, %, для завода ДСП мощностью, тыс. м <sup>3</sup> /год				Средняя доля хвойного/ лиственного сырья по 4 заводам ДСП, %
	100	120	200	480	
Дровяная древесина и балансы	45/55	20/58	-/63	27,5/37,5	22,3/47,8
Привозная щепа	0	12/-	7/-	3/-	4,8/-
Горбыль	0	10/-	7/-	15/-	10,9/-
Опилки	0	0	2/-	12,5/-	7,1/-
Отходы производства шпона и фанеры	0	0	-/18	-/0,5	-/4,3
Отходы производства ДСП	0	0	1,5/1,5	0,5/0,5	0,6/0,6
Вторсырьё: щепа из древесной тары, поддонов	0	0	0	2/1	1,1/0,5
Итого	45/55	42/58	17,5/82,5	60,5/39,5	46,8/53,2

Сравнение с данными 1984 года показывает увеличение доли хвойной древесины в составе современного сырья почти в 2 раза с 23...25% до 46,8%. Такое изменение носит положительный эффект, – прочность ДСП из стружки хвойных пород сосны и ели на 30...40% выше, чем у плит из осиновой стружки [Шварцман, Щедро, 1987]. Данные табл. 1.1 показывают, что среди хвойных пород использование сосны и ели примерно поровну. В табл. 1.4 приведено распределение состава сырья между осиной и берёзой.

Осина преобладает, - 38,2% против 15,0% у берёзы. Это объясняется тем, что основная масса поступающей на предприятия дровяной древесины – осиновые стволы. Берёза активно используется в цехах ДСП, расположенных на территории фанерных заводов для утилизации некачественного фанкроя и отходов фанерного производства. По сравнению с 1984 годом доли осины и берёзы в составе сырья значительно уменьшились. Это связано с активным вовлечением в производство отходов деревообработки хвойных пород.

Таблица 1.4. Средний состав осинового и берёзового древесного сырья на заводах древесностружечных плит России разной мощности

Вид древесного сырья	Доля осинового/берёзового сырья, %, для завода ДСП мощностью, тыс. м <sup>3</sup> /год				Средняя доля осинового / берёзового сырья по 4 заводам ДСП, %
	100	120	200	480	
Дровяная древесина и балансы	55/-	58/-	25,2/37,8	34,1/3,4	37,6/10,2
Отходы производства шпона и фанеры	0	0	-/18	-/0,5	-/4,3
Отходы производства ДСП	0	0	0,3/1,2	0,4/0,1	0,5/0,1
Вторсырьё: щепа из древесной тары, поддонов	0	0	0	0,2/0,8	0,1/0,4
Итого	55/-	58/-	25,5/57,0	34,7/4,8	38,2/15,0

Таким образом, основное древесное сырьё для производства ДСП это: дровяная древесина и балансы, привозная щепа, горбыль, опилки, отходы производства шпона и фанеры, отходы производства ДСП. На заводах большой мощности начинают осваивать древесное вторсырьё.

Баланс древесины в лесозаготовительном производстве при заготовке хвойной древесины составляет: пиловочная древесина 35 – 45%; балансы 40 – 45%; дровяная древесина 10 – 20% [Бюллетень ЛЕСТЕХ, 2021]. Лесозаготовительное предприятие мощностью 300 тыс. м<sup>3</sup> древесины в год может поставить на завод ДСП балансов в объёме 120 – 135 тыс. м<sup>3</sup> и дровяной древесины 30 – 60 тыс. м<sup>3</sup>.

По данным Росстата РФ в России в 2021 в году заготовлено 148 млн. м<sup>3</sup> древесины [Росстат, 2023]. В целом по стране заготовка древесины даёт балансов в объёме 59,2 – 66,6 млн. м<sup>3</sup> и дровяной древесины 14,8 – 29,6 млн. м<sup>3</sup>. Таким образом, при заготовке древесины образуется большое количество сырья для производства древесностружечных плит.

**Дровяная древесина** – круглые или колотые части ствола дерева, включающие древесину и кору, которая по своему качеству и размерам может быть использована как топливо и в качестве технологического сырья. Для производства ДСП она должна быть толщиной не менее 4 см, длиной от 1,0 до 6,0 м с градацией 1,0 м [ТУ 0273685–404]. В сырье не допускается наружная трухлявая гниль и обугленность. Ядровая

гниль и дупло допускается до 1/2 диаметра на одном торце с выходом на второй торец до 1/3 диаметра. Сучки всякие, кроме табачных допускаются не более 10 см при толщине лесоматериалов до 30 см, при большей толщине не учитываются. Сучки табачные допускаются до 7 см. Червоточина допускается в хвойной древесине не более 10 отверстий на 1 метр длины. Кривизна допускается не более 5%. Высота остатков сучьев на лесоматериалах не должна превышать 5 см. Древесное сырьё может поставляться в расколотом виде. Толщина лесоматериалов по расколу и внешней окружности не должна быть менее 5 см. Древесина толщиной более 60 см по требованию потребителя должна поставляться в расколотом виде, при этом наибольший размер поперечного сечения не должен превышать 40 см. Древесное сырьё может поставляться в коре или окоренным. Обдир коры допускается. Соотношение поставляемой древесины по размерам и группам пород (хвойные и лиственные) устанавливается в договоре между потребителем и поставщиком.

**Балансы лиственные** – брёвна лиственных пород древесины для производства целлюлозы, древесной массы, древесных плит и для химической переработки [ГОСТ 9462]. Они подразделяются на три группы по диаметру бревен в верхнем отрубе без коры: мелкие – от 6 до 13 см; средние – от 14 до 24 см; крупные – от 26 см и более. По своему качеству они делятся на 4 сорта. Балансы изготавливают из берёзы, осины, тополя и ольхи. Балансы допускаются по согласованию с потребителем любой длины от 2,0 м до 6,5 м с градацией 0,25 м. В зависимости от группы и сорта балансов регламентируются следующие пороки древесины: сучки и пасынок, грибные поражения, червоточина, трещины, кривизна, механические повреждения. В балансах обугленность не допускается, диаметр сучков и пасынка не нормируется. Одновременное наличие заболонной и ядровой гнили не допускается. Наружная трухлявая гниль не допускается. Сучья должны быть срезаны (обрублены) вровень с поверхностью неокоренного бревна. Допускаются сучки высотой не более 2 см от поверхности неокоренного бревна.

**Балансы хвойные** – брёвна хвойных пород древесины [ГОСТ 9463]. Балансы изготавливают из ели, пихты, сосны, лиственницы, кедра. Требования аналогичны предъявляемым балансам лиственных пород.

**Древесное тонкомерное сырьё** хвойных и лиственных пород заготавливается в круглом виде и предназначено для производства технологической щепы. Оно образуется в основном при проведении рубок ухода. Размеры сырья: длина 1,0 – 3,0 м с градацией через 0,5 м, диаметр 2 – 6 см. В этом сырье не допускаются гниль (ядровая, заболонная и наружная трухлявая), обугленность, кривизна простая со стрелой про-

гиба более 10% и сложная со стрелой прогиба более 5%. Сучья должны быть обрублены вровень с поверхностью, высота оставляемых сучков не должна превышать более 1 см. Породный состав сырья не регламентируется.

**Отходы древесные** образуются на всех деревообрабатывающих предприятиях. В табл. 1.5 приведены наиболее массовые отходы в трёх крупных производствах лесного комплекса.

Таблица 1.5. Древесные отходы в производствах лесного комплекса

Вид древесных отходов	Доля древесных отходов, %, в производствах лесного комплекса		
	Лесопиление [1]	Мебель [2]	Фанера [3]
Технологическая щепка (в том числе кусковые отходы: горбыль 6...10%, рейки 10...15%)	25 – 45	-	-
Опилки	10 – 20	32 – 40	-
Стружка	-	12 – 14	-
При раскряжёвке чураков	-	14 – 17	-
Шпон-рванина	-	-	1,5 – 3
Карандаши	-	-	22 – 28
Сухой шпон	-	-	8 – 12
Обрезка и испытания фанеры	-	-	1,5 – 2,5
			4 – 6

[1] → [Чубинский, 2011]; [2] → [Шварцман, 1987]; [3] → [Бюллетень ЛЕСТЕХ, 2023].

По данным табл. 1.5 доля древесных отходов, которые могут быть сырьём для ДСП, при производстве пиломатериалов составляет 35 – 65% от объёма перерабатываемой древесины, при производстве мебели 58 – 71%, фанеры 37 – 51,5%. В среднем расход хвойного сырья на 1 м<sup>3</sup> пиломатериалов составляет 1,6 – 2 м<sup>3</sup>; расход сырья на 1 м<sup>3</sup> фанеры – 2,4 – 3,3 м<sup>3</sup> [Чубинский, 2011]. Удельный расход древесного сырья на производство 1 м<sup>3</sup> древесностружечных плит по отдельным предприятиям колеблется в пределах от 1,57 до 2,05 м<sup>3</sup>, в среднем по отрасли составляет 1,88 м<sup>3</sup> [Отлев, 1990].

По данным Росстата РФ в России в 2021 в году произведено 32,3 млн. м<sup>3</sup> пиломатериалов, 4,55 млн. м<sup>3</sup> фанеры и 11,524 млн. м<sup>3</sup> древесностружечных плит [Росстат, 2023]. Зная уровни древесных отходов при производстве пиломатериалов и фанеры, можно подсчитать потенциальные объёмы сырья. Если принять удельный расход древесины

на производство кубометра пиломатериалов 1,8 м<sup>3</sup>, фанеры – 2,8 м<sup>3</sup>, то объём отходов в лесопилении составляет от 20,3 до 37,8 млн. м<sup>3</sup>, а в производстве фанеры от 4,7 до 6,0 млн. м<sup>3</sup>. Таким образом, эти две подотрасли ЛПК могут поставить значительные объёмы сырья для производства ДСП.

**Горбыль** – боковая часть бревна, имеющая одну пропиленную, а другую не пропиленную или частично пропиленную поверхность, с нормируемой толщиной и шириной тонкого конца. Горбыль отбирается из древесины хвойных и лиственных пород [ОСТ 13–28]. Размеры горбыля: толщина – от 15 мм и более, измеренная в тонком конце без коры на середине его ширины; ширина – от 80 мм и более, измеренная в тонком конце по внутренней пласти; длина – от 0,8 м и более. Размеры горбыля в любом сечении не должны быть менее 15 мм по толщине и 80 мм по ширине. Влажность древесины горбыля не нормируется. В сырье не допускается наружная трухлявая гниль. Заболонная гниль допускается в виде пятен и полос общей площадью не более 1/3 площади пласти. В горбыле нормируются и другие пороки: сучки, червоточина, трещины и механические повреждения. Горбыль должен быть рассортирован по длинам на две группы: до 2,0 м и выше 2,0 м. По договоренности между поставщиками и потребителями может производиться сортировка по толщинам на 3 группы: 15 – 29 мм; 30 – 39 мм; 40 мм и выше.

В горбыле увеличено содержание коры. Замеры соснового горбыля на бирже сырья завода ДСП показало, что содержание коры составляет по массе 37,6%, диапазон варьирования показателя от 18,0 до 71,6% [Васильев, 2022]. Абсолютная влажность древесины горбыля 19,1%, коры 15,9%. При пересчёте на сухие вещества содержание коры в горбыле составляет 38,2%, диапазон изменения показателя от 18,4 до 72,2%.

Относительный объём коры в стволе сосны составляет 10...16%, среднее значение 13% [Уголев, 2007]. Плотность коры сосны при влажности 8...13% 370 кг/м<sup>3</sup> [Полубояринов, 1976], а древесины сосны при влажности 12 % 505 кг/м<sup>3</sup> [Уголев, 2007].

В кубометре ствольной сосны масса коры при среднем её объёме 13% составит  $370 \cdot 13 / 100 = 48$  кг/м<sup>3</sup>. Древесина сосны с корой  $100 + 48 = 148$  кг. Кубометр ствольной сосны влажностью 12 % имеет массу  $505 + 48 = 553$  кг. Доля коры по массе  $48 \cdot 100 / 553 = 8,7\%$ .

Таким образом, содержание коры в горбыле в  $38,2 / 8,7 = 4,4$  раза выше, чем в ствольной древесине. Учитывать это необходимо при назначении верхнего уровня содержания горбыля в составе сырья, так как увеличение содержания коры в ДСП приводит к значительному снижению прочностных показателей плиты (см. гл. 4).

Другое немаловажное обстоятельство ограничения доли горбыля в составе сырья связано с присутствием в коре повышенного содержания минеральных примесей и кусочков металла. Это связано с условиями заготовки, производства и хранения древесного сырья. Так, трелевка бревен на лесосеке приводит к загрязнению коры частицами почвы, часть которых сохраняется на поверхности круглых сортиментов (балансы и технологическое сырье), но особенно много их в горбыле от лесопильного производства. Во время хранения пиловочника на складах, перегрузки и транспортировки в кору могут попадать не только минеральные, но и частицы металла.

Удаление минеральных и металлических примесей из древесного сырья и готовых древесных частиц рекомендуется производить с помощью различных специальных устройств на многих технологических участках, однако не всегда такое оборудование установлено в достаточном количестве. Тогда возможен вариант попадания примесей в древесностружечную плиту. Такая плита в процессе дальнейшей переработки вызовет быстрый износ пил и фрез. Особенно опасно присутствие примесей в микростружке для наружных слоев ДСП, поскольку крупные частицы минералов или металла могут вызвать дефекты шлифовальной ленты в виде вырывов или полос на абразивной поверхности.

Исследовали влияние вида древесного сырья на содержание минеральных и металлических примесей в микростружке наружных слоев ДСП [Меркулова, Васильев, 2017]. Дровяную древесину в количестве 43% от общей массы сырья заменили на горбыль и изготовили из него щепу. Анализ микростружки, поступающей в смеситель наружных слоев, методом прокаливания в муфельной печи показал, что при замене части сырья на горбыль доля золы увеличивается почти в 2 раза с 0,98 до 1,92%. В золе от сырья с горбылём помимо мелких частиц минерального песка и металла обнаружили кусочек металла массой 0,01 г диаметром около 1,5 мм и камешек массой 0,01 г диаметром около 3 мм. Такие большие инородные включения могут привести к порче шлифовальной ленты.

Доля горбыля в лесопилении составляет 6 – 10%. Это реальный крупный источник дополнительного древесного сырья для производства ДСП. Только технолог должен подобрать оптимальную долю его в сырьевом меню.

**Щепа технологическая** – частицы древесины, получаемые в процессе её измельчения. Для производства ДСП используется щепа марки ПС [ГОСТ- 15815]. Её изготавливают из дровяного и тонкомерного сырья, а также из древесных отходов на предприятиях, где они образуются.

Щепу поставляют как из хвойных, так и лиственных пород, а по согласованию с потребителем в смеси. Размеры щепы: длина 10 – 60 мм, толщина не более 30 мм. В щепе марки ПС ограничены включения, массовые доли, %, не более: коры – 15,0; гнили – 5,0; минеральные примеси – 0,5. Фракционный состав щепы регламентирован массовой долей остатков на ситах, %: для сита с диаметром отверстий 30 мм – не более 5; диаметром 20 и 10 мм – не менее 85; диаметром 5 мм и на поддоне – не более 10. В щепе не допускаются обугленные частицы и металлические включения.

**Древесные опилки** – мелкие частицы древесины, образующиеся в процессе пиления древесины. Опилки не должны содержать более 8% коры, 5% гнили и 0,5% минеральных примесей [ГОСТ 18320-78]. В них не допускается более 10% мелких древесных частиц, прошедших через сито с отверстиями диаметром 1 мм, и более 5% крупных, оставшихся на сите диаметром 30 мм. Содержание в древесных опилках металлических примесей, обнаруживаемых при визуальном осмотре, не допускается.

Размеры древесных опилок, мм: длина до 5; ширина до 2,3; толщина 0,10 – 2,05 [Глебов, 2016]. Верхний уровень применения опилок в составе сырья для производства ДСП связан с их размером вдоль волокон древесины, средняя величина которого не превышает 5 мм. Из такого сырья можно изготовить только микростружку для наружных слоёв плиты, средняя длина которой должна быть до 5 мм [Отлев и др., 1990]. Ориентиром для верхнего уровня содержания опилок в составе сырья служит массовая доля наружных слоёв ДСП, которая в зависимости от толщины плиты варьируется в диапазоне 30...50% [Отлев и др., 1990]. Цифры довольно большие и, казалось бы, перспективные для включения значительной доли опилок в состав сырья, но нужно учитывать, что при измельчении других видов древесного сырья будут тоже образовываться мелкие частицы.

Доля опилок в лесопилении составляет 10 – 20%. Как и горбыль – это реальный крупный источник дополнительного древесного сырья для производства ДСП. Технолог должен подобрать оптимальную долю его в сырьевом меню.

**Карандаши и шпон-рванина** – отходы производства фанеры и спичек. Карандаш – оставшаяся после лущения часть фанерного чурака, имеющая форму цилиндра при цилиндрическом лущении или неправильного эллипса при эксцентрическом лущении. Шпон-рванина – шпон заданных размеров и формы, полученный в начале лущения при оцилиндровке фанерного чурака. Фанеру изготавливают как из

лиственных (берёза, ольха, осина, бук), так и хвойных (сосна, ель, лиственница, пихта, кедр) пород древесины, а спички – из осины. Размеры карандашей: длина от 900 до 2650 мм, диаметр – 65 мм и более [Волков, 2010]. Как правило, шпон-рванину измельчают в щепу в месте её образования на участке изготовления шпона.

Общее количество отходов в фанерном производстве составляет 37 – 51,5% перерабатываемого сырья, в том числе карандаши 8 – 12%, шпон-рванина 22 – 28%. На современном заводе, выпускающем 100 тыс. м<sup>3</sup> фанеры в год, образуется 100 – 140 тыс. пл. м<sup>3</sup> отходов. Таким образом, отходы фанерного производства являются объёмным источником качественного сырья для производства ДСП.

**Древесные отходы собственного производства ДСП.** Они могут достигать значительных объёмов. Часть из них такие, как отсевы при сортировках щепы и опилок, древесная и шлифовальная пыль, часть мелкой фракции стружки, удаляются или сжигаются в топке сушилки. Некондиционные древесностружечные ковры и отходы при обрезке сформированного ковра и готовой плиты возвращаются в поток. Для переработки некондиционных ДСП (расслоённых, с пузырями, не соответствующих номинальным размерам, пятнами масла или парафина и т.п.) целесообразно смонтировать установку, измельчающую плиты на куски со средними размерами 70×150 мм, которые затем переработать в щепу.

**Вторсырьё.** К нему относится щепка, полученная при измельчении изделий из древесины, например, поддонов, тары и т.п., в том числе из древесностружечных плит, а также некондиционные древесностружечные плиты, поступающие со стороны.

Таким образом, в производстве древесностружечных плит используется разнообразное древесное сырьё. В последнее время в сырьевом меню увеличивается доля древесных отходов (щепка, опилки, фанерные карандаши и др.). Это экономически целесообразно, а кроме того приводит к повышению доли хвойной древесины, которая обеспечивает более высокие показатели ДСП. В списке сырья появилась новая строчка – вторсырьё. Пока перерабатывается в щепу небольшое число видов исходных материалов: поддоны, тара, некондиционные плиты. Но по мере развития специализированного для этой цели оборудования, виды сырья будут расширяться, вплоть до переработки старой мебели. Технологию надо быть готовым к этому неизбежному процессу развития.

## 2. Древесная стружка

На заводах древесностружечных плит России производят в основном трёхслойные ДСП. Древесные частицы для каждого слоя выполняют разные функции. Наружные слои изготавливают из микростружки, – небольших по размеру частиц. Они обеспечивают высокую гладкость, плотность и твёрдость поверхности плиты, что необходимо для последующей качественной отделки ДСП.

Формирование таких свойств связано с тем, что стружечно-клеевая смесь наружных слоев ДСП более пластична, по сравнению со смесью внутреннего слоя, и при прессовании она способна упрессовываться сильнее внутреннего слоя [Васильев, Хоссейни, 2016]. Повышенная пластичность материала наружных слоев обеспечивается за счет того, что древесные частицы этих слоев имеют значительно меньшие размеры и увеличенную влажность, по сравнению со стружкой внутреннего слоя. В результате при приложении к сформированному брикету давления наружные слои уплотняются в большей степени, чем внутренний слой. Кроме того, при горячем прессовании наружные слои находятся в зоне более высокой температуры 180...240 °С против 105...130 °С, что также способствует более значительному уплотнению их при приложении давления.

Частицы внутреннего слоя имеют большие размеры. Применение их нужно для придания плитам необходимой прочности при минимальном расходе связующего. Рекомендуемые размеры древесных частиц приведены в табл. 2.1 [Отлев, 1990].

Таблица 2.1. Средние размеры древесных частиц для наружных и внутреннего слоёв древесностружечных плит

Параметр	Наружные слои плит с мелко-структурной поверхностью	Наружные слои плит с обычной поверхностью	Внутренний слой плит всех марок
Толщина, мм, не более	0,25	0,4	0,8
Ширина, мм, не более	1,5	2	10
Длина, мм, не более	5	20	30

В промышленности стружку получают на станках с ножевым валом из длинномерного сырья (дровяная древесина, балансы, фанерные катрандаши и т.п.) и на центробежных стружечных станках из щепы. Получаемые виды стружек при одинаковой средней толщине 0,15...0,45 мм

и длине до 40 мм имеют разную ширину: первая – до 10 мм, а вторая – до 2 мм. Разница объясняется отличием в перерабатываемом сырье и в технологиях получения стружки. В связи с этим стружку из длинномерного сырья называют плоской, а из щепы – игольчатой. Они имеют различные фракционные составы (табл. 2.2) [Отлев, 1990].

Таблица 2.2. Фракционный состав плоской и игольчатой стружек

Размер ячеек сит, мм	Фракционный состав стружки, %, от станка		
	с ножевым валом	центробежного при выставке ножей 0,3 мм	центробежного при выставке ножей 0,4 мм
-/10	9	6	4
10/7	20	7	7
7/5	20	11	11
5/3	22	20	23
3/2	15	19	20
2/1	8	20	20
1/0	6	17	15
Итого	100	100	100

Фракционные составы стружек, получаемых разными технологиями, значительно отличаются. Почти 50% древесных частиц от станков с ножевым валом относятся к объединённой фракции -/5 мм, которая включает три крупных фракции -/10; 10/7 и 7/5 мм. Напротив, более половины стружек от центробежных станков – это объединённая фракция 3/0 мм, включающая три самых мелких фракций стружки 3/2; 2/1 и 1/0 мм.

Ситовые сортировки разделяют частицы на фракции в первую очередь по их ширине. Данные табл. 2.2 наглядно показывают, что на станках с ножевым валом производится более широкая стружка, чем на центробежных. Оптимальная технология – переработка древесного сырья двумя типами станков. Она позволяет сочетать экономическую стружку от центробежных станков с качественными древесными частицами, получаемыми на станках с ножевым валом.

Ширина и длина древесных частиц, получаемых на центробежных станках, зависит от формы перерабатываемой щепы. Размеры стандартной щепы (длина и ширина) имеют практически одинаковое значение, в сечении – квадрат. Поступая в станок, она может прижиматься к ножам лопастями крыльчатки как вдоль волокон древесины, что

хорошо, так и поперёк волокон. При резании щепы поперёк волокон образуется большое количество коротких мелких древесных частиц.

Во ВНИИДреве автор с В.Г. Белопуховой и С.А. Кротовой изготавливали на центробежном станке стружку из моделей щепы разных размеров и формы. Брели деревянные рейки сечением 5×5 мм и 10×10 мм и резали их на кусочки длиной 30 мм. Из такой щепы получалось большое количество плоской стружки шириной чуть меньше 5 мм в первом случае и 10 мм – во втором. Длина стружек была около 30 мм. Можно предположить, что, установив внутри крыльчатки на валу центробежного стружечного станка ротор молотковой мельницы, то поступающая в станок щепа будет сначала разбиваться билами вдоль волокон на частицы, из которых затем получится плоская стружка.

В табл. 2.3 приведена характеристика микростружки наружных слоёв промышленных ДСП [Васильев, Веснина, 2022]. В цехе ДСП производят трёхслойную плиту с мелкоструктурной поверхностью. Стружку изготавливают на станках с ножевым валом и центробежных. После сушки стружка разделяется на материалы для наружных и внутреннего слоёв ситовыми и пневматическим каскадным сепараторами. Отбор мелкой фракции древесных частиц и вывод её из технологического потока не производится. Смешивание стружки со связующим осуществляется в высокооборотных смесителях.

Пробы для анализов отбирали перед входом стружки в смесители для наружных и внутреннего слоёв ДСП. Исследованная стружка имела следующий породный состав: осина – 60%, береза – 20%, сосна – 20%. Абсолютная влажность стружки 2%. В табл. 2.3 приведена характеристика микростружки наружных слоёв ДСП.

Таблица 2.3. Фракционный состав, размеры и площадь поверхности микростружки наружных слоёв древесностружечных плит

Размер ячеек сит, мм	Фракционный состав, %	Размеры частиц, мм			Удельная поверхность частиц фракций, м <sup>2</sup> /кг	Площадь поверхности частиц фракций и микростружки, м <sup>2</sup>	Относительная площадь поверхности частиц, %
		Длина	Ширина	Толщина			
5/3	0,1	9,2	2,2	0,59	9,78	0,01	0,01
3/2	0,9	7,2	1,2	0,34	16,9	0,2	0,1

Размер ячеек сит, мм	Фракционный состав, %	Размеры частиц, мм			Удельная поверхность частиц фракций, м <sup>2</sup> /кг	Площадь поверхности частиц фракций и микро- стружки, м <sup>2</sup>	Относи- тельная площадь поверх- ности частиц, %
		Дли- на	Ши- рина	Тол- щина			
2/1	35,2	3,1	0,54	0,12	45,5	16,0	13,4
1/0,5	41,0	1,27	0,29	0,05	105	43,0	35,9
0,5/0	22,8	0,44	0,11	0,02	266	60,6	50,6
В це- лом	100,0	1,79	0,35	0,07		120	100,0

Данные показывают, что древесные частицы отвечают по своим размерам требованиям, предъявляемым к микростружке (табл. 2.1). В соответствии с ними средняя длина, ширина и толщина микростружки не должна превышать соответственно 5,0; 1,5 и 0,25 мм, а в нашем случае размеры составляют 1,79; 0,35 и 0,07 мм.

Общая поверхность 1 кг микростружки 120 м<sup>2</sup>. Из них наибольшую площадь около 81% имеют поверхности пластей древесных частиц, доли боковых граней и торцов микростружки соответственно 15 и 4%.

В табл. 2.4 приведена характеристика стружки внутреннего слоя ДСП. Древесные частицы отвечают по своим размерам требованиям, предъявляемым к стружке внутреннего слоя. В соответствии с ними средняя длина, ширина и толщина стружки не должна превышать соответственно 30; 10 и 0,80 мм, в нашем случае размеры составляют 6,25; 0,88 и 0,27 мм.

Общая поверхность 1 кг стружки внутреннего слоя 42,9 м<sup>2</sup>. Из них наибольшую площадь около 77% имеют поверхности пластей древесных частиц, доли боковых граней и торцов стружки соответственно 20 и 3%.

Таблица 2.4. Фракционный состав, размеры и площадь поверхности стружки внутреннего слоя древесностружечных плит

Размер ячеек сит, мм	Фракционный состав, %	Размеры частиц, мм			Удельная поверхность частиц фракций, м <sup>2</sup> /кг	Площадь поверхности частиц фракций и стружки, м <sup>2</sup>	Относительная площадь поверхности частиц, %
		Длина	Ширина	Толщина			
-/10	0,1	27,5	0,65	0,19	29,6	0,03	0,07
10/7	0,1	24,4	2,810	0,35	15,1	0,02	0,03
7/5	1,8	18,2	1,90	0,40	13,3	0,2	0,56
5/3	13,3	10,7	1,50	0,39	14,4	1,9	4,46
3/2	30,6	6,9	1,01	0,26	21,5	6,6	15,39
2/1	41,1	5,3	0,75	0,21	27,2	11,2	26,08
1/0,5	7,8	1,8	0,25	0,05	106	8,4	19,34
0,5/0	5,2	0,42	0,08	0,02	281	14,6	34,07
В целом	100,0	6,25	0,88	0,27		42,9	100,0

Качество древесностружечных плит существенно зависит от степени осмоления древесных частиц. В отличие от фанеры, где между листами шпона сплошной клеевой слой, в ДСП связующее распределяется по поверхности древесных частиц в виде точек и полос, то есть носит дискретный характер. Такое распределение происходит во время распыления связующего и последующего перемазывания стружек в высокооборотных смесителях. В связи с этим удельный расход сухой смолы по поверхности стружки оценивается как 4... 7 г/м<sup>2</sup> [Отлев, 1990].

Эти величины получены относительно давно. В настоящее время производятся плиты с мелкоструктурной поверхностью, где предусмотрено измельчение древесных частиц до более высокой степени дисперсности. Это приводит к увеличению удельной поверхности стружки и, как следствие, при том же расходе связующего к снижению его содержания на поверхности контактирующих частиц. В результате на предприятиях ДСП вынуждены повышать расход смолы. А это самый дорогой компонент плиты. Не случайно социологический опрос специалистов отрасли показал, что вопрос снижения расхода смолы в производстве ДСП является технологической проблемой высокой актуальности [Васильев, 2020].

Одним из методов повышения удельного расхода смолы по поверхности древесных частиц является удаление из сухой стружки мелких фракций 0,5/0 мм и более. Такую технологию и соответствующее ситовое сортировочное оборудование предлагают ведущие зарубежные фирмы. Удаление мелких древесных частиц обеспечивает не только повышение содержания смолы на поверхности более крупных стружек, но и увеличение прочностных показателей плит, так как такие частицы в силу их небольшой длины не могут быть армирующими элементами ДСП.

В то же время мельчайшие частицы при нанесении их на поверхность ковра методом пневматического или механического фракционирования располагаются на поверхности ковра и обеспечивают высокую гладкость поверхности будущей ДСП. Уровень содержания этой фракции зависит от величины припуска на шлифование, – чем он больше, тем выше уровень.

Для расчёта реального удельного расхода смолы по поверхности древесных частиц необходимо кроме площади поверхности стружки знать расход смолы. Рекомендуемые нормы расхода смолы для производства ДСП (табл. 2.5) определяются в зависимости от базисной плотности древесного сырья, из которого изготавливается плита [Отлев, 1990].

Таблица 2.5. Нормы дозирования сухой смолы по слоям древесностружечных плит, %, от массы сухой стружки

Базисная плотность древесины, кг/м <sup>3</sup>	Слой плиты	
	наружный	внутренний
360	14,5	11,0
400	14,0	10,6
440	13,5	10,0
480	13,0	9,5
520	12,5	9,2
560 и более	12,5	8,8

Для породного состава: осина – 60%, береза – 20%, сосна – 20% базисная плотность древесины составляет для осины 400 кг/м<sup>3</sup>, берёзы 520 кг/м<sup>3</sup>, сосны 415 кг/м<sup>3</sup> [Уголев, 2007]. Средневзвешенная базисная плотность сырья:

$$\rho_{\text{баз. ср.}} = (60 \times 400 + 20 \times 520 + 20 \times 415) / 100 = 427 \text{ кг/м}^3.$$

Нормы расхода сухой смолы от массы сухой стружки для трёхслойных ДСП с мелкоструктурной поверхностью при базисной плотности сырья 400 кг/м<sup>3</sup> составляют для наружных слоёв 14,0%, для внутреннего 10,6%, а при базисной плотности сырья 440 кг/м<sup>3</sup> соответственно 13,5 и 10,0. Интерполируя данные внутри указанных диапазонов, вычислили, что для сырья с базисной плотностью 427 кг/м<sup>3</sup> рекомендуемые нормы расхода смолы составляют для наружных слоёв 13,7% для внутреннего – 10,2%.

При расходе смолы 13,7% расчётный удельный расход сухой смолы по поверхности древесных частиц микростружки ( $Q_{\text{см. микростр.}}$ ) составляет:

$$Q_{\text{см. микростр.}} = 1000/100 \times 13,7/120 = 1,14 \text{ г/м}^2$$

При расходе смолы 10,2% расчётный удельный расход сухой смолы по поверхности древесных частиц стружки ( $Q_{\text{см. стр.}}$ ) составляет:

$$Q_{\text{см. стр.}} = 1000/100 \times 10,2/42,9 = 2,38 \text{ г/м}^2$$

Таким образом, в современных технологиях производства ДСП удельный расход смолы по поверхности древесных частиц составляет около 1 г/м<sup>2</sup> для микростружки наружных слоёв и 2...3 г/м<sup>2</sup> по стружке внутреннего слоя.

Анализируемая нами микростружка имеет размеры значительно ниже половины средних размеров требований. Такие низкие средние размеры микростружки объясняются присутствием в ней значительного количества мельчайших древесных частиц фракции 0,5/0 мм – 22,8% от общей массы. Площадь поверхности частиц этой фракции составляет 266 м<sup>2</sup>/кг, она занимает 50,6% от общей площади поверхности микростружки.

В табл. 2.6 представлены результаты расчетов изменения удельного расхода смолы при удалении мелких частиц фракции 0,5/0 в количестве 10% от общей массы микростружки.

Таблица 2.6. Фракционный состав, размеры и площадь поверхности микростружки наружных слоёв древесностружечных плит при сокращении содержания фракции 0,5/0 мм на 10% от массы микростружки

Размер ячеек сит, мм	Фракционный состав, %		Удельная поверхность частиц фракций, м <sup>2</sup> /кг	Площадь поверхности частиц фракций и микростружки, м <sup>2</sup>	Относительная площадь поверхности частиц, %
	Задание	По заданию			
5/3	0,1	0,1	9,78	0,01	0,01
3/2	0,9	1,0	16,9	0,2	0,2
2/1	35,2	39,1	45,5	17,8	17,2
1/0,5	41,0	45,6	105	47,9	46,2
0,5/0	12,8	14,2	266	37,8	36,4
В целом	90,0	100,0		104	100,0

Удаление мелких частиц фракции 0,5/0 мм в количестве 10% от массы микростружки позволяет снизить площадь поверхности микростружки со 120 до 104 м<sup>2</sup> или на 13,3%, а площадь поверхности этой фракции с 50,6 до 36,4% от общей площади микростружки. При расходе смолы 13,7% расчётный удельный расход сухой смолы по поверхности древесных частиц микростружки составит:

$$Q_{\text{см. микростр.}} = 1000/100 \times 13,7/104 = 1,32 \text{ г/м}^2.$$

Увеличение удельного расхода смолы с 1,14 до 1,32 г/м<sup>2</sup> или на 15,8%. Таким образом, происходит прирост расхода смолы.

Стружка внутреннего слоя также имеет размеры значительно ниже половины средних размеров требований. Немалый вклад в это вносит присутствие в ней значительного количества мельчайших древесных частиц фракции 0,5/0 мм – 5,2% от общей массы. Площадь поверхности частиц этой фракции составляет 281 м<sup>2</sup>/кг, она занимает 34,1% от общей площади поверхности стружки.

В табл. 2.7 представлены результаты расчетов изменения удельного расхода смолы при удалении мелких частиц фракции 0,5/0 в количестве 5% от общей массы стружки.

Таблица 2.7. Фракционный состав, размеры и площадь поверхности стружки внутреннего слоя древесностружечных плит при сокращении содержания фракции 0,5/0 мм на 5% от массы стружки

Размер ячеек сит, мм	Фракционный состав, %		Удельная поверхность частиц фракций, м <sup>2</sup> /кг	Площадь поверхности частиц фракций, м <sup>2</sup>	Относительная площадь поверхности частиц, %
	Задание	По заданию			
-/10	0,1	0,1	29,6	0,03	0,1
10/7	0,1	0,1	15,1	0,02	0,1
7/5	1,8	1,9	13,3	0,2	0,6
5/3	13,3	14,0	14,4	2,0	6,6
3/2	30,6	32,2	21,5	6,9	22,8
2/1	41,1	43,3	27,2	11,8	39,0
1/0,5	7,8	8,2	106	8,7	28,8
0,5/0	0,2	0,2	281	0,6	2,0
В целом	95,0	100,0		30,2	100,0

Удаление мелких частиц фракции 0,5/0 мм в количестве 5% от массы стружки позволяет снизить площадь поверхности стружки с 42,9 до 30,2 м<sup>2</sup> или на 29,6%, а площадь поверхности этой фракции с 34,1 до 2,0% от общей площади стружки. При расходе смолы 10,2% расчётный удельный расход сухой смолы по поверхности древесных частиц стружки внутреннего слоя составит:

$$Q_{\text{см. микростр.}} = 1000/100 \times 10,2/30,2 = 3,38 \text{ г/м}^2.$$

Увеличение удельного расхода смолы с 2,38 до 3,38 г/м<sup>2</sup> или на 42,0%. Происходит значительный прирост расхода смолы.

Для ДСП с мелкоструктурной поверхностью массовая доля микростружки находится в диапазоне 40...50% от общего потока стружки [Отлев, 1990]. При доле массы наружных слоёв 40% удаление 10% от массы микростружки составляет  $10 \times 40 / 100 = 4\%$  от общего потока сухой стружки. Аналогичное удаление 5% мелких частиц из стружки внутреннего слоя составляет:  $5 \times 60 / 100 = 3\%$  от общего потока. Сумма удаляемой доли частиц фракции 0,5/0 мм  $4 + 3 = 7\%$  от общей массы стружки.

Таким образом, удаление из общего потока сухой стружки части мельчайших частиц фракции 0,5/0 мм приводит к эффективному увеличению удельного расхода смолы по поверхности остальной стружки. При удалении 7% древесных частиц этой фракции расчётный удельный расход смолы увеличивается по поверхности микростружки наружных слоёв ДСП с 1,14 до 1,32 г/м<sup>2</sup> или на 15,8%, а по поверхности стружки внутреннего слоя с 2,38 до 3,38 г/м<sup>2</sup> или на 42,0%.

Технолог цеха ДСП может рассчитать свои удельные расходы смолы по поверхности древесных частиц наружного и внутреннего слоёв. Для этого нужно определить фракционные составы стружек и рассчитать расходы, пользуясь нашими данными удельных поверхностей частиц фракций, приведённых в табл. 2.3 и 2.4.

Если цифры окажутся малыми, то сначала рассчитать, сколько мелких частиц целесообразно удалить, а затем опытным путём установить оптимальное содержание их в микростружке, обеспечивающее высокую гладкость поверхности шлифованных плит и максимальные удельные расходы смолы по поверхности микростружки наружных слоёв и стружке внутреннего слоя. Для этого нужно подобрать величину выставки ножей стружечных станков, при которой доля содержания мелкой фракции достигнет заданного уровня. Окончательно стабилизацию этой доли можно провести путём удаления излишков мелочи на ситовой сортировке.

### 3. Строение и свойства древесины и коры

Деревья относятся к высшим растениям. Древесина – это продукт биологического (растительного) происхождения. В листьях из углерода воздуха и воды совершается фотосинтез, в результате которого образуются многочисленные органические соединения.

Взрослое дерево имеет ствол, крону и корни. В промышленности используется в основном ствол. На поперечном разрезе ствола дерева можно увидеть следующие части: сердцевину, собственно древесину, живой тонкий слой – камбий и кору, состоящую из луба и поверхностной корки. Серцевина близка к центру ствола, диаметр её обычно 2...5 мм. Камбий обеспечивает жизнь дерева. В нём активно делятся клетки, что приводит к росту дерева. Сезонные изменения активности камбия обуславливают образование годичных колец древесины.

Древесина представляет сложный комплекс в анатомическом строении. Она состоит из двух типов клеток: прозенхимных и паренхимных. Первые имеют длину во много раз больше ширины. Эти клетки придают древесине волокнистое строение; они в основном мёртвые. К ним относятся трахеиды, клетки либриформа и сосуды. Паренхимные клетки коротки, их длина и ширина примерно одинаковы, они в основном живые. Древесина на 90 – 95% состоит из мёртвых прозенхимных клеток.

Клетки одинакового строения, выполняющие одну и ту же функцию, образуют ткани. Различают три типа тканей: механические, проводящие и запасающие. В хвойной древесине механические функции выполняют поздние (осенние) трахеиды, а в лиственной – волокна либриформа и волокнистые трахеиды.

Древесина хвойных пород имеет относительно простое строение, так как на 90 – 95% состоит из трахеид – длинных тонких клеток с плоскими или веретенообразными закрытыми концами. Они направлены вдоль ствола дерева. При переходе от ранней древесины к поздней диаметр клеток уменьшается, а клеточные стенки становятся толще. Средняя длина трахеид сосны 2,6 мм, ели 4,7 мм, у весенних трахеид отношение диаметра к длине составляет 1:100, у осенних – 1:200...400.

Древесина лиственных пород имеет более сложное строение. Проводящую функцию у лиственных пород выполняют сосуды и трахеиды (сосудистые, а также волокнистые), механическую – волокна либриформа и (или) волокнистые трахеиды, запасающую – паренхимные клетки.

Сосуды занимают довольно большую часть объема ствола, у разных пород она колеблется в пределах 10 – 55 %. Они представляют собой длинные вертикальные трубки, состоящие из члеников – отдельных коротких клеток с широкими полостями и тонкими стенками. Длина сосудов 300 – 700 мм, диаметр 5 – 100 мкм [Фенгел, 1988].

Основная механическая ткань - либриформ у многих лиственных пород занимает наибольшую часть объема древесины ствола, ее содержание у разных пород колеблется в пределах 35 - 75 %. Это вытянутые клетки с заостренными концами, узкими полостями и мощными стенками. Размеры древесных волокон (либриформа и волокнистых трахид) осины: длина 0,55...1,60 мм, диаметр 20...44 мкм, толщина стенок 1,5...1,7 мкм, берёзы соответственно: 0,31...1,60 мм; 14...40 мкм; 1,9...3,0 мкм [Уголев, 2007].

Древесина состоит из мёртвых клеток, то есть только из одних клеточных оболочек или «клеточных стенок». Основное вещество, слагающее клеточную стенку и определяющее слоистость её строения, – целлюлоза. Целлюлоза (старое название клетчатка) – органическое соединение, углевод, полисахарид с формулой  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Молекула целлюлозы имеет линейное неразветвлённое строение со степенью полимеризации от 5000 до 10000. Молекулярная масса звена целлюлозы 162, молекулярная масса макромолекул целлюлозы варьирует в широких пределах от 800 тысяч до 1,6 млн.

Пучки из 30 – 40 молекул целлюлозы упакованы в элементарные фибриллы, а те в свою очередь в микрофибриллы. Это лентоподобные образования, имеющие размеры по толщине 5 – 10 нм, ширине 10 – 30 нм и длине – несколько микрометров. Их можно выделить при химической обработке древесины. Микрофибриллы в свою очередь образуют фибриллы, – тонкие целлюлозные волоконца, получаемые при размоле древесины.

Клеточная стенка состоит из нескольких слоёв. Целлюлозные микрофибриллы образуют каркас этих слоёв. Они располагаются в слоях под разными углами, что обеспечивает высокую прочность оболочки и древесины в целом.

Кроме целлюлозы основными химическими веществами древесины являются гемицеллюлозы и лигнин. Гемицеллюлозы – полисахариды с меньшей, чем у целлюлозы молекулярной массой (10000 – 40000), состоящие из остатков разных пентоз и гексоз. Лигнин – ароматический полимер, макромолекулы которого построены из фенилпропановых звеньев. Целлюлозные микрофибриллы в клеточной стенке заключены в аморфной массе гемицеллюлоз и лигнина, которые частич-

но проникают внутрь микрофибрилл. Другая часть лигнина находится между клетками в срединной пластинке.

Химический состав древесины различных пород существенно колеблется. В наших обычных хвойных породах (сосна, ель) содержание целлюлозы находится на уровне 40 – 51%, в лиственных (осина, берёза) 35 – 52%. В хвойных породах содержится больше лигнина (25 – 29%), меньше гемицеллюлоз (17 – 25%), чем в лиственных (соответственно 17 – 22 и 20 – 30%).

В коре дерева наружный слой – корка предназначен предохранять живые ткани ствола от резких колебаний температуры, испарения влаги, проникновения грибов, бактерий и механических повреждений. Внутренний слой – луб (флоэма) прилегает к камбию. В растущем дереве луб проводит вниз по стволу образующиеся в листьях органические питательные вещества.

Ткани луба делятся на три вида: проводящие, механические и запасающие. Проводящую функцию выполняют ситовидные анатомические элементы. В лубе хвойных деревьев это узкие клетки, расположенные вертикальными рядами, а в лиственных породах – ситовидные трубки, состоящие из отдельных элементов. В табл. 3.1 приведён относительный объём коры в стволе распространённых российских пород древесины.

Таблица 3.1. Относительный объём коры в стволе  
[Анучин, 2004]

Порода	Объём коры, %	Порода	Объём коры, %
Сосна	10 – 16	Осина	11 – 20
Ель	6 – 13	Берёза	13 – 15
Лиственница	22 – 25	Дуб	14 – 21
Пихта	11 – 19	Бук	7 – 11
Кедр	6 – 10	Липа	12 – 16

К механическим относятся лубяные волокна из рядов узких толстостенных клеток и каменистые клетки. Последние, имеющие вид многогранников, значительно короче, но обычно шире лубяных волокон. Свое название они получили за твердость стенок, которые сильно утолщены и пропитаны лигнином. Запасающую функцию в лубе выполняют паренхимные клетки, аналогичные древесным. Они занимают основную массу ткани луба.

Корка содержит прослойки перидермы и участки заключенного между ними отмершего луба. Основная масса перидермы состоит из пробковых клеток. Пробковые клетки имеют форму многогранников, несколько вытянутых вдоль оси ствола и сплюснутых в радиальном направлении. Они располагаются радиальными рядами, очень плотно, и вскоре после образования отмирают. Это связано с отложением в их стенках суберина — смеси сложных эфиров алифатических длинноцепочных гидроокислотов. Суберин находится только в коре.

Субериновый слой аморфного строения накладывается на первичную целлюлозную оболочку, имеющую фибриллярную структуру. Прослойки суберина чередуются с прослойками воска, который и обеспечивает главным образом непроницаемость клеточных стенок (они не имеют пор) для воды и газов. Тонкостенные пробковые клетки, заполненные воздухом, обладают хорошими теплоизоляционными свойствами. Толстый слой корки предохраняет ствол от обгорания при лесных пожарах. Защитные функции корки в растущем дереве обусловлены в основном присутствием в ней пробковых клеток.

Соотношение между основными органическими веществами в коре иное, чем в древесине, здесь значительно меньше целлюлозы (особенно в корке — в 3...9 раз). Кроме того, в наружной части коры содержится суберин, которого нет в древесине. Содержание лигнина в корке и лубе отличается. Так, в корке сосны, ели и осины оно находится на уровне 12 — 30%, против 4 — 12% в лубе. А в коре берёзы наоборот — 6 и 20% соответственно.

Древесина имеет гетерокапиллярную структуру. В ней присутствуют капиллярные пространства различных размеров. Пористая структура древесины имеет важное значение для процессов смачивания и растекания связующего и растворов добавок по поверхности древесных частиц.

Капиллярные пространства древесины подразделяют на две группы: пространства 1-го порядка — макрокапилляры, называемые порами, и более маленькие 2-го порядка микрокапилляры, диаметр которых менее  $2 \cdot 10^{-5}$  м. К капиллярным пространствам 1-го порядка относятся большие капилляры: межклеточные пространства, полости клеток и поры в стенках клеток. К капиллярным пространствам 2-го порядка относят наиболее тонкие капилляры в клеточной стенке между фибриллами, микрофибриллами и внутри микрофибрилл. Они в растущем дереве играют важную функцию подъёма питательных веществ в крону. При радиусе пор  $10^{-5}$  м, который соответствует примерной границе между микрокапиллярами и порами, высота подъема воды по

вертикали за счёт сил поверхностного натяжения составляет 1,5 м [Чудинов, 1984].

Таким образом, в абсолютно сухом состоянии древесина представляет двухкомпонентную систему из древесинного вещества и воздуха. Плотность древесинного вещества 1530 кг/м<sup>3</sup>. Каждая порода древесины имеет свою плотность (табл. 3.2). Объём воздуха в сухой древесине или её пористость рассчитывают по формуле:

$$П = (1 - \rho_0/\rho_{д.в.})100, \quad (3.1)$$

где: П – пористость сухой древесины, %;  $\rho_0$  – плотность абсолютно сухой древесины, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{д.в.}$  – плотность древесинного вещества, кг/м<sup>3</sup>.

Рассчитанная нами пористость древесных пород, наиболее широко применяемых в производстве древесностружечных плит, представлена в табл. 3.2. Видно, что объём воздуха в сухих древесных частицах, поступающих в смесители, больше объёма древесного вещества, который предстоит склеить.

Базисная плотность и плотности древесины с разной влажностью используются в технологических расчётах. Базисная плотность показывает количество древесинного вещества в единице объёма максимально разбухшей древесины при влажности выше предела гигроскопичности, т.е. выше 30%. Она рассчитывается по формуле:

$$\rho_{баз.} = m_0/V_{п.г.}, \quad (3.2)$$

где:  $\rho_{баз.}$  – базисная плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $m_0$  – масса абсолютно сухой древесины, кг;  $V_{п.г.}$  – объём разбухшей древесины при влажности равной или выше предела гигроскопичности, м<sup>3</sup>.

В табл. 3.2 приведены плотности плодовых деревьев яблони и груши. В практике заводов древесностружечных плит, расположенных в южной зоне России, бывают случаи предложений фермерских хозяйств о поставке крупных партий древесины от вырубки садов.

Таблица 3.2. Плотность [Уголев, 2007] и пористость древесины

Порода древесины	Базисная плотность, $\rho_{\text{баз.}}$ кг/м <sup>3</sup>	Плотность, кг/м <sup>3</sup> , при влажности древесины, %			Пористость, %
		0, $\rho_0$	12, $\rho_{12}$	60, $\rho_{60}$ [1]	
Сосна	415	480	505	680	69
Ель	365	420	445	600	72
Лиственница	540	635	665	880	58
Пихта	310	350	375	510	77
Кедр	360	405	435	575 (P)	74
Осина	400	465	495	660	70
Берёза	520	620	640	840	59
Ольха	430	495	525	700	68
Тополь	375	425	455	610	72
Дуб	570	655	690	930	57
Бук	560	650	680	890	58
Груша	585	670	710	935 (P)	56
Яблоня садовая	535 (P)	615 (P)	650 [2]	855 (P)	60 (P)

[1] → [Отлев, 1990]; [2] → [Кедров, 2012]; (P) → (Расчёт по формулам 3.4 – 3.10).

В таблице также приведена плотность древесины разных пород влажностью 60%. Значительная часть древесного сырья поступает на заводы ДСП в виде стволовой древесины (дрова, балансы). Они имеют высокую влажность на уровне 60%, что несколько меньше влажности свежесрубленной древесины (таб. 3.3).

Таблица 3.3. Абсолютная влажность свежесрубленной древесины [Расев, 1990]

Порода	Влажность, %	Порода	Влажность, %
Сосна	60 – 100	Осина	80 – 100
Ель	60 – 100	Берёза	70 – 90
Лиственница	50 – 70	Дуб	60 – 80

Плотность древесины при другом уровне влажности можно вычислить по формулам, приведённым в табл. 3.4. Вычисления производятся, используя значение плотности древесины влажностью

12%, которая называется нормализованной или стандартной влажностью.

В древесине всегда содержится некоторое количество влаги. Различают два показателя, характеризующие содержание влаги: влажность древесины (относительная влажность) и влагосодержание (абсолютная влажность).

Влажность (относительная влажность) – это содержание влаги, отнесенное к массе сырой (влажной) древесины и выраженное в процентах. Влагосодержание (абсолютная влажность) – это содержание влаги в процентах по отношению к массе абсолютно сухой древесины. Абсолютно сухой древесиной условно принято считать древесину, высушенную до постоянной массы при 105° С (такая древесина всегда содержит небольшое количество влаги).

Таблица 3.4. Формулы для определения различных показателей плотности древесины по её плотности при нормализованной влажности  $\rho_{12}$  [Уголев, 2007]

Показатели	Порода древесины	
	Берёза, бук, лиственница	Остальные породы
Плотность абсолютно сухой древесины	$\rho_w = 0,957 \rho_{12}$ (3.3)	$\rho_w = 0,946 \rho_{12}$ (3.4)
Базисная плотность древесины	$\rho_w = 0,811 \rho_{12}$ (3.5)	$\rho_w = 0,823 \rho_{12}$ (3.6)
Плотность древесины при влажности $W = 0 - 30\%$	$\rho_w = 0,957 \rho_{12} \times (100 + W) / (100 + 0,6W)$ (3.7)	$\rho_w = 0,946 \rho_{12} \times (100 + W) / (100 + 0,5W)$ (3.8)
Плотность древесины при влажности $W > 30\%$	$\rho_w = 0,811 \rho_{12} \times (1 + 0,01W)$ (3.9)	$\rho_w = 0,823 \rho_{12} \times (1 + 0,01W)$ (3.10)

Различают две формы воды, содержащейся в древесине, – связанную (или гигроскопическую) и свободную. Связанная (адсорбционная и микрокапиллярная) вода находится в клеточных стенках, а свободная – в полостях клеток и в межклеточных пространствах. Связанная вода прочно удерживается в основном физико-химическими связями; удаление этой воды, особенно ее адсорбционной фракции, затруднено и существенно отражается на большинстве свойств древесины. Свободная вода, удерживаемая силами капиллярного взаимодействия, удаляется значительно легче и оказывает меньшее влияние на свойства древесины. Принято называть

древесину влажной, если она содержит только связанную воду, и сырой, если она содержит кроме связанной и свободную воду.

Для древесных пород, произрастающих в умеренном климатическом поясе, удаление основной массы свободной влаги происходит при сушке до влажности около 30%, после чего до влажности 5 – 6% удаляется главным образом связанная влага микрокапиллярной конденсации, а в дальнейшем – адсорбционно связанная влага [Никитин, 1962]. Резкой границы между удалением адсорбционно связанной влаги и связанной влаги капиллярной конденсации провести нельзя, так как оба процесса протекают одновременно.

Связанная или гигроскопическая влага обладает свойствами, резко отличающимися от обычной воды. Молекулы воды, адсорбированные целлюлозой в первые несколько слоёв, разрывают существующие в целлюлозе водородные связи и связываются с гидроксилами целлюлозы. Это приводит к более плотной упаковке молекул воды. В результате плотность воды в этих первых слоях адсорбированной влаги вместо обычной 1000 кг/м<sup>3</sup> доходит до 2600 кг/м<sup>3</sup>. [Никитин, 1978]. Гигроскопическая влага при 100 °С не кипит, а испаряется без кипения [Чудинов, 1984]. Низкотемпературные воздействия не вызывают замерзания связанной воды, тогда как свободная вода образует лёд [Азаров, 1999].

Карбамидоформальдегидные (КФС) и меламинакарбамидоформальдегидные (МКФС) смолы, применяемые в производстве ДСП, отверждаются в кислой среде. Древесина и кора содержат органические кислоты, поэтому водные вытяжки из них имеют кислую реакцию, характеризующейся концентрацией водородных ионов (рН) менее 7,0 (табл. 3.5). Горячая вода извлекает из древесины и коры больше кислых соединений, чем холодная, причем кора имеет более кислую реакцию, чем древесина.

Таблица 3.5. Значения рН водных экстрактов древесины и коры [Фенгел, 1988]

Порода	Древесина	Кора
Сосна	4,4/4,2	3,8/3,5
Ель	4,9/4,6	3,9/3,6
Дуб	4,9/4,8	4,2/3,9
Бук	5,5/5,3	5,4/5,0
Осина	-/4,8 [1]	5,9/- [2]
Берёза	-/4,1 [1]	4,6/- [2]

В числителе – данные при обработке холодной водой, в знаменателе – горячей. [1] → [Романов, 2016]; [2] → [Иржигитова, 2009]

В процессе горячего прессования плит при нагреве стружек из них выделяется дополнительное количество органических кислот – муравьиной и уксусной (табл. 3.6). С повышением температуры выделение кислот увеличивается. Однако при прессовании плит высокая температура достигается не по всей их толщине, в среднем слое максимальная температура 130 °С. Выделение кислот при этой температуре небольшое – около 1%. А самое главное – сила кислот.

Таблица 3.6. Количество летучих кислот, выделяющихся из древесины при её нагреве, [Шварцман, 1987]

Температура, °С	Количество летучих кислот, % от абс сух. древесины		
	Сосна	Ель	Берёза
125	0,53	0,58	1,20
150	2,24	2,39	4,88
175	2,85	3,03	6,07
200	3,42	3,64	7,14

К кислотам относятся вещества, способные диссоциировать в растворах с образованием ионов водорода и способные отдавать эти ионы водорода, т.е. быть источником протонов. Кислоты классифицируют по их силе, по основности и по наличию или отсутствию кислорода в молекуле кислоты. По силе кислоты делят на сильные, средние и слабые. По основности, т.е. по числу атомов водорода в молекуле кислоты, кислоты подразделяют на одноосновные, например, соляная HCl, двухосновные, например, серная H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, трёхосновные, например, ортофосфорная H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и т.д. По наличию кислорода в молекуле различают кислородсодержащие кислоты (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>) и бескислородные кислоты (HCl).

Мерой силы кислот является степень их диссоциации в растворе. Сильные кислоты диссоциируют практически нацело, а слабые кислоты – только частично. Для каждой кислоты определена константа диссоциации K<sub>a</sub> [Глинка, 2002]. Чаще вместо константы диссоциации кислоты K<sub>a</sub> используют показатель константы кислотности рK<sub>a</sub>, который определяется как отрицательный логарифм константы K<sub>a</sub> и выражается в моль/л (табл. 3.7). Чем меньше значение константы, тем сильнее кислота. Для многоосновных кислот приведены константы кислотности по ступеням диссоциации – рK<sub>a1</sub>... рK<sub>a3</sub>. С увеличением ступени кислотность снижается.

Как видно из приведённых данных, муравьиная и уксусная кислоты слабые кислоты. А качественное отверждение КФС происходит при  $pH = 3,3$  и менее [Кантиева, 2021], а МКФС – при  $pH = 4,0$  и менее [Романов, 2016]. Кислоты, выделяющиеся из древесины, не могут обеспечить нужный для поликонденсации уровень  $pH$ . Поэтому в качестве отвердителей используют аммонийные соли сильных кислот: соляной, серной и азотной. При смешивании со смолой они реагируют со свободным формальдегидом, образуются гексаметилентетрамин (уротропин), кислота и вода:

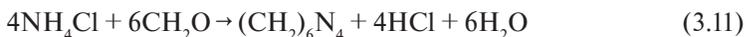


Таблица 3.7. Ряд сил кислот [Константа. Википедия 1, 2022]

Название кислоты	Формула	$pK_{a1}$	$pK_{a2}$	$pK_{a3}$	Степень диссоциации кислоты, %
Сильные кислоты					
Йодистоводородная	HI	-10			100
Бромоводородная	HBr	-9			100
Соляная (хлороводородная)	HCl	-7			100
Серная	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-3			99,9
Азотная	HNO <sub>3</sub>	-1,4			96,3
Средние кислоты					
Щавелевая	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1,42	4,27		17,7
Сернистая	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	1,92	7,20		10,4
Фосфорная	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	2,10	7,12	12,4	8,52
Слабые кислоты					
Муравьиная [1]	HCOOH	3,75			-
Уксусная	CH <sub>3</sub> COOH	4,76			0,42
Угольная	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	6,37	10,3		0,06

[1] → [Константа, Википедия 2, 2022]

Есть и другое химическое обоснование применения сильных кислот для отверждения смол. Древесина обладает буферной ёмкостью по отношению к кислотам. При нанесении смолы на древесные частицы вода, содержащаяся в смоле, извлекает из древесины не только кислоты,

но и другие водорастворимые вещества, в том числе щелочные. В результате образуются буферные растворы. Это растворы с определённой концентрацией водородных ионов, рН которых мало изменяется при прибавлении к ним небольших количеств сильной кислоты.

Буферные растворы сохраняют своё действие до определённого количества добавляемой кислоты. Способность буферного раствора сохранять свой рН определяется его буферной ёмкостью. Буферная ёмкость – число молей эквивалента сильной кислоты, которые следует прибавить к 1 л буферного раствора, чтобы его рН изменился на единицу. Буферная ёмкость тем выше, чем больше концентрация его компонентов. В табл. 3.8 приведены показатели буферных растворов разных пород древесины.

Породы древесины имеют значительно различающиеся уровни кислотной буферной ёмкости. Наименьшая, – 4,49 моль экв. у осины, а максимальные у берёзы (8,03 м экв.) и дуба (11,07 м экв.). Не случайно заводы ДСП, расположенные на территории фанерных предприятий и использующие в качестве сырья отходы берёзы от фанерного производства, вынуждены работать на повышенных расходах отвердителя.

Таблица 3.8. Буферная ёмкость древесины [Романов, 2016].

Древесина	Количество веществ, экстрагируемых горячей водой, %	рН	Кислотная буферная ёмкость, моль экв.
Сосна	1,77	4,25	5,94
Ель	1,15	4,73	4,57
Пихта	1,75	4,97	6,75
Осина	1,34	4,75	4,49
Берёза	1,01	4,07	8,03
Дуб	1,95	3,84	11,07

Буферная ёмкость древесины снижается в процессе хранения сырья на территории открытой биржи. Сырьё оmyвается дождями, происходит естественный процесс вымывания сильного щелочного компонента, который является обязательным условием кислотной буферной системы.

Исследовали рН водных вытяжек из смеси стружек, изготовленных из свежей и выдержанной на открытом воздухе древесины [Плотникова, 2011]. При увеличении содержания стружки из выдержанной древе-

сины от 10 до 100% рН смеси снижается на 1,32 единицы, что говорит об отсутствии эффекта буферной ёмкости. Опытные технологи завода ДСП при возможности дают поступившей свежей древесине немного полежать на бирже под дождём. Этот приём позволяет сократить расход отвердителя.

Показатель плотности для коры является, как и для древесины, одним из важнейших (табл. 3.9). Нужно отметить, плотность коры исследована гораздо меньше, чем древесины; имеющиеся данные отличаются большим разбросом.

Таблица 3.9. Плотность коры [Уголев, 2007]

Порода древесины	Плотность, кг/м <sup>3</sup> , при влажности коры, %		Порода древесины	Плотность, кг/м <sup>3</sup> , при влажности коры, %	
	0, $\rho_0$	12, $\rho_{12}$		0, $\rho_0$	12, $\rho_{12}$
Сосна	652	680	Осина	560 (P)	590 [1]
Ель	715	730	Берёза	736	740
Лиственница	365 (P)	380 [1]	Ольха	420 (P)	440 [1]
Пихта	445 (P)	470 [1]	Тополь	455 (P)	480 [1]
			Дуб	455 (P)	480 [1]
			Бук	880 (P)	920 [1]

[1] → [Полубояринов, 1976]; (P) → (Расчёт по формулам 3.3 и 3.4)

Сравнение этих данных со средней плотностью древесины при влажности 12 % показывает, что плотность коры большинства пород выше, чем древесины, за исключением лиственницы, ольхи и дуба. Для определения плотности коры других пород при других значениях влажности по аналогии с древесиной можно использовать формулы 3.3...3.10.

В табл. 3.10 приведены сравнительные данные прочности и максимального водопоглощения древесины и коры. Влажность древесины 12%, коры – 9...10%.

Таблица 3.10. Прочность и максимальное водопоглощение древесины [Уголев, 2007] и коры [Боровиков, 1989]

Порода	Прочность древесины при изгибе, МПа	Прочность при сжатии, МПа		Прочность при растяжении, МПа		Максимальное водопоглощение, %	
		Древесина	Кора	Древесина	Кора	Древесина	Кора
Сосна	85	46	6,3	109	1,8	185	203
Ель	79	45	4,1	101	2,5	212	140
Лиственница	109	62	3,8	124	1,7	126	149
Пихта	68	40	3,9	66	2,4	268	-
Осина	77	43	12,3	121	10,5	185	95
Берёза	110	54	19,6	137	2,2	135	63
Ольха	79	45	9,2	97	5,6	-	-
Тополь	68	40	16,1	88	10,3	212	158
Дуб	103	57	19,6	105	2,2	116	117

Несмотря на повышенную плотность, прочность коры значительно ниже прочности древесины той же породы. Это объясняется различным химическим составом. В коре содержание целлюлозы, — главного армирующего материала, — меньше в 3...9 раз, чем в древесине. А максимальное водопоглощение коры лиственных пород и ели меньше, чем древесины соответствующих пород. Объяснение тоже лежит в химическом составе коры, а именно в присутствии в коре гидрофобных веществ: воска и суберина.

В производстве древесностружечных плит широко используются дровяная древесина и отходы, например, фанерные карандаши, в которых имеется гниль. Если гниение древесины находится в начальной стадии, древесина по механическим свойствам почти не уступает здоровой и может быть использована в производстве плит. Гниль в конечной стадии изменяет структуру древесины. Такая древесина при переработке в производстве ДСП превращается в пыль, излишек которой приводит к снижению прочности плит.

Наружная трухлявая гниль возникает в заболони и ядре лесоматериалов всех пород вследствие поражения древесины сильными дереворазрушающими грибами при длительном неправильном её хранении. Загнивание наблюдается преимущественно в наружных частях как заболонной, так и ядровой зоны сортимента, охватывает все поперечное

сечение или часть его и распространяется вглубь древесины. В некоторых случаях поражение может начинаться во внутренних слоях древесины, куда споры грибов проникают через глубокие наружные трещины. Древесина вначале окрашивается в светло-бурый цвет разных оттенков, затем темнеет, становится бурой или темно-коричневой. На древесине появляются продольные и поперечные трещины, она распадается на призматические кусочки, легко крошится и растирается в порошок, т. е. образуется типичная деструктивная гниль. При хранении непросушенной древесины процесс ее разрушения продолжается.

Ядровая гниль образуется в древесине растущего дерева под действием разрушающих грибов. При этом снижается твердость и прочность древесины; происходит изменение ее структуры и цвета. В растущем дереве различают напённую и стволовую гниль. Напённая гниль возникает в корнях или в поврежденных местах комлевой части ствола. Постепенно суживаясь, она распространяется вверх по стволу иногда на несколько метров. Стволовая гниль начинается от обломанных ветвей или ран на стволе, распространяясь от мест заражения вверх и вниз; имеет форму сигары. До комлевой части ствола гниль обычно не доходит. На торцах лесоматериалов гниль наблюдается в виде крупных пятен различных очертаний - лунок, колец или сплошной зоны поражения в центральной части ствола; иногда зона поражения смещена от центра и даже выходит на периферию. На продольных разрезах гниль заметна в виде полос.

Различают три стадии развития гнили: первую, когда изменяется только цвет древесины; вторую, когда частично нарушается структура и снижается твердость древесины; третью, когда древесина полностью утрачивает твердость и прочность. Плотность в конечной стадии снижается в 2-2,5 раза, водопоглощение и водопроницаемость повышаются.

Заболонная гниль возникает в заболони срубленной древесины хвойных и лиственных пород под воздействием дереворазрушающих грибов. Появляется ненормальная окраска, твердость древесины при этом сохраняется или снижается. Заболонная гниль развивается при длительном неправильном хранении круглых лесоматериалов. Гниль наблюдается в виде пятен и полос, а иногда захватывает всю заболонь. У хвойных пород зоны поражения желтовато-бурого цвета. У лиственных пород гниль имеет чаще всего пеструю окраску, напоминающую рисунок мрамора; грязно-белые участки ограничены от бурых тонкими черными линиями. Зона поражения может иногда захватить ядро и спелую древесину (особенно у лиственных пород). При твердой гнили древесина лишь изменяет окраску, а переходя в мягкую - она ста-

новится более светлой, легкой, рыхлой и почти полностью теряет способность сопротивляться нагрузкам. Даже твердая заболонная гниль у хвойных пород (сосна, ель) снижает предел прочности при сжатии древесины вдоль волокон до 25 – 30%, а при статическом изгибе – до 22%. Водопоглощение и водопроницаемость увеличиваются. Заметно ухудшаются механические свойства и у пораженной древесины лиственных пород (береза, бук).

При содержании в древесине большого количества гнили ее необходимо выкалывать до передачи в производство. Для этого разработаны комплекты оборудования в виде поточных линий.

В производстве древесностружечных плит широко используются измельченные древесные материалы, как в качестве сырья (технологическая щепа, опилки, отходы), так и частиц плиты (стружка, микростружка). Для них важной характеристикой является насыпная плотность (табл. 3.11).

Таблица 3.11. Насыпная плотность сыпучих древесных материалов [Отлев, 1990]

Материал	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>
Технологическая щепа хвойных пород при влажности, %	
70	260
80	280
90...100	300
120	360
Опилки	
сырые (W = 80%)	150...200
сухие (W = 3...4%)	100...120
Стружка-отходы от фрезерных и строгальных станков при влажности 10%	50...110
Резаная стружка от станков с ножевым валом	
сырая (W = 80%)	150...200
сухая (W = 3...4%)	80...120
Резаная стружка от центробежных стружечных станков	
сырая (W = 80%)	110...150
сухая (W = 3...4%)	80...120
Мелкие древесные частицы от мельниц	
сырые (W = 80%)	130...140
сухие (W = 3...4%)	80...120

Материал	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>
Микростружка сухая (W = 3...4%)	120...180
Технологическая пыль от специальной резаной стружки сухая (W = 3...4%)	140...150
Шлифовальная пыль сухая (W = 3...4%)	150...180

Величины насыпной плотности используются при расчёте оборудования для хранения, транспортировки, дозирования сыпучих материалов. Высокие диапазоны variability показателя, достигающие до 50...60 кг/м<sup>3</sup>, объясняются различающимися по предприятиям композициями древесного сырья и фракционными составами древесных частиц.

Древесина является ценным экологически безопасным и возобновляемым сырьём. Она имеет сложную структуру и химическое разнообразие. Технологи завода ДСП должны знать и учитывать это при принятии рабочих решений.

#### 4. Влияние свойств древесного сырья и параметров стружки на показатели древесностружечных плит

Влияние свойств древесного сырья и стружки на показатели плит интенсивно изучалось учёными в период становления технологии производства ДСП в середине прошлого века. Наибольший вклад в Европе внесли немецкие исследователи, в нашей стране – специалисты Центрального научно-исследовательского института фанеры (ЦНИИФ, г. Санкт-Петербург). Сейчас сложно найти первоисточники данных по этому вопросу, поэтому даём ссылки на более позднюю доступную литературу, перепечатавшую их.

Породный состав древесного сырья и параметры стружки оказывают влияние на свойства древесностружечных плит, однако нередко имеющиеся в литературе экспериментальные данные носят противоречивый характер. В табл. 4.1 приведено изменение прочности при изгибе и разбухание по толщине плит разной плотности, изготовленных из древесины разных пород [Шварцман, 1977, 1987]. Там же приведена средняя плотность абсолютно сухой древесины этих пород, как одна из важнейших характеристик древесины [Уголев, 2007].

Таблица 4.1. Влияние породы древесины и плотности древесностружечных плит на физико-механические свойства плит

Порода древесины	Плотность древесины, $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Прочность при изгибе, МПа				Разбухание за 24 ч., %			
		при плотности древесностружечных плит, кг/м <sup>3</sup>							
		500	600	700	800	500	600	700	800
Сосна	480	21	28	37	49	16,0	17,5	18,5	19,0
Ель	420	19	25	34	46	15,0	17,0	18,0	18,5
Берёза	620	13	20	30	42	13,5	15,0	16,0	17,0
Осина	465	11	19	28	40	13,0	14,0	15,0	16,0
Бук	650	8	15	25	37	11,0	13,0	14,5	15,0

Представленные данные показывают, что плотность древесины, из которой изготовлены плиты, не является основным фактором, опре-

деляющим физико-механические свойства древесностружечных плит. Прочность при статическом изгибе выше у плит из хвойной древесины, а разбухание по толщине ниже у плит из лиственной древесины. Эту закономерность можно объяснить тем, что у хвойных и лиственных пород различные размеры волокон. Древесина хвойных пород на 90...95 % состоит из трахеид – длинных, тонких клеток с плоскими или веретенообразными закрытыми концами. В древесине лиственных пород основная механическая ткань состоит из волокон либриформа и волокнистых трахеид. Их суммарное содержание составляет 35...75 %. В табл. 4.2 приведены размеры волокон [Никитин, 1962].

Таблица 4.2. Размеры волокон древесины

Порода	Вид волокон	Длина, мм	Диаметр, мкм
Сосна	трахеиды	2,6...4,4	30...75
Ель		2,6...3,8	25...69
Берёза	либриформ	0,8...1,6	14...40
Осина		0,8...1,7	20...45

Древесина хвойных пород имеет значительно более длинные волокна, чем древесина лиственных пород. Это обеспечивает образование хорошо переплетённой структуры плиты из хвойной стружки, что даёт высокую прочность при изгибе. При горячем прессовании происходит уплотнение древесины. Короткие волокна лиственных пород легче перемещаются относительно друг друга, образуя более упакованную структуру. В присутствии воды лиственная древесина разбухает в меньшей степени по сравнению с хвойной, волокна которой дают наибольшую релаксацию и стремятся вернуть первоначальную переплетённую структуру.

В табл. 4.3 приведены данные А.А. Эльберта по водостойкости однослойных древесностружечных плит из разных пород древесины, содержащих 7 % карбамидоформальдегидной смолы [Эльберт, 1970]. Между показателями водостойкости плит – разбуханием и водопоглощением, наблюдается высокая корреляционная связь.

Таблица 4.3. Влияние породы древесины на водостойкость однослойных древесностружечных плит

Порода древесины	Плотность древесины, кг/м <sup>3</sup>	Плотность плит, кг/м <sup>3</sup>	Разбухание за 24 ч, %	Водопоглощение за 24 ч, %
Осина	465	660	34,0	80,6
Берёза	620	670	31,2	73,4
Ель	420	650	28,8	75,9
Сосна	480	660	24,8	69,0
Дуб	655	680	12,6	40,5

В отличие от данных, приведённых Г.М. Шварцманом, в исследовании А.А. Эльберта плиты из стружки хвойных пород имеют меньшее разбухание за 24 часа по сравнению с плитами из берёзовых и осиновых стружек. Автор исследования считает, что высокое разбухание плит из осиновой стружки происходит вследствие низкой плотности и водостойкости осины. Поскольку осина имеет низкую плотность во время прессования она значительно уплотняется, а в присутствии воды релаксирует на большую величину. Сказывается и роль связующего. Осина и берёза – лиственные породы, хорошо впитывающие смолу. Уход части связующего из зоны склеивания приводит к повышенному разбуханию плиты.

Показатели водостойкости древесностружечных зависят главным образом от плотности плиты и содержания связующего, причём большее влияние имеет второй параметр [Эльберт, 1984]. Таким образом, при изготовлении трёхслойных плит их водостойкость определяется главным образом параметрами внутреннего слоя, поскольку содержание связующего в нём значительно меньше, чем в наружных слоях. В табл. 4.4 показано влияние породы древесины на прочность и водостойкость трёхслойных плит [Liiri, 1961].

Таблица 4.4. Влияние породы древесины на физико-механические свойства трёхслойных древесностружечных плит

Порода древесины стружек по слоям плиты		Прочность при изгибе, МПа	Водопоглощение за 24 ч., %
наружные	внутренний		
Берёза	Сосна	27,9	61,8
Осина	Сосна	41,3	57,1
Берёза	Берёза	22,6	54,5
Ольха	Сосна	38,6	52,9
Сосна	Сосна	39,6	51,5
Ель	Сосна	37,4	45,8
Сосна	Берёза	35,7	45,1
Осина	Берёза	34,7	40,3
Ель	Берёза	29,3	37,8
Ольха	Берёза	32,8	35,4

Наименьшее водопоглощение, наблюдается у плит, внутренние слои которых изготовлены из берёзовой стружки, то есть лиственной древесины, а максимальное — у плит с внутренним слоем из сосновой стружки. Древесина стружки наружных слоёв не имеет принципиального значения на показатель водостойкости.

Для проведения анализа прочности плит перестроили таблицу 4.4, расположив показатели прочности в порядке убывания (табл. 4.5). Все результаты сгруппировались в три группы в соответствии с материалом внутреннего (первые две группы) и наружного слоя. Стружка внутреннего слоя первой самой прочной группы плит изготовлена из сосны, вторая, — менее прочная, — из берёзы.

При приложении к плите изгибающей нагрузки работают преимущественно наружные слои, один сжимается, а противоположный — растягивается. Большинство материалов разрушаются при растяжении, до того, как они разрушатся при сжатии. Древесина — анизотропный материал, её прочность различна вдоль и поперёк волокон. Последняя в десятки раз меньше первой (табл. 4.5). Она и является слабым звеном при испытаниях на изгиб.

Внутренний слой первой группы плит с высокой прочностью изготовлен из сосновой стружки, а второй группы — из берёзовой. Породы имеют различную плотность: сосна — 480 кг/м<sup>3</sup>, берёза — 620 кг/м<sup>3</sup>. При горячем прессовании происходит интенсивное уплотнение стружки

наружных слоёв. Стружка внутреннего слоя из сосны занимает больший объём, по сравнению со стружкой из берёзы, и оказывает большее сопротивление наружному слою во время прессования. Это приводит к уплотнению наружных слоёв, повышению прочности. В случае, когда внутренний слой изготовлен из берёзовой стружки, процесс уплотнения наружных слоёв идёт не так активно, прочность плиты не поднимается до высокого уровня.

Таблица 4.5. Влияние породы древесины на прочность при изгибе трёхслойных древесностружечных плит

Порода древесины стружек по слоям плиты		Прочность ДСП при изгибе, МПа	Прочность древесины при растяжении поперёк волокон, $R_{12}$ , МПа, по слоям плиты	
			наружные	внутренний
Осина	Сосна	41,3	7,1	5,4
Сосна	Сосна	39,6	5,4	5,4
Ольха	Сосна	38,6	7,2	5,4
Ель	Сосна	37,4	5,0	5,4
Сосна	Берёза	35,7	5,4	11,1
Осина	Берёза	34,7	7,1	11,1
Ольха	Берёза	32,8	7,2	11,1
Ель	Берёза	29,3	5,0	11,1
Берёза	Сосна	27,9	11,1	5,4
Берёза	Берёза	22,6	11,1	11,1

Отдельная закономерность характерна для третьей группы ДСП с наружными слоями из берёзовой стружки. Это очень мощные слои с высокой прочностью при растяжении поперёк волокон. При испытании на изгиб происходит не разрушение наружных слоёв, а отслаивание их от внутреннего слоя. С этим эффектом столкнулись в цехах плит, расположенных на фанерных комбинатах. Когда для наружных слоёв использовали только берёзовую стружку, наружные слои отслаивались. Для устранения брака стали в стружку добавлять осину и хвойные породы.

Таким образом, для формирования прочности трёхслойных плит имеет значение породный состав в первую очередь внутреннего слоя. Более прочные ДСП получаются при использовании хвойной древесины.

Древесина содержит свободный формальдегид и выделяет дополнительный при термической обработке. Учёные из института WKI (Германия) определили, что эмиссия формальдегида в климатической камере из образцов натуральной древесины различных пород составляет 0,002 – 0,011 мг/м<sup>3</sup>. Максимальные показатели получены для древесины сосны и дуба [Еспаева, 2011].

Таким образом, древесина может вносить существенный вклад в токсичность древесностружечных плит. В табл. 4.6 приведены предельно-допустимые нормы содержания формальдегида в плите [ГОСТ 10632].

Таблица 4.6. Предельно-допустимые нормы содержания формальдегида и выделения формальдегида в воздух для древесностружечных плит разных классов эмиссии формальдегида

Класс эмиссии формальдегида	Предельно-допустимые нормы содержания формальдегида в плите, установленные перфораторным методом, мг/100 г абс. сухой плиты	Предельно-допустимые нормы выделения формальдегида из плиты в воздух, установленные методом испытания в климатической камере, мг/м <sup>3</sup> воздуха
Е 0,5	До 4,0 включ.	До 0,08 включ.
Е 1	Св. 4,0 до 8,0 включ.	Св. 0,08 до 0,124 включ.
Е 2	Св. 8,0 до 20,0 включ.	Св. 0,124 до 0,5 включ.

Таможенный Союз установил норму выделения формальдегида из мебели не более 0,1 мг/м<sup>3</sup> воздуха [ТР ТС 025/2012]. Россия внесла эту норму в свою нормативную базу [ГОСТ 16371-2014, Бардонов, 2017]. Поскольку современная мебель содержит большое количество древесностружечной плиты, производителям ДСП необходимо выполнять эту норму.

В процессе сушки стружки выделяются уксусная и муравьиная кислоты. Они создают благоприятные условия для реакции гидролиза лигнина и полисахаридов (особенно гексозанов) [Роффаэль, 1991]. Температура сушильного агента на выходе из сушилки 140 °С. Содержание формальдегида в отходящем воздухе при сушке сосновой стружки составило 6,5 мг/м<sup>3</sup>, при сушке еловой стружки – 5,9 мг/м<sup>3</sup> воздуха.

К выделению дополнительного формальдегида приводит и гидротермическая обработка древесины. Проварка ценных пород при температуре 90 – 110 °С повышает содержание формальдегида в стро-

ганом шпоне ясеня до 8,0 мг/100 г, а в шпоне дуба — до 4,1 мг/100 г [Анохин, 2002].

При горячем прессовании ДСП также выделяются кислоты, активно идёт гидролиз органических соединений и образуется формальдегид [Роффаэль, 1991]. В табл. 4.7 показано влияние породы древесины на выделение формальдегида при прессовании ДСП при 220 °С. Из лиственной древесины бука выделение формальдегида выше, чем из хвойных сосны и ели. Часть образующегося формальдегида остаётся в плите в результате сорбции её компонентами и увеличивает, таким образом, общую токсичность ДСП.

Таблица 4.7. Влияние породы древесины на содержание органических соединений в парогазовой смеси, выделяемой при прессовании древесностружечных плит

Порода древесины	Продолжительность прессования, мин	Содержание в конденсате, мг/100 г стружки		
		Общий объём	Формальдегид	Уксусная кислота
Сосна	5	9,13	0,12	3,60
	10	9,58	0,25	4,28
Ель	5	8,76	0,09	3,66
	10	8,99	0,23	4,02
Бук	5	9,40	0,15	3,36
	10	13,94	0,41	9,60

Присутствие коры в стружке ухудшает физико-механические свойства плит (табл. 4.8 и 4.9). С увеличением её доли значительно снижается прочность [Шварцман, 1987] и водостойкость ДСП [Эльберт, 1970].

Присутствие в стружке древесной гнили также ухудшает свойства плит. При получении стружки гниль превращается в пыль, которая активно поглощает смолу и тем самым снижает показатели плит. Надо удалять часть мелкой фракции из общего потока стружки.

Таблица 4.8. Прочность при статическом изгибе и растяжении перпендикулярно пласти древесностружечных плит с разным содержанием коры

Содержание коры, %	Прочность при изгибе, МПа	Содержание коры, %	Прочность при растяжении, МПа
0	22,5	0	0,64
20	21,6	10	0,59
40	19,4	20	0,50
60	16,0	30	0,42
80	12,8	40	0,32
100	8,7	-	-

Таблица 4.9. Влияние количества коры в стружке на разбухание древесностружечных плит

Вид плиты	Увеличение разбухания плит, %, при содержании коры в стружке, %						
	10	20	30	40	50	70	100
Однослойные	2	7	16	24	33	50	70
Трёхслойные с корой во внутреннем слое	2	4	8	14	21	36	-

Но удалять нужно не всю мелкую фракцию, а часть её. Оставшаяся часть должна обеспечить необходимую шероховатость поверхности – менее 32 мкм. Кроме этого, по данным Г.М. Шварцмана при содержании мелкой фракции 1/0 мм на уровне 12 – 15% прочность при статическом изгибе увеличивается на 20 – 30%, а при растяжении перпендикулярно пласти – на 12 – 16% [Шварцман, Щедро, 1987]. При дальнейшем увеличении содержания мелких частиц прочность плит снижается.

Форма и размеры древесных частиц оказывают значительное влияние на свойства плит. По данным Г.М. Шварцмана и Д.А. Щедро добавление во внутренний слой стружки-отходов, получаемой на фрезерных, строгальных, шипорезных станках, в количестве до 30 – 40% приводит к повышению прочности при растяжении перпендикулярно пласти на 30 – 36%. Такое влияние добавки стружки-отходов к кондиционной стружке авторы объясняют тем, что неплоская стружка-отходы (закрученная, закругленная и т. п.) частично располагается не в плоскости

плиты, а под углом. В результате этого сопротивление растяжению плит перпендикулярно пласти оказывают не только клеевые швы, но и волокна древесины. При дальнейшем увеличении количества стружки-отходов во внутреннем слое плит резко ухудшается качество их склеивания, что снижает предел прочности плит при растяжении перпендикулярно пласти и сопротивление плит выдергиванию шурупов.

Форма и размеры древесных частиц влияют и на водостойкость плит. Было найдено, что если прочность плит, изготовленных из специально нарезанной стружки, выше, чем плит из стружки-отходов, то показатели разбухания и водопоглощения плит из стружки-отходов лучше, чем плит из специально нарезанной стружки при равной плотности плит и одинаковом расходе связующего. По данным А.Ф. Дарды водопоглощение плит из специальной стружки составляет 75,7 %, а плит из стружки-отходов 54,7 %. Разбухание этих плит соответственно равно 25,3 и 8,3 % [Эльберт, 1970].

Лучшие показатели водостойкости плит из стружки-отходов объясняют тем, что более толстые стружки-отходы в большей степени покрываются плёнкой смолы, препятствующей проникновению воды в древесину, чем тонкие специальные стружки, имеющие большую поверхность. Эта закономерность подтверждается данными Г.М. Шварцмана, представленными в табл. 4.10 [Шварцман, 1977].

Таблица 4.10. Разбухание по толщине древесностружечных плит из разных древесных частиц

Вид измельчённой древесины	Конструкция плит	Разбухание по толщине, %	
		среднее	максимальное
Специально изготовленные стружки	Трёхслойные	12...20	25
	Однослойные	15...25	30
Стружки-отходы Дроблёнка	Однослойные	10...20	25
		10...20	25

В современных технологиях стружка-отходы и дроблёнка используются, но сушатся и сортируются вместе с основным потоком стружки. Это позволяет отобрать кондиционные частицы, а крупные отправить на дополнительное измельчение.

На свойства ДСП значительное влияние оказывают размеры применяемой стружки. Главная задача наружных слоёв плиты – обеспе-

чить условия для качественной отделки. В связи с этим размеры частиц наружных слоёв подобраны так, чтобы шероховатость поверхности шлифованной ДСП была не более 32 мкм. Шероховатость поверхности зависит в основном от толщины частиц, применяемых в наружных слоях. Установлено, что шероховатость менее 32 мкм образуется при толщине стружки менее 0,25 мм. Микростружка, так называется этот материал, имеет небольшие и другие размеры: длина – не более 5 мм, ширина – не более 1,5 мм. Таким образом, размеры частиц наружных слоёв плиты довольно жёстко регламентированы.

Основным слоем по массе является внутренний и от него во многом зависят остальные свойства ДСП. В табл. 4.11 приведены показатели прочности однослойных плит, изготовленных из стружки разной толщины. Прочность при растяжении перпендикулярно пласти снижается на 12,5% при увеличении толщины стружки от 0,2 до 0,6 мм. На том же диапазоне изменения толщины стружки прочность плит при статическом изгибе уменьшается более значительно – на 37,0%. Но нужно учитывать, что это данные для однослойных ДСП.

Таблица 4.11. Прочность древесностружечных плит из стружки различной толщины

Толщина стружки, мм	Прочность при статическом изгибе, МПа	Прочность при растяжении перпендикулярно пласти, МПа
0,2	27,0	0,72
0,3	23,5	0,69
0,4	20,5	0,67
0,5	18,0	0,65
0,6	17,0	0,63

Мы помним, сопромат утверждает, что основное влияние на прочность при изгибе оказывают наружные слои плиты. В настоящее время их изготавливают из микростружки – частиц с регламентируемыми размерами, и изменение толщины стружки внутреннего слоя не будет оказывать такого значительного влияния на прочность при изгибе. В исследовании Вильгельма Клаудитца [Klauditz, 1955] показано, что уменьшение толщины специально изготовленных стружек также обеспечивает повышение водостойкости (табл. 4.12).

Таблица 4.12. Разбухание древесностружечных плит разной плотности из стружки ели и бука разной толщины

Порода древесины	Толщина стружки, мм	Разбухание за 24 ч., %, при плотности древесностружечных плит, кг/м <sup>3</sup>			
		500	600	700	800
Ель	0,30	14,2	16,7	18,2	19,0
	0,15	13,0	15,1	16,5	17,0
Бук	0,30	12,0	14,0	15,2	15,8
	0,15	11,3	13,1	14,2	15,0

На прочность плит при статическом изгибе влияют и другие размерные параметры стружки: длина и ширина [Шварцман, 1987]. При увеличении длины стружки от 20 до 80 мм прочность повышается на 25% (табл. 4.13). А влияние ширины стружки носит обратный характер, — при снижении ширины от 20 до 5 мм прочность повышается на 24%. Эти закономерности связаны с формированием структуры плиты: при увеличении длины повышается число контактов на поверхности каждой стружки и образуется более связанная структура. При снижении ширины стружки упаковка частиц становится более упорядоченной и плотной, что приводит к уменьшению числа пустот и увеличению клеевых контактов.

Таблица 4.13. Прочность древесностружечных плит при статическом изгибе с различной длиной и шириной стружки

Длина стружки, мм	Прочность при изгибе, МПа	Ширина стружки, мм	Прочность при изгибе, МПа
20	23,2	5	26,0
40	26,4	10	24,8
60	28,2	15	21,8
80	29,0	20	21,0

Качество ДСП выше из стружки с гладкой и ровной поверхностью. Если стружка имеет высокую шероховатость поверхности, то увеличивается площадь поверхности древесной частицы, и соответственно увеличивается масса поглощённого древесиной связующего. В результате уменьшается количество связующего на поверхности стружки. Между тем в склеивании стружки участвует главным образом связующее, на-

ходящееся на ее поверхности. Поэтому при шероховатой поверхности стружки прочность плит снижается.

Уровень шероховатости поверхности древесных частиц задаётся при их получении. В табл. 4.14 приведены максимальные величины микронеровностей поверхности стружки от разных типов станков [Васильев, 1979]. Для всех типов станков максимальная шероховатость стружки лежит в диапазоне 60 – 90 мкм и мало зависит от времени работы режущего ножа. Полученные данные хорошо согласуются с диапазоном шероховатости поверхности стружки 50 – 100 мкм других исследователей [Шварцман, 1987].

Таблица 4. 14. Максимальная величина микронеровностей поверхности стружки от разных типов станков

Тип станка для получения стружки	Максимальная величина микронеровностей, мкм	
	После заточки ножа	Через 2 ч непрерывной работы
С ножевым диском	77,6	63,5
Центрбежный	82,1	69,7
С ножевым валом	75,8	84,9

Есть ещё одно мнение по поводу шероховатости поверхности стружки. Г.М. Шварцман и Д.А. Щедро считают, что древесина хвойных пород имеет преимущество перед древесиной лиственных пород, так как из нее получается стружка с более гладкой и ровной поверхностью [Шварцман, Щедро, 1987]. Правда данных, утверждающих это заявление, не приводят.

Значительное влияние на процесс горячего прессования и формирование свойств ДСП оказывает влажность стружки, поступающей на осмоление. Во время горячего прессования проходит последовательно три основных процесса: первый – прогрев середины пакета до температуры 100 – 107 °С, при которой начинается образование водяного пара, затем третий – выход пара из плиты и второй – отверждение смолы, который накладывается на конец первого и начало третьего процесса. Снимать внешнее давление прессования можно только тогда, когда когезионная прочность отверждённой смолы в плите превышает давление выходящего пара. Иначе произойдёт образование пузырей или расслоение плиты по среднему или наружному слою. Таким образом, целесообразно применять стружку с минимальной влажностью.

Однако использование очень сухой стружки снижает прочность плит (табл. 4.15) [Шварцман, 1987]. Сухая стружка активно впитывает связующее, что приводит к уменьшению его на поверхности стружки и снижению прочности плит. Из-за невысокой пластичности слишком сухой стружки затрудняется ее упрессовка, вследствие чего требуется повышенное давление при прессовании и образуется пористая структура плит. Максимальные значения прочности при изгибе 20,3 – 21,2 МПа наблюдаются у плит с влажностью стружки внутреннего слоя 4% и влажностью стружки наружных слоёв в диапазоне 4 – 8%.

Более полный набор показателей свойств ДСП с микростружкой разной влажности представлен в табл. 4.16 [Хоссейни, 2017]. Влажность стружки внутреннего слоя 2 – 3%. Доля наружных слоёв 30%. Расчётная плотность ДСП 650 кг/м<sup>3</sup>.

Поверхностное впитывание важно для материалов для отделки (краски, клеи, плёнки и др.) Его определяли с использованием двух жидкостей: толуола и воды. Методика определения впитываемости толуола регламентирована европейским стандартом [EN 382-1]. В соответствии с ним на плиту, расположенную под углом 60 °, наносят 1 см<sup>3</sup> толуола и определяют длину трассы его стекания. Чем длиннее трасса, тем меньше впитываемость.

Таблица 4.15. Прочность при статическом изгибе древесностружечных плит из стружки разной влажности

Влажность стружки внутреннего слоя, %	Предел прочности при статическом изгибе, МПа, при влажности стружки наружных слоёв, %				
	2	4	6	8	10
2	13,2	15,6	16,5	16,2	14,5
4	16,1	20,3	21,2	20,4	18,5
6	15,7	18,5	19,5	19,0	17,1
8	15,0	16,9	17,5	17,2	15,6

Таблица 4.16. Свойства древесностружечных плит из микростружки наружных слоев разной влажности

Показатели	Влажность микростружки, %			
	1,1	3,0	5,2	9,8
Прочность при изгибе, МПа	19,8	20,6	20,9	21,4
Прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты, МПа	0,24	0,22	0,21	0,19
Прочность при отрыве наружного слоя, МПа	0,32	0,34	0,39	0,43
Разбухание по толщине за 24 ч., %	32,0	31,2	30,3	27,1
Разбухание по толщине за 1 час, %	23,0	18,3	18,1	16,7
Впитываемость воды поверхностью плиты за 1 час, кг/м <sup>2</sup>	8,06	7,72	6,89	6,22
Скорость впитывания воды поверхностью плиты, г/м <sup>2</sup> ·с	2,28	2,15	1,93	1,84
Длина трассы толуола, мм	122	151	167	171
pH наружного слоя	5,94	6,17	6,28	6,43
Краевой угол смачивания КФС, град.	89° 57'	87° 23'	86° 41'	86° 00'
Работа адгезии КФС, мДж/м <sup>2</sup>	89,7	93,3	94,6	95,2

Приведённые в табл. 4.16 данные показывают, что все показатели свойств наружных слоёв (прочность при изгибе, прочность при отрыве наружного слоя и другие) улучшаются с ростом влажности микростружки в диапазоне от 1 до 10%. В то же время показатель качества внутреннего слоя, – прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты, – снижается на 20,8%. Указанные изменения объясняются повышением плотности наружных слоев ДСП при увеличении влажности микростружки (рис. 4.1, табл. 4.17). Увеличиваются как минимальная, так и максимальная плотности краевой зоны плиты, и соответственно растет средняя плотность краевой зоны от 702 до 767 кг/м<sup>3</sup>.

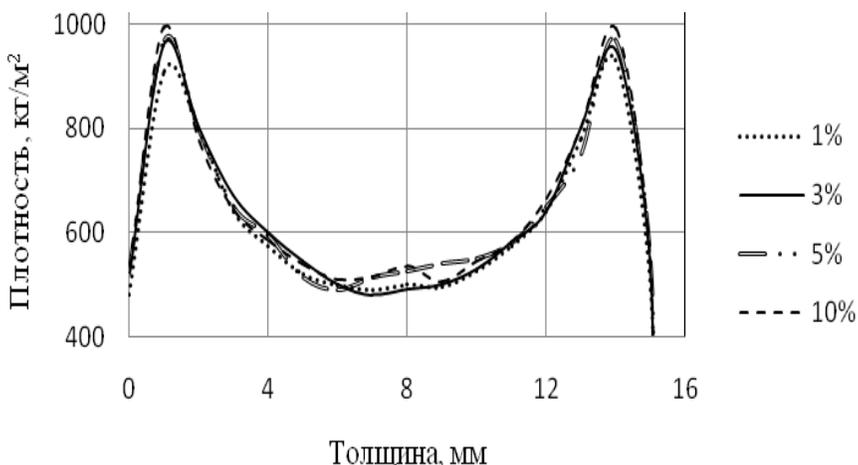


Рисунок 4.1. Распределение плотности по толщине древесно-стружечных плит, изготовленных из микростружки разной влажности.

Таблица 4.17. Плотность плит и свойства краевых зон ДСП, изготовленных из микростружки разной влажности

Показатели	Влажность микростружки, %			
	1,1	3,0	5,2	9,8
Плотность плиты, кг/м <sup>3</sup>	648	652	654	655
Минимальная плотность краевой зоны плиты, кг/м <sup>3</sup>	485	530	535	540
Максимальная плотность краевой зоны плиты, кг/м <sup>3</sup>	920	955	970	994
Плотность краевой зоны плиты, кг/м <sup>3</sup>	702	742	752	767
Толщина краевой зоны плиты, мкм	121	94	89	78

С увеличением влажности микростружки повышается её пластичность, наружные слои упрессовываются легче до большей величины. Показатели, за которые отвечают наружные слои, улучшаются. При очень низкой влажности стружки может наблюдаться снижение показателей в результате ухода связующего из зоны склеивания по причине повышенной впитываемости жидкости сухой древесиной. Кроме того, сушка древесных частиц до минимума опасна в пожарном отношении и экономически затратна.

Ещё один важный показатель качества плит, зависящий от влажности стружки, – токсичность [Васильев, 2006]. Влага является одним из компонентов плиты, способным активно сорбировать формальдегид. На рис. 4.2 показано влияние влажности стружки наружных и внутреннего слоёв ДСП на выделение формальдегида и воды при прессовании и на выделение формальдегида из готовых плит.

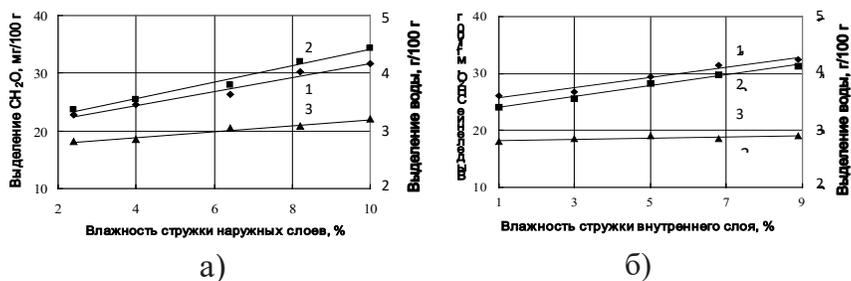


Рис. 4.2. Влияние влажности стружки наружных (а) и внутренне-го (б) слоёв древесностружечных плит на выделение формальдегида (1) и воды (2) при прессовании и на выделение формальдегида из готовых плит (3).

При изменении влажности материала слоя плиты все остальные технологические факторы имели постоянное значение: влажность стружки наружных слоёв 4%, внутреннего слоя 3%, концентрация смолы 55 %, содержание отвердителя хлорида аммония 1 и 2 % от массы абс. сухой смолы соответственно в наружном и внутреннем слоях, содержание связующего в наружном слое 12,5%, во внутреннем слое 8%, доля наружных слоёв в общей массе плиты 35%, плотность плиты 700 кг/м<sup>3</sup>, температура прессования 170 °С, удельное время прессования 0,3 мин/мм. Средние значения контролируемых показателей у ДСП, изготовленных при этих условиях, составили: выделение формальдегида при прессовании 25,9 мг/100 г плиты; выделение влаги при прессовании 3,51 г/100 г; концентрация формальдегида в парогазовой смеси, выделяющейся при прессовании, 0,74 %; выделение формальдегида из готовых плит 18,5 мг/100 г.

Для сбора парогазовой смеси, выделяющейся из плит во время прессования, стружечно-клеевые пакеты помещали в герметичную пресс-форму, соединяющуюся со специальной установкой для конденсации паров [Васильев, 1988]. Определение содержания формальдегида в готовой ДСП прово-

дили методом WKI [Роффазель, 1991] при 60 °С в течение 4 часов [Васильев, 2016], содержание формальдегида в полученных растворах определяли фотокolorиметрическим методом [ГОСТ 27678].

Повышение влажности микростружки наружных слоёв от 2,4 до 10,0% приводит к увеличению выделения воды на 43,8% и формальдегида на 39,1% при прессовании. При повышении влажности стружки внутреннего слоя от 1,0 до 8,9% выделение формальдегида увеличивается на 26,9%, а выделение воды – на 31,2%. Повышение выхода формальдегида вероятно происходит в результате усиления процессов гидролиза смолы с ростом влажности стружечно-клеевой смеси. Очевидно более активное гидролитическое разрушение связующего происходит при увеличении влажности стружки наружных слоёв ДСП, что выражается повышением концентрации формальдегида в выделяющейся парогазовой смеси от 0,72% до 0,82%, в то время как увеличение влажности стружки внутреннего слоя не оказывает влияния (концентрация  $\text{CH}_2\text{O}$  0,77-0,78%).

Повышение влажности микростружки наружных слоёв приводит к росту токсичности готовых ДСП на 22,2%. Увеличение влажности стружки внутреннего слоя практически не оказывает влияния на этот показатель. Содержание формальдегида повышается немного в диапазоне 18 – 19 мг/100 г плиты.

Учитывая все эти закономерности, практически все заводы ДСП сушат стружку до влажности 1 – 3%. Но нет единого правила, для каждой линии плит нужно подбирать свои оптимальные и безопасные параметры процесса сушки.

Таким образом, на формирование показателей качества древесностружечных плит оказывают большое влияние свойства древесного сырья и стружки. К ним относятся породный состав сырья, размеры и влажность древесных частиц, из которых изготовлена плита.

## Список литературы

Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – 628 с.

Анохин А.Е. Снижение токсичности мебели. – М.: МГУЛ, 2002. – 111 с.

Анучин Н.П. Лесная таксация. 6-е изд. – М.: ВНИИЛМ, 2004. – 552 с.

Бардонов В.А. Концепция нормирования выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ из древесных плит, фанеры и мебели. Внедрение новой системы сертификации древесных композиционных материалов – ЕРА «Агентство по охране окружающей среды США». Сборник научных трудов по итогам семинара от 07-08 декабря 2017 г. – Балабаново: ООО ЦСЛ «Лессертика», 2017. – С. 137 – 153.

Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 296 с. ISBN 5 – 7120 – 0137 – 3.

Бюллетень ассоциации ЛЕСТЕХ. 2021, № 6. – С. 53. [Электронный ресурс [https://alestech.ru/bulletin/article/60.](https://alestech.ru/bulletin/article/60)] (дата обращения: 10.03.2023).

Бюллетень ассоциации ЛЕСТЕХ. 2023, № 12. – С. 21. [Электронный ресурс <https://alestech.ru/>] (дата обращения: 19.04.2023).

Васильев В.В. Исследование и разработка технологии древесностружечных плит повышенной атмосферостойкости для наружной обшивки деревянных домов: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1979. 198 с.

Васильев В.В. Экспресс-метод определения содержания формальдегида в древесных плитах. ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ: ТРЕБОВАНИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ В ЕВРОПЕ, РОССИИ, США./Сборник научных трудов по итогам международного симпозиума. – Балабаново: WKI-ООО ЦСЛ «Лессертика», 2016. – С. 85-87.

Васильев В.В. Актуальные технологические проблемы производства синтетических смол и древесных плит // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 230. С. 173–186. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.230.173-186.

Васильев В.В. Структура древесного сырья на заводах древесностружечных плит разной мощности // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 238. С. 137–151. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.137-151.

Васильев В.В., Веснина Е.Н. Регулирование удельного расхода смолы по поверхности древесных частиц в производстве древесностружечных плит // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 241. С. 229–243. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.241.229-243.

Васильев В.В., Рошмаков Б.В., Комарова Е.Е. и др. Влияние технологических факторов на выделение газообразных продуктов при прессовании древесностружечных плит. // Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн. – 1988. – № 5. – с. 55-59.

Васильев В.В., Рошмаков Б.В., Комарова Е.Е. Влияние технологических факторов на выделение формальдегида при прессовании и из готовых древесностружечных плит. Известия СПбЛТА: Вып. 178. – СПб.: СПбЛТА, 2006. – С. 217-226.

Васильев В.В., Хоссейни С.З. Влияние плотности древесностружечных плит на качество их поверхности // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. Вып. 216. – С. 175–188. DOI: 10.21266/2079-4304.2016.216.175-188.

Глебов И.Т. Изготовление стружек в производстве древесных плит. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. – 42 с.

Глинка Н.Л. Общая химия. – Изд. 29-е, испр. – М.: Интеграл-Пресс, 2002. – 728 с.

Еспаева А. С. Технология плитных материалов. – Алматы: ТОО РПИК «Дэуір», 2011 – 488 с.

Иржигитова Д.М., Каратаева Е.И., Корчиков Е.С. Кислотность коры основных лесообразующих пород Красносамарского лесного массива и Жигулёвского госзаповедника им. И.И. Спрыгина. // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. Самарская Лука, 2009. – Т. 18, № 3. – С. 153-160.

Кантиева Е.В., Пономаренко Л.В. Влияние отвердителей на физико-химические свойства карбамидоформальдегидных смол. // Древесные плиты и фанера: теория и практика: Всерос. науч.-практ. конф., 17-18 марта 2021 г. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – С. 106-110.

Кедров А. Ценность древесины плодовых деревьев. ЛесПромИнформ, 2012, № 7 (89). С. 108–110.

Константа диссоциации кислоты. [Электронный ресурс]. – Википедия 1. URL: [http:// ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org) (дата обращения: 02.11.2022).

Константа диссоциации кислоты. [Электронный ресурс]. – Википедия 2. URL: [http:// en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org) (дата обращения: 02.11.2022).

Меркулова А.Ф., Васильев В.В. Определение содержания минеральных примесей и металла в древесных частицах для производства древесностружечных плит. // Древесные плиты: теория и практика: 20-я Междунар. науч.-практ. конф., 15-16 марта 2017 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – С. 76-80.

Никитин В.М., Оболенская А.В., Щеголев В.П. Химия древесины и целлюлозы. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 368 с.

Никитин Н.И. Химия древесины и целлюлозы. – М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 711 с.

Отлев И. А., Штейнберг Ц.Б., Отлева Л.С., Бова Ю.А., Жуков Н.И., Конаш Г.И. Справочник по производству древесностружечных плит. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 384 с. ISBN–5–7120–0242–6.

Плотникова Г.П. Совершенствование технологии производства древесностружечных плит на основе модифицированных связующих с использованием некондиционной древесины. Автореф. дис. ... канд. тех. наук 05.21.05. Сиб. гос. технол. универ. – Красноярск, 2011. – 23 с.

Полубояринов О.И. Плотность древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1976.–160 с.

Расев А.И. Сушка древесины. – М.: Высш. шк., 1990. – 224 с.

Романов Н.М. Химия карбамидо- и меламиноформальдегидных смол. – М.: ООО «Авансед Солюшнз», 2016. – 528 с.

Росстат, Федеральная служба государственной статистики РФ, [Электронный ресурс <https://rosstat.gov.ru/>] (дата обращения: 16.03.2023).

Роффаэль Э. Выделение формальдегида из древесностружечных плит. – М.: Экология, 1991. – 160 с.

Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – 351 с.

Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакции). – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 512 с.

Хоссейни С.З., Васильев В.В. Изменение качества поверхности древесностружечных плит в зависимости от влажности микростружки. Древесные плиты: теория и практика: 20-я Междунар. науч.-практ. конф., 15-16 марта 2017 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – С. 56-62.

Чубинский А. Н., Тамби А. А., Шагалова Т. А. Технологическое проектирование деревообрабатывающих производств. Основы проектирования предприятий. Учебное пособие. – СПб.: СПбГЛТА, 2011. – 168 с. [Электронный ресурс <https://alestech.ru/library/book-15.>] (дата обращения 10.03.2023).

Чудинов Б.С. Вода в древесине. – Новосибирск: Наука, 1984. – 270 с.

Шалашов А.П., Стрелков В.П., Щеглов П.П., Дейнеко Д.В., Жаравин В.Д. Современное состояние и предложения по развитию производства древесных плит в России. // Древесные плиты: теория и практика: Шестая науч.-практич. конференция. 19-20 марта 2003 г. – СПб.: СПбГЛТА, 2003. – С. 4-7.

Шварцман Г.М. Производство древесностружечных плит. 3з-е изд., перераб. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 312 с.

Шварцман Г.М., Щедро Д.А. Производство древесностружечных плит. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 320 с.

Эльберт А.А. Водостойкость древесностружечных плит. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 96 с.

Эльберт А. А. Химическая технология древесностружечных плит. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 224 с.

Klauditz W. Holz als Roh – und Werkstoff, 1955, № 11.

Liiri O. Paperi ja puu, 1961, № 12.

## **ТР ТС, ГОСТ, ОСТ, ТУ**

ТР ТС 025/2012. Технический регламент Таможенного Союза 025, 2012.

ГОСТ 9462-2016. Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия.

ГОСТ 9463-2016. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия.

ГОСТ 10632-2014. Плиты древесно-стружечные. Технические условия.

ГОСТ 15815-83. Щепы технологическая. Технические условия.

ГОСТ 16371-2014. Мебель. Общие технические условия.

ГОСТ 18320-78. Опилки древесные технологические для гидролиза. Технические условия.

ГОСТ 23827-79. Сырьё древесное тонкомерное. Технические условия.

ГОСТ 27678-2014. Плиты древесные и фанера. Перфораторный метод определения содержания формальдегида.

ГОСТ 32714-2014. Лесоматериалы. Термины и определения.

ГОСТ Р 56070-2014. Отходы древесные. Технические условия.

ОСТ 13-18-74. Горбыль деловой хвойных и лиственных пород.

ТУ-0273685-404-89. Дровяная древесина для технологических нужд.

EN 382-1:1993. Fiberboards – Determination of surface absorption – Part 1: Test method for dry process fiberboards.



Производственно-практическое издание

*Васильев Виктор Владимирович*

**Древесное сырьё и стружка для производства  
древесностружечных плит**

Компьютерная верстка А. В. Горелкина

Подписано в печать 21.05.2023. Формат 60×84/16. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 4,00. Тираж 30. Заказ 095.

Выпущено Издательско-полиграфической ассоциацией  
высших учебных заведений  
194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 28, литера А  
пом. 3-Н, ком. 191. Тел.: (812) 987-75-26  
mediabooks.print@gmail.com    www.mediabooks.ru