

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Пензенский государственный  
университет архитектуры и строительства»  
(ПГУАС)

С.Н. Кислицына, А.П. Самошин

## **СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Учебно-методическое пособие  
для выполнения практических работ  
по направлению подготовки 35.03.02  
«Технология лесозаготовительных  
и деревоперерабатывающих производств»

Пенза 2016

УДК 674:628.477.6(075.8)

ББК 37.130.9я73

К44

Рекомендовано Редсоветом университета  
Рецензент – доктор технических наук, профессор В.И. Логанина

**Кислицына С.Н.**

К44      Способы переработки отходов деревообрабатывающей промышленности: учебно-методическое пособие для выполнения практических работ по направлению подготовки 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» / С.Н. Кислицына, А.П. Самошин. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 104 с.

Рассмотрены требования к размерно-качественной характеристике технологической щепы, технологические расчеты основного оборудования для производства щепы, применяемого на предприятиях лесного комплекса. Рассмотрены технологии изготовления топливных брикетов, арболита и цементно-стружечных плит.

Учебно-методическое пособие подготовлено на кафедре «Технологии строительных материалов и деревообработки» и предназначено для использования студентами дневного отделения по направлению подготовки 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» при выполнении практических работ, по дисциплине «Способы переработки отходов деревообрабатывающих производств».

Содержание учебно-методического пособия соответствует рабочей программе дисциплины.

© Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства, 2016

© Кислицына С.Н., Самошин А.П., 2016

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебной программой курса «Способы переработки отходов деревообрабатывающей промышленности» для студентов направления подготовки 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» предусмотрены практические работы.

Целью данного учебно-методического пособия является закрепление знаний, полученных студентами на лекционных занятиях и ознакомление с технологиями изготовления материалов и изделий на основе древесных отходов.

В учебно-методическом пособии приведены методики выполнения основных технологических расчетов.

Для лучшего усвоения материала студент должен самостоятельно выполнить технологические расчеты в соответствии с выданным вариантом.

В учебно-методическом пособии приведены необходимые справочные данные по основным эксплуатационным характеристикам наиболее распространенных видов продукции на основе древесных отходов, технологическим режимам их изготовления, применяемому оборудованию.

В результате освоения дисциплины студент должен обладать следующими компетенциями:

*Общепрофессиональными:*

– способностью понимать научные основы технологических процессов в области лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств.

*Профессиональными:*

– владением методами исследования технологических процессов заготовки древесного сырья, его транспортировки и переработки.

– владением методами комплексного исследования технологических процессов, учитывающих принципы энерго- и ресурсосбережения и защиты окружающей среды

В результате изучения дисциплины студент должен:

***Знать:***

– номенклатуру и классификацию древесных отходов;

– основные области применения отходов деревообрабатывающего комплекса;

– ассортимент древесных материалов на основе отходов деревообрабатывающей промышленности;

– особенности структуры различных пород древесины и методы исследования их строения;

– основные нормативные документы в области производства и качества материалов на основе древесных отходов;

– современный подход к вопросу оценки свойств древесных материалов;

– взаимосвязь между строением и свойствами древесных материалов;

– цель, сущность и способы осуществления основных технологических процессов производства древесных материалов основе отходов деревообрабатывающей промышленности.

**Уметь:**

– выполнять анализ структуры различных видов древесных материалов на основе отходов деревообрабатывающей промышленности;

– производить оценку свойств древесных материалов используя современную испытательную аппаратуру;

– использовать стандарты и другие нормативные документы при оценке, контроле качества и сертификации древесных материалов и изделий на основе древесных отходов;

– отбирать пробы для проведения сертификации;

– проводить сравнительную оценку с нормативными данными показателей качества;

– контролировать соответствие разрабатываемых проектов и технической документации заданию, стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам;

– используя методы анализа, справочную литературу правильно выбрать оборудование, выполнить расчет основных технологических параметров производства материалов на основе отходов деревообрабатывающей промышленности.

**Владеть:**

– методами стандартных испытаний по определению показателей физико-механических свойств используемого сырья, полуфабрикатов и готовых изделий на основе отходов деревообрабатывающей промышленности

– методами осуществления технического контроля и разработки технической документации по соблюдению технологической дисциплины в условиях действующего производства;

– методами анализа причин возникновения дефектов и брака выпускаемой продукции и разработки мероприятий по их предупреждению.

## ВВЕДЕНИЕ

В России находится около 50% мировых запасов древесины. Анализ потребления древесины показывает, что ее заготовка и переработка сопровождаются огромными потерями. До 50% всей перерабатываемой древесины составляют побочные продукты в виде отходов, большая часть которых сжигается или вывозится в отвал. Между тем они являются ценным сырьем для производства разнообразных строительных материалов, а также для гидролизной, целлюлозной и других отраслей промышленности. Утилизация отходов древесины имеет огромное народнохозяйственное значение. С одной стороны, она позволяет удовлетворить потребность строительства во многих конструктивных, облицовочных и теплоизоляционных материалах, по техническим свойствам в ряде случаев превосходящих пиломатериалы, а с другой – существенно сократить объемы вырубki леса.

В настоящее время в стране заготавливается около 500 млн. м<sup>3</sup> древесины. При этом на всех стадиях процесса от заготовки до переработки древесного сырья образуется значительное количество отходов. Только на лесозаготовках в отходы уходит более 32 % вырубленного леса.

Наибольшее количество отходов образуется при лесопилении (только 60-62 % исходного сырья превращается в основную продукцию).

Отходами лесопильного производства являются горбыли, рейки, обрезки досок, вырезки дефектных мест, опилки, стружка и кора. Кроме того, безвозвратно при сушке теряется 5-7 % и распыляется 1-2 %. Количество коры составляет около 10-12 % от всего объема бревна (кора, правда, не входит в баланс древесины и считается небалансовым отходом). Вследствие этого в себестоимости пиленой продукции затраты на сырье составляют 70-80 % от затрат на ее выработку.

Из всего количества образующихся древесных отходов только 60-65 % используется в качестве вторичного сырья, остальные отходы сбрасываются в отвалы, отрицательно влияя на окружающую среду.

Все отходы древесины являются ценным сырьем для производства различной продукции, однако по возможности утилизации они не равноценны.

Наибольшую ценность представляют деловые отходы, из которых можно изготавливать разнообразную мелкую пилопродукцию. К ним относятся горбыли, рейки, крупные кусковые отходы. Их можно использовать и для производства целлюлозы, древесноволокнистых плит (ДВП), древесностружечных плит (ДСП), цементно-стружечных плит (ЦСП) и химической продукции.

Меньшей ценностью обладают отходы, возможность использования которых ограничена (стружка, опилки, мелкие кусковые отходы, щепа). Опилки и стружку благодаря адсорбирующим, абразивным, изоляционным и другим свойствам широко используют в различных производствах: для хозяйственных целей и как технологическое сырье.

Щепа и мелкие кусковые отходы являются исходным химическим сырьем при производстве строительных материалов, вискозного волокна (а затем тканей), технического спирта, кормовых дрожжей, уксуса, целлюлозы, бумаги, картона и многих других продуктов. Для производства этой продукции древесина измельчается, а затем поступает на переработку по специальной технологии, используемой при производстве конкретной продукции.

Часть древесных отходов в брикетированном виде применяют как топливо для бытовых и промышленных печей.

Древесные отходы также используются в газогенераторных установках. Принцип энергохимического использования отходов древесины основан на газификации древесины и получении из нее химических продуктов и горючего газа с последующим использованием его в качестве топлива.

Для использования в лесохимической и целлюлозно-бумажной промышленности, в производстве строительных материалов кусковые отходы деревообработки должны быть переработаны в технологическую щепу. Этот процесс осуществляется на лесопильном производстве, а сама щепа является сопутствующей товарной продукцией.

# Практическая работа №1

## ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЩЕПЫ И ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К НЕЙ

**Цель работы** – изучение основных характеристик технологической щепы и требования, предъявляемые к ее качеству.

### 1. Классификация древесных частиц

**Древесные частицы** — частицы, полученные в результате измельчения древесного сырья [14].

В процессе механической переработки древесного сырья получают древесные частицы различной формы и размеров: щепу, дробленку, стружку, опилки, древесную муку и древесную пыль [13].

**Щепа** – измельчённая древесина установленных размеров, получаемая в результате измельчения древесного сырья рубильными машинами и специальными устройствами.

Различают следующие виды щепы.

– **технологическая щепа** — древесные частицы в виде косоугольного параллелепипеда с острым углом  $30 - 60^\circ$ , заданной длины и толщины, предназначенные для производства целлюлозы, древесных плит, продукции лесохимических и гидролизных производств;

– **зелёная щепа** — щепа, содержащая примеси коры, хвои и (или) листьев. Получается при измельчении целых тонкомерных деревьев, лесосечных отходов, сучьев и ветвей. Зеленую щепу используют в виде добавок в производстве древесных плит, гидролизных продуктов, а также как топливо.

– **топливная щепа** — щепа для производства тепловой энергии.

**Дроблёнка** – пластинчатые или игольчатые частицы длиной от 2 до 20 мм, получаемые из кусковых отходов (горбылей, реек, обрезков, лесосечных отходов, шпона) путем переработки на рубильных машинах, дробилках и молотковых мельницах.

**Древесная стружка** – тонкие древесные частицы, образующиеся при резании древесины на стружечных станках. Различают резаную стружку в производстве древесностружечных плит, древесную стружку в производстве цементного фибролита и упаковочную стружку.

**Микростружка** – мелкие древесные частицы толщиной до 0,25 мм и длиной 6- 8 мм, получаемые из древесной стружки или опилок на специальном размольном оборудовании. Микростружку наряду с древесной пылью используют для формирования наружных слоев древесностружечных плит с мелкоструктурной поверхностью.

**Древесные опилки** – мелкие частицы древесины, образующиеся как отходы пиления, различают *технологические опилки*, которые в отличие от

обычных имеют вид тонких длинных частиц, получаемых в процессе пиления древесины специальными пилами.

**Древесная мука** – древесные частицы заданного гранулометрического состава, полученные путём сухого механического размола древесных опилок и стружек.

**Витаминная мука** – изготавливается из хвои, листьев, недревесневших побегов (ветвей) и почек.

**Древесная пыль** – несортированные древесные частицы размером менее 1 мм, которые образуются при шлифовании и другой механической обработке древесины.

## 2. Классификация щепы

Щепа классифицируется по назначению, гранулометрическому (фракционному) составу, виду используемого древесного сырья и способу его измельчения.

*По назначению* щепа подразделяется на:

- технологическую;
- зеленую;
- топливную.

*По гранулометрическому составу:*

- щепа кондиционная;
- щепа мелкой фракции;
- щепа крупной фракции.

*В зависимости от вида измельчаемого древесного сырья:*

- щепа из пнево-корневой древесины;
- щепа из сучьев и целых тонкомерных деревьев (зеленая щепа);
- щепа из круглых и колотых лесоматериалов;
- из отходов раскряжевки;
- щепа из отходов лесопиления и шпалопиления.

*По породному составу:*

- щепа хвойных пород древесины;
- щепа лиственных пород древесины;
- щепа смешанных пород древесины.

В щепе хвойных пород отдельно выделяют щепу из древесины ели и пихты, щепу из древесины лиственницы.

В щепе из древесины лиственных пород выделяют щепу твердолиственных и щепу мягколиственных пород.

*По способу переработки :*

- щепа, полученная измельчением в дисковых или барабанных рубительных машинах;
- щепа, полученная фрезерованием древесины специальным инструментом.



## 2.1. Назначение щепы

В зависимости от назначения технологическую щепу подразделяют на следующие группы (марки): Ц-1, Ц-2, Ц-3, ГП-1, ГП-2, ГП-3, ПВ, ПС [15].

Назначение или направления использования технологической щепы в производстве приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Марки и назначение технологической щепы

Марки технологической щепы	Назначение
в целлюлозно-бумажной промышленности	
Ц-1	для производства сульфатной целлюлозы и древесной массы, направляемой на изготовление бумаги с регламентируемой сортностью
Ц-2	для производства сульфитной целлюлозы и древесной массы, направляемой на изготовление бумаги и картона с не регламентируемой сортностью, а также сульфатной и бисульфатной целлюлозы, направляемой на изготовление бумаги и картона с регламентируемой сортностью
Ц-3	для производства сульфатной целлюлозы и различных видов полуцеллюлозы, предназначенных для изготовления бумаги и картона с не регламентируемой сортностью
для использования в гидролизном производстве	
ГП-1	для производства спирта, дрожжей, глюкозы и фурфурола
ГП-2	для производства пищевого кристаллического ксилита
ГП-3	для производства фурфурола и дрожжей при двухфазном гидролизе
для использования в плитном производстве	
ПВ	для производства древесноволокнистых плит
ПС	для производства древесностружечных плит

## 2.2. Основные требования, предъявляемые к щепе

Требования к щепе регламентируются ГОСТ 15815 – 83 «Щепа технологическая. Технические условия».

Качество технологической щепы оценивается по следующим показателям:

- содержанию примесей коры, гнили и минеральных частиц;
- фракционному составу;
- качеству поверхности и углу среза частиц;
- составу щепы по породам.

### **Содержание примесей.**

Наличие примесей в технологической щепе оказывает отрицательное влияние на качество конечной продукции. К таким примесям относят кору, гниль и минеральные частицы.

К содержанию примесей в технологической щепе предъявляются требования, приведенные в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Требования к технологической щепе по содержанию примесей.

Марка щепы	Содержание примесей в щепе, % по массе, не более		
	коры	гнили	минеральных примесей
Ц-1	1,0	1,0	Не допускаются
Ц-2	1,5	3,0	0,3
Ц-3	3,0	7,0	0,3
ГП-1	11,0	2,5	0,5
ГП-2	3,0	1,0	Не допускаются
ГП-3	3,0	1,0	0,3
ПВ	15,0	5,0	1,0
ПС	15,0	5,0	0,5

В щепе не допускается наличие обугленных частиц и металлических включений

**Фракционный состав.**

Фракционный состав щепы – это количественное соотношение древесных частиц определенных размеров в общей массе щепы.

Фракционный состав щепы оценивается линейными размерами частиц – их длиной и толщиной. Длина щепы – это ее размер по направлению волокон; ширина щепы определяется в направлении, перпендикулярном направлению волокон (рис. 1).

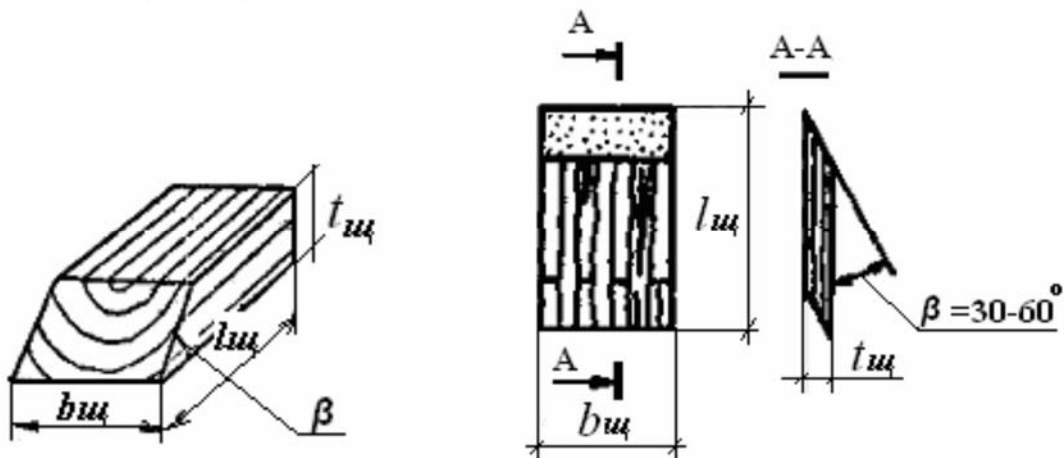


Рис. 1. Геометрические характеристики щепы:

$l_{щ}$  – длина щепы;  $b_{щ}$  – ширина щепы;  $t_{щ}$  – толщина щепы;  $\beta$  – угол среза

Максимально допустимые размеры частиц в зависимости от назначения щепы приведены в табл.3.

Фракционный состав технологической щепы определяют ситовым анализом, просеивая подготовленную пробу через стандартный набор сит с размерами ячеек 5, 10, 20 и 30 мм.

Фракция – это совокупность древесных частиц, близких по своим геометрическим размерам.

Т а б л и ц а 3

## Геометрические размеры щепы

Назначение щепы	Допускаемые размеры частиц щепы, мм	
	длина	толщина
Для выработки целлюлозы	15 – 25	5
Для гидролизного производства	5 – 35	5
Для древесноволокнистых плит	10 – 35	5
Для древесностружечных плит	10 – 60	30
Для котельных установок	До 100	20

П р и м е ч а н и я . 1. Ширина частиц технологической щепы для всех производств не регламентируется. 2. Для технологической щепы, приготовленной из тонкомерных деревьев и сучьев, необходимо использовать ТУ 13735-83.

Различают следующие фракции технологической щепы:

*Кондиционная фракция* – это совокупность древесных частиц, размеры которых соответствуют требованиям стандартов или технических условий.

*Мелкая фракция* – это совокупность древесных частиц, прошедших при просеивании через сита сортирующих устройств.

*Крупная фракция* – это совокупность древесных частиц (щепы), оставшихся после сортировки на сите с наибольшим размером ячейки (в соответствии с требованиями).

Требования к щепе по массовой доле остатков на ситах анализатора приведены в табл. 4. Количество щепы, не соответствующей этим требованиям, не должно превышать 30 % объема партии.

Т а б л и ц а 4

## Требования к щепе по массовой доле остатков на ситах

Диаметр отверстий сит, мм	Нормативная массовая доля остатков на ситах, %, не более для щепы марок							
	Ц-1	Ц-2	Ц-3	ГП-1	ГП-2	ГП-3	ПВ	ПС
30	3,0	5,0	6,0	5,0	5,0	5,0	10,0	5,0
20 и 10	86,0	84,0	81,0	90,0	90,0	94,0	79,0	85,0
5	10,0	10,0	10,0	90,0	90,0	94,0	10,0	85,0
поддон	1,0	1,0	3,0	5,0	5,0	1,0	1,0	10,0

**Качество поверхности и угол среза частиц.**

Щепа для целлюлозного производства и производства древесноволокнистых плит должна быть без мятых кромок (мятыми кромками считают кромки, обмятые по всей ширине щепы). Угол среза,  $\beta$ , должен быть равен 30-60° (рис.1). Количество щепы, не соответствующей этим требованиям, не должно превышать 30 % от объема партии.

В щепе для производства древесностружечных плит и гидролиза качество кромок и угол среза не учитывают.

### Состав щепы по породам.

По своему строению, а также физическим, механическим и химическим свойствам древесные породы значительно отличаются друг от друга, поэтому состав технологической щепы по породам древесины оказывает существенное влияние на качество вырабатываемой из нее продукции.

В связи с этим стандарт регламентирует применение той или иной породы древесины для получения каждого из видов продукции (табл.5). Одновременно ограничивается соотношение хвойных и лиственных пород древесины при поставке смеси. По соглашению между поставщиком и потребителем щепы допускаются другие соотношения породного состава.

Т а б л и ц а 5

#### Породы древесины для изготовления технологической щепы

Назначение щепы	Массовая доля пород древесины в щепе, %			
	хвойных 100	лиственных 100	в смеси	
			хвойных	лиственных
1	2	3	4	5
Для целлюлозно-бумажной промышленности				
Производство сульфитной и бисульфитной целлюлозы	Ель, пихта	–	Не менее 90	Не более 10
	–	Береза, осина, тополь, ольха, бук, граб	Не более 10	Не менее 90
Производство сульфатной целлюлозы	Все породы, лиственница отдельно	–	Не менее 90	Не более 10
	–	Все породы	Не более 10	Не менее 90
Производство нейтрально-сульфитной целлюлозы	Не допускается	Все породы	Не допускается	
Производство полуцеллюлозы	Все породы	–	Не менее 90	Не более 10
	–	Все породы	Не более 10	Не менее 90
Производство древесной массы	Ель, пихта	Не допускается	Не допускается	
Для гидролизного производства				
Дрожжевое производство	Все породы	Все породы	Допускается в любом соотношении	
Спиртовое производство	Все породы	–	Не менее 70	Не более 30
	–	Все породы	Не более 30	Не менее 70
Глюкозное производство	Все породы	Не допускается	Не допускается	
Производство фурфурола	Не допускается	Все породы	Не более 5	Не менее 95
Производство ксилита	Не допускается	Береза, примесь осины не более 10	Не допускается	

Влажность щепы, поставляемой для технологических целей, не нормируется.

### Вопросы для самоконтроля

1. Что называют щепой?
2. Какие различают виды технологической щепы?
3. Что называют дробленкой, древесной стружкой, древесными опилками, древесной мукой?
4. Как классифицируют щепу по назначению и гранулометрическому составу?
5. Как классифицируют щепу по виду используемого древесного сырья и способу его измельчения?
6. Какие марки щепы Вы знаете?
7. По каким показателям оценивается качество технологической щепы?
8. Какие требования к технологической щепе предъявляет ГОСТ 15815-83 по содержанию примесей.
9. Что такое фракционный состав щепы?
10. Какие геометрические характеристики щепы Вы знаете?
11. Какие требования к технологической щепе предъявляет ГОСТ 15815-83 по качеству поверхности и углу среза частиц?

## Практическая работа №2 ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В ДИСКОВЫХ РУБИЛЬНЫХ МАШИНАХ

**Цель работы** – изучение особенностей процесса резания древесины в дисковых рубильных машинах и факторов, определяющих геометрические размеры щепы.

### 1. Особенности процесса резания древесины в дисковых рубильных машинах [7]

Целью измельчения лесоматериалов в дисковых рубильных машинах является получение древесных частиц заданной формы и размеров.

Для обеспечения рекомендуемых размеров щепы рассчитываются основные параметры рубильных машин, которые сохраняют свое значение лишь при условии правильной эксплуатации и поддержания необходимого технического состояния. Это своевременная заточка (или замена) режущих ножей и контрножей, правильная их установка на рабочем органе с обеспечением необходимой точности выступа режущих кромок над поверхностью рабочего органа (диска, барабана) и зазоров между режущими ножами и контрножом.

Процесс переработки древесины в традиционных рубильных машинах основан на принципе продольно-торцового или более сложного, продольно-торцово-поперечного резания.

Рассмотрим особенности процесса резания древесины в дисковых рубильных машинах с плоским и геликоидальным дисками, используя схему, приведенную на рис.2.

#### ***Рубильные машины с плоским диском [7].***

В рубильной машине с плоским диском 4 (рис. 2, а) ножи 6 с углом заточки  $\beta$  и задним углом  $\gamma$  выпущены над поверхностью диска на расстояние  $t$ . Древесное сырье 1 по наклонному питающему патрону 2 с углом  $\alpha_x$  поступает под вращающиеся ножи диска. В процессе резания лесоматериал опирается на контрнож 3, кромка которого должна находиться на определенном расстоянии  $\Delta t$  от лезвия ножа. Отрубаемые частицы щепы имеют острый угол, численно равный углу встречи  $\varepsilon$  измельчаемого лесоматериала с диском, следовательно  $\varepsilon = 90^\circ - \alpha_x$ . Результатом взаимодействия режущего ножа и древесины в рубильной машине является образование элемента щепы.

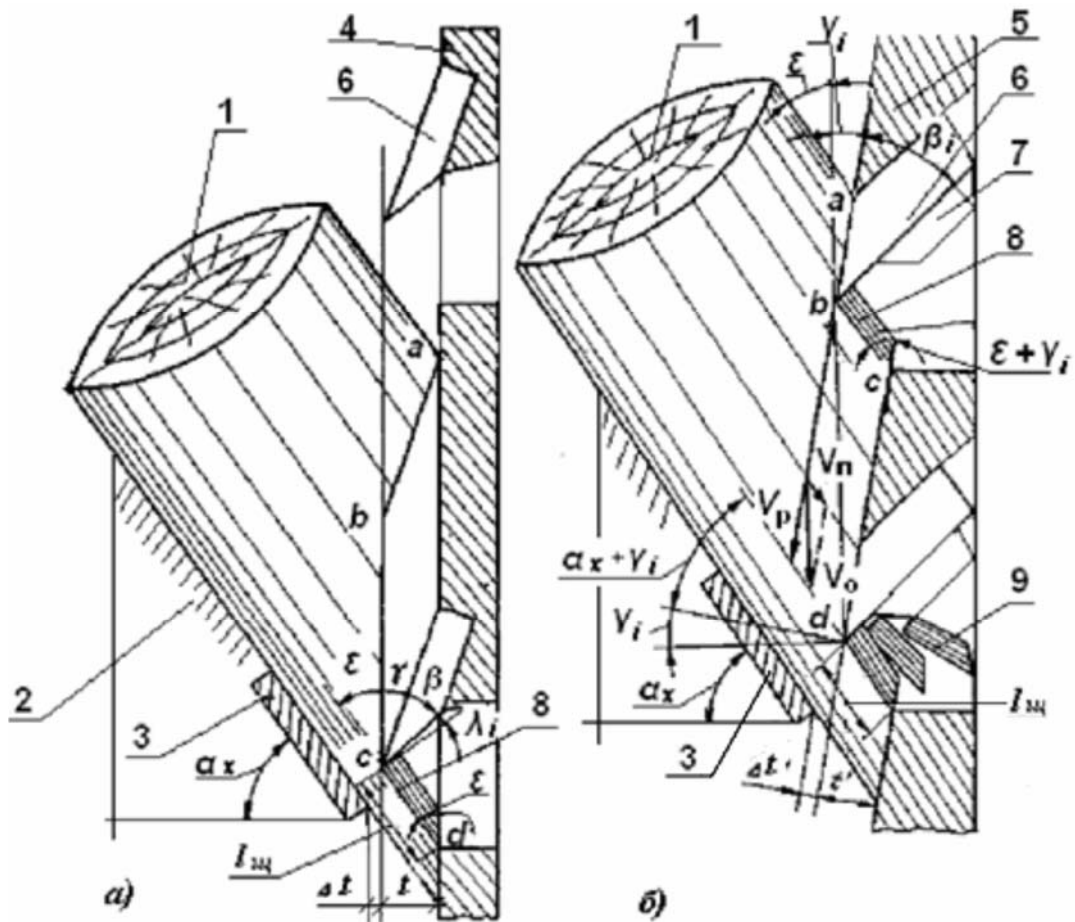


Рис. 2. Схема процесса измельчения древесины в рубильной машине с плоским (а) и геликоидальным (б) дисками:

1 – перерабатываемая древесина; 2 – загрузочный патрон; 3 – контрнож; 4 – плоский ножевой диск; 5 – геликоидальный ножевой диск; 6 – режущий нож; 7 – подножевая пластина; 8 – формируемый элемент щепы; 9 – отделённый элемент щепы;  $t$  – величина выступа режущей кромки ножа (толщина срезаемого слоя древесины);  $\epsilon$  – угол встречи вектора скорости резания с направлением волокон древесины, рад;  $\alpha_x$  – угол наклона (угол, лежащий между линией лезвия ножа и направлением волокон древесины), рад.

Длина элементов щепы,  $l_{щ}$ , рассчитывается по формуле

$$l_{щ} = \frac{t}{\cos \alpha_x}. \quad (1)$$

В том случае, когда патрон рубильной машины развернут в горизонтальной плоскости на угол,  $\alpha_y$ , длина щепы рассчитывается по формуле

$$l_{щ} = \frac{t}{\cos \alpha_x \cdot \cos \alpha_y}. \quad (2)$$

В рубильных машинах с горизонтальной, подачей, когда  $\alpha_x = 0$ , длина щепы будет равна:

$$l_{щ} = \frac{t}{\cos \alpha_y}. \quad (3)$$

Таким образом, в рубильных машинах с плоским диском длина технологической щепы зависит от:

- выпуска ножей  $t$ ;
- углов наклона загрузочного (питающего) патрона  $\alpha_x, \alpha_y$ .

Как видно из схемы на рис. 1, подача древесины на величину  $t$  осуществляется в машине с плоским диском только при входе ножа в древесину на участке  $ab$ . Усилие, необходимое для перемещения лесоматериала, создает передняя кромка ножа. При дальнейшем движении ножа на участке  $bc$  и до выхода из древесины подачи сырья не происходит. Лесоматериал в точке  $a$  опирается на торцовую поверхность диска и скользит по ней при вращении. Давление в точке  $a$ , которое зависит от массы измельчаемого лесоматериала и угла подачи, вызывает смятие древесины, а трение лесоматериала способствует быстрому износу поверхности диска. Трение и износ диска еще более возрастут, если в такой машине осуществлять принудительную подачу сырья. Если верхний нож начнет входить в древесину раньше, чем нижний окончит рез, будет наблюдаться срыв в процессе резания. Верхняя часть лесоматериала станет подаваться к диску в то время, как нижняя еще опирается на диск и будет препятствовать подаче.

Лесоматериал, находящийся в патроне, начнет движение по часовой стрелке до тех пор, пока не отделится элемент щепы. Под действием веса лесоматериал снова займет исходное положение, однако продолжающий движение нож передней гранью вновь станет поднимать его, подтягивая к диску. Неустойчивое положение сырья в процессе резания, вибрации, толчки и отскакивания лесоматериала типичны для машин с плоским диском. Выход качественной щепы заданных размеров и фракционного состава здесь невысок.

### ***Рубильные машины с геликоидальной (винтовой) поверхностью.***

В рубильных машинах с геликоидальной поверхностью процесс резания протекает иначе. Для них характерна непрерывность процессов резания и попутного затягивания древесины (рис. 2, б).

Задняя грань ножа  $b$  здесь является продолжением скошенной накладки диска  $5$ . И накладка, и задняя грань ножа имеют одинаковый задний угол  $\gamma_i$ , поэтому угол встречи лесоматериала с плоскостью диска равен  $\varepsilon + \gamma_i$ . При входе ножа в древесину, как и в машине с плоским диском, процесс резания на участке  $ab$  сопровождается одновременно затягиванием лесоматериала к диску со скоростью  $\vartheta_n$  вдоль волокон. Однако при проходе точки  $b$  лесоматериал в точке  $a$  не упирается в плоскость диска, а продолжает скользить по его поверхности. Лезвие ножа производит рез в плоскости, повернутой относительно окружной скорости  $\vartheta_o$  на угол  $\gamma_i$ . Поворот плоскости резания вызывает увеличение острого угла среза щепы на величину  $\gamma_i$ . Скорректи-



ровать величину этого угла можно уменьшением угла встречи лесоматериала с диском соответствующим увеличением наклона патрона  $a_x$  на величину  $\gamma_i$ .

Скорость затягивания древесины в процессе резания, м/с рассчитывается по формуле

$$\vartheta_n = \vartheta_o \frac{\sin \gamma_i}{\cos(a_x - \gamma_i)}. \quad (4)$$

Скорость подачи древесины к рубильной машине лесотранспортером не должна быть выше скорости затягивания, иначе лесоматериал будет отброшен от диска. Лезвия режущих ножей будут срезать элементы щепы 9 различной длины под неопределенным углом. Срыв процесса резания из-за большей, чем необходимо, скорости подачи может иногда наблюдаться в машинах с наклонным патроном. Здесь скорость движения лесоматериала не контролируется и может превысить скорость затягивания.

Большое влияние на процесс затягивания лесоматериала в рубильной машине оказывает задний угол  $\gamma_i$ , который называют еще углом затягивания. Величина этого угла должна быть подобрана такой, чтобы обеспечить постоянство скорости затягивания  $\vartheta_n$ . Только при постоянном значении  $\vartheta_n$  можно обеспечить равномерный процесс резания и получение ровной щепы. Так как окружная скорость ножа  $\vartheta_o$  определяется угловой скоростью диска  $\omega$  и радиусом резания  $R_i$ , получим:

$$\vartheta_o = \omega \cdot R_i = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot R_i, \quad (5)$$

где  $n$  – частота вращения ножевого диска, мин<sup>-1</sup>.

Каждой точке на лезвии ножа соответствует свой радиус резания, поэтому величина  $R_i$  непостоянна. Скорость затягивания составит:

$$\vartheta_n = R_i \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot \frac{\sin \gamma_i}{\cos(a_x - \gamma_i)}. \quad (6)$$

Из формулы (6) видно, что постоянную скорость затягивания можно осуществить только при переменной величине угла  $\gamma_i$ . Каждой точке на лезвии ножа с радиусом  $R_i$  должен соответствовать определенный угол  $\gamma_i$ . С увеличением радиуса резания значение угла затягивания должно уменьшаться.

Это условие выполняется в рубильных машинах с геликоидальным диском. Ножи, а также накладки в секторе между ножами здесь скручивают так, чтобы угол затягивания уменьшался к периферии диска. Величина угла затягивания зависит и от заданных размеров щепы.

Длина щепы в машинах с геликоидальным диском рассчитывается по формуле:

$$l_{щ} = \frac{t'}{\cos(a_x - \gamma_i)}. \quad (7)$$

По этой же формуле решается обратная задача – по заданной потребителем длине частиц щепы определяется величина выступа ножа над рабочей поверхностью режущего органа рубильной машины (диска, барабана), т.е. толщина срезаемого слоя древесины.

Длину щепы можно рассчитать и по формуле

$$l_{щ} = \frac{\vartheta_n}{\vartheta_o} \cdot \frac{2\pi \cdot R_i}{z}, \quad (8)$$

где  $z$  – число ножей.

Наряду с равномерной подачей древесины с постоянной скоростью важна и непрерывность процесса резания. Условие непрерывности соблюдается в том случае, если ножи входят в древесину последовательно один за другим с шагом  $t'$ . При этом расстояние между лезвиями ножей  $bd$  должно быть строго определенным. За некоторый промежуток времени ножи будут перемещаться по дуге с окружностью  $R_i$  со скоростью  $\vartheta_o$ . Точка  $b$  на лезвии ножа переместится в точку  $d$ , а лесоматериал из точки  $b$  переместится в точку  $c$ .

Как видно из формулы (8) важным фактором, определяющим длину щепы является соотношение скоростей  $\vartheta_n / \vartheta_o$ . С уменьшением скорости затягивания лесоматериал продвинется с опозданием в точку  $a$  (рис. 2., б), тогда лезвие ножа начнет рез несколько раньше. При этом длина частиц  $bc$  уменьшится. Если скорость  $\vartheta_n$  велика, лесоматериал подойдет к плоскости диска раньше и нож начнет рез с некоторым опозданием. Длина частиц при этом увеличится. Чтобы длина щепы оставалась постоянной, соотношение скоростей  $\vartheta_n / \vartheta_o$  должно быть таким, чтобы лесоматериал и нож приходили в заданную точку  $a$  одновременно.

Таким образом, длина щепы в машинах с геликоидальным диском определяется рядом параметров, связанных между собой строгим соотношением. К таким параметрам относят:

- шаг  $t'$ , с которым ножи входят в древесину, мм;
- угол наклона патрона,  $a_x$ ;
- угол затягивания  $\gamma_i$ ;
- соотношение скоростей  $\vartheta_n / \vartheta_o$ .

Что касается толщины элементов щепы  $t_{щ}$  (рис.2), то она образуется в процессе внедрения ножа в древесину и помимо длины щепы зависит еще

от целого ряда факторов, относящихся непосредственно к рубильной машине, а также физико-механическим свойствам перерабатываемой древесины. Толщина щепы в отличие от длины зависит не только от кинематических параметров дисковых рубильных машин, но и от физико-механических свойств древесины.

Изменчивость показателей этих свойств столь широка, что получить щепу стабильной толщины практически невозможно. Однако изменением некоторых параметров рубильных машин толщину щепы все же удастся смещать в желаемую сторону.

## 2. Образование элементов щепы в рубильной машине

Процесс резания в рубильной машине сопровождается образованием в древесине сложного комплекса напряжений и деформаций.

Клиновидный резец (рис. 3) внедряется в древесину в направлении вектора скорости резания с силой  $P_p$ , которая разлагается на нормальную  $\sigma_H$  и касательную  $\sigma_\tau$  составляющие.

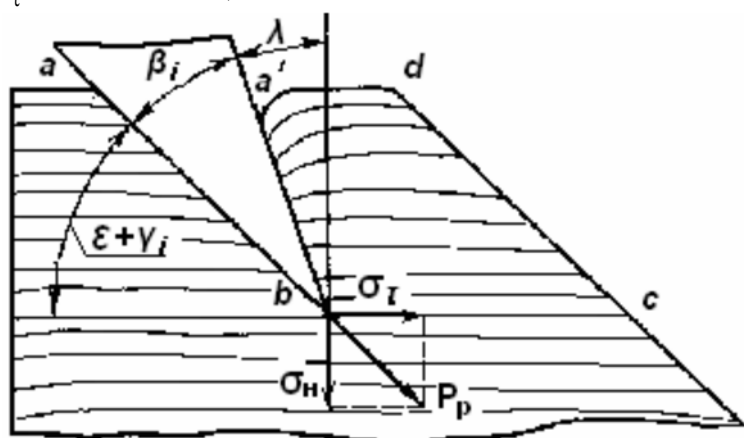


Рис. 3. Схема образования элементов щепы в рубильной машине

По мере внедрения ножа в древесину, на его передней грани наблюдается постепенный рост напряжений. Эти напряжения численно равны произведению модуля упругости древесины вдоль волокон и относительной деформации осевого сжатия щепы клином. Когда эти напряжения превысят предел прочности древесины на скалывание вдоль волокон, произойдет отделение частицы по плоскости сдвига  $bc$ . Скалывание элемента щепы происходит под действием касательных напряжений  $\sigma_\tau$ .

Нормальные напряжения  $\sigma_H$  вызывают сжатие и смятие древесины поперек волокон. Если бы древесина была идеально упругим телом, щепка имела бы в сечении правильную форму параллелограмма  $abcd$ . В реальной щепе верхняя сторона параллелограмма всегда короче и равна  $a'd$ , так как

древесина на торцовом срезе смята по плоскости  $a'b$ . Смятие торцового среза щепы объясняется следующими причинами.

Под воздействием силы  $P_p$  происходит не только перерезание волокон древесины, но и ее сжатие лезвием ножа поперек волокон. Усилие, необходимое для перерезания волокон, в несколько раз превышает усилие, при котором происходит смятие древесины при сжатии поперек волокон. Поэтому составляющая  $\sigma_H$  вызывает смятие древесины раньше, чем происходит перерезание волокон. В этом случае передняя грань ножа подвергается сжатию уже смятые волокна древесины. При перемещении ножа смятые волокна дополнительно подвергаются изгибу из-за трения передней грани о поверхность древесины. Сжатие и изгиб смятых волокон вызывают образование на торцовом срезе видимых дефектов – ворсистости или трещин глубиной 1-2 мм, если нож недостаточно острый.

С увеличением скорости резания сила  $P_p$  будет возрастать, что вызовет одновременно и рост составляющей  $\sigma_\tau$ . Поэтому отделение частиц станет происходить при более коротком перемещении ножа в древесине, т. е. толщина щепы будет уменьшаться пропорционально возросшей скорости резания. Поэтому не рекомендуется работать при скоростях резания более 20-25 м/с, хотя это и увеличивает производительность машин.

Увеличение скорости резания еще более ухудшает качество щепы, при резании мерзлой древесины. Было установлено, что при резании мерзлых балансов со скоростью  $=9,7$  м/с мелкая фракция в щепе составляет 8,9 %, опилки 3,8 %. С увеличением скорости резания до 36,4 м/с доля мелкой фракции возрастает до 24 %, а опилок до 16,6 %. Это объясняется тем, что при понижении температуры прочность влажной древесины заметно возрастает благодаря образованию льда. Так установлено, что при температуре  $-30^\circ\text{C}$  прочность древесины на сжатие вдоль волокон при ее влажности 70 % увеличивается в 2,43 раза, на скалывание в 2,16, на сжатие поперек волокон в 3,5 раза. При резании мерзлой древесины напряжения сжатия в точке  $b$  (рис.3) значительно возрастут из-за увеличения упругости. Одновременно возрастает и составляющая  $\sigma_\tau$ , которая вызовет отделение щепы при значительно меньшей толщине элемента.

Тонкая щепа из мерзлой древесины разбивается о выступающие поверхности в рубильной машине и дополнительно распадается на узкие частицы – спички. Смятие волокон у мерзлой древесины происходит меньше, благодаря значительному возрастанию прочности на сжатие поперек волокон.

Существует два пути улучшения качества щепы при резании мерзлой древесины. Один путь – снизить скорость резания уменьшением частоты вращения ножевого диска, другой – изменить угол  $\lambda$  (рис. 3). Этот угол, который является дополнением до  $90^\circ$  суммы углов – угла встречи  $\varepsilon$ , угла затягивания  $\gamma_i$ , и угла заточки  $\beta_i$ , контролирует толщину щепы. Установлено

также, что с увеличением угла  $\lambda$ , уменьшается количество, как спичек, так и мелкой нестандартной фракции щепы.

На практике различные значения угла  $\lambda$  могут быть получены изменением угла заточки  $\beta_i$ . Однако, следует помнить, что любые изменения угла заточки ножей в машинах с геликоидальным диском могут нарушать кинематику процесса резания. Поэтому при изменении угла заточки на некоторый угол  $\varphi$  между накладкой диска и ножом следует устанавливать компенсирующие клинья с соответствующим углом  $\varphi$  (рис. 4).

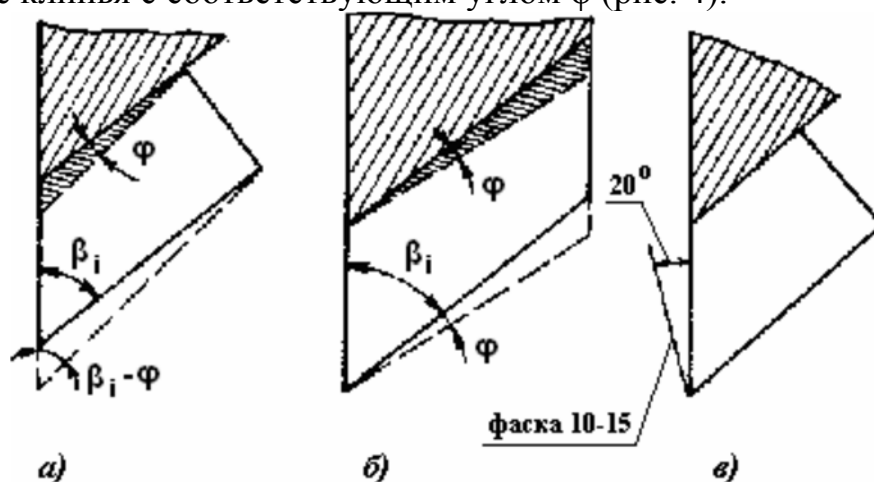


Рис. 4. Схема установки компенсирующих клиньев при изменении угла заточки ножей в машинах с геликоидальным диском

При увеличении угла заточки острие клина должно быть направлено к периферии диска (рис. 4, а), при уменьшении – к центру диска (рис.4,б). Известен и другой способ уменьшения угла заточки – снятие на передней грани ножа короткой фаски шириной не более 1,5 мм под углом около  $20^\circ$  (рис.4, в).

Хотя с уменьшением угла заточки ножей и удается улучшить качество щепы, однако такие ножи быстрее подвержены затуплению, особенно при резании мерзлой древесины. При тупых ножах ухудшается подача древесины, срез щепы получается более грубым, шероховатым, появляется большое количество мелкой фракции, возрастает расход электроэнергии. Использование высококачественных инструментальных сталей можно добиться уменьшения углов заточки и более долговременной работы ножей.

Для условий резания древесины в рубильной машине, когда сумма угла встречи  $\varepsilon$  и угла резания близка к  $90^\circ$  (рис. 2, б), толщина элементов щепы может быть рассчитана по упрощенной формуле

$$t_{щ} = \frac{l_{щ} \cdot \tau_{в'}}{\sigma_{см} (1 + f_c \cdot f_d)}, \quad (9)$$

где  $l_{щ}$  – длина щепы, мм;

$\sigma_{см}$  – предел сопротивления древесины смятию вдоль волокон, Па;

- $\tau_{в"}$  – предел сопротивления древесины скалыванию вдоль волокон, Па;
- $f_c$  – коэффициент добавочного сопротивления при сдвиге элемента щепы;
- $f_d$  – коэффициент трения древесины по передней грани ножа.

Помимо рассмотренных факторов на качество щепы оказывают влияние величина зазора  $\Delta t$  между лезвиями ножей и кромками контрножей, а также состояние рабочих кромок контрножей и подножевых пластин 7 (см. рис. 2).

Величина зазора  $\Delta t$  должна быть минимально возможной и строго отрегулирована в пределах 0,5-0,8 мм. При увеличении зазора ухудшается качество торцовых срезов частиц, появляется большое количество спичек и мелкой фракции. Рабочие кромки контрножей должны подвергаться своевременной заточке. При эксплуатации машин они постепенно затупляются, что приводит к снижению выхода кондиционной щепы. Радиус закругления рабочей кромки контрножа при износе должен быть не более 2 мм.

Качество щепы в немалой степени зависит от своевременного и тщательного технического обслуживания рубильной машины в соответствии с требованиями завода-изготовителя [7].

### Вопросы для самоконтроля

1. От каких параметров зависит длина технологической щепы при переработке древесины в рубильных машинах с плоским диском?
2. Какие отрицательные явления типичны для рубильных машин с плоским диском?
3. Что характерно для процесса резания в рубильных машинах с геликоидальной поверхностью?
4. Какие параметры оказывают влияние на процесс затягивания лесоматериала в рубильной машине?
5. От каких параметров зависит длина технологической щепы при переработке древесины в машинах с геликоидальным диском?
6. Какие параметры оказывают влияние на толщину элементов щепы?
7. Как влияет на качество щепы скорость резания?
8. Назовите пути улучшения качества щепы при резании мерзлой древесины?
9. Как влияет на качество щепы угол заточки ножей?
10. Как влияет на качество щепы величина зазора между лезвиями ножей и кромками контрножей?

## Практическая работа №3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ СТАЦИОНАРНОЙ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ

**Цель работы** – приобретение практических навыков расчета потребной мощности привода дисковой рубильной машины и ее производительности.

Практическая работа выполняется студентами в зависимости от выданного преподавателем варианта. Исходные данные для расчета приведены в прил. 1.

Расчетная схема приведена на рис. 5.

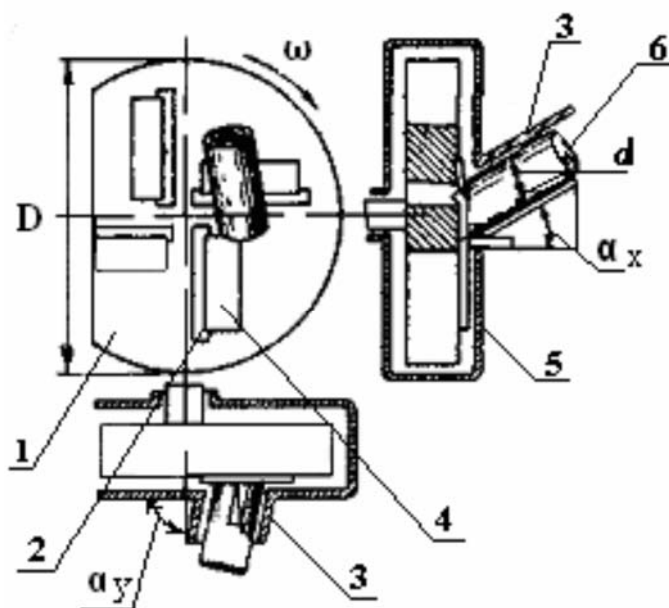


Рис. 5. Схема рубильной машины:

1 – ножевой диск; 2 – подножевая щель; 3 – загрузочный патрон; 4 – режущий нож; 5 – кожух машины; 6 – перерабатываемая древесина;  $D$  – диаметр ножевого диска;  $\omega$  – угловая скорость вращения ножевого диска;  $d$  – диаметр перерабатываемой древесины;  $\alpha_x$  – угол наклона патрона рубильной машины в вертикальной плоскости;  $\alpha_y$  – угол наклона патрона рубильной машины в горизонтальной плоскости

Мощность привода дисковой рубильной машины в общем виде рассчитывается по формуле [7]

$$N = N_1 - N_2 + N_3, \quad (10)$$

где  $N$  – расчетная мощность двигателя привода рубильной машины, Вт;

$N_1$  – мощность, затрачиваемая на процесс измельчения лесоматериалов при рубке на щепу, Вт;

$N_2$  – мощность, развиваемая силами инерции вращающегося диска рубильной машины, Вт;

$N_3$  – мощность, расходуемая на выброс щепы по щепопроводу, Вт (в случае, если конструкция рубильной машины предусматривает нижний выброс щепы, то  $N_3 = 0$ ).

Мощность, затрачиваемая на процесс измельчения лесоматериалов при рубке на щепу, рассчитывается по формуле

$$N_1 = \frac{P_p \cdot \vartheta_p}{\eta} \quad (11)$$

где  $P_p$  – усилие резания на ножах диска, Н;

$\vartheta_p$  – скорость резания, м/с;

$\eta$  – КПД механизма передачи (0,9-0,95).

Усилие резания на ножах диска,  $P_p$ , рассчитывается по формуле

$$P_p = K \cdot K_1 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot B \cdot H \cdot \frac{\vartheta_n}{\vartheta_p}, \quad (12)$$

где  $K$  – удельное сопротивление резанию при рубке древесины на щепу, Н/мм<sup>2</sup>, зависит от породы древесины (выбирается по табл.6);

$K_1$  – коэффициент одновременности участия ножей в процессе рубки древесины на щепу, зависит от количества ножей на диске машины (выбирается по табл. 7)

$K_3$  – коэффициент загрузки площади поперечного сечения патрона рубильной машины лесоматериалами; зависит от вида измельчаемого сырья (выбирается по табл. 8);

$K_4$  – коэффициент, учитывающий затупление режущих ножей, (см. задание);

$K_5$  – коэффициент, учитывающий состояние перерабатываемой древесины, (при положительной температуре древесного сырья  $K_5 = 1,0$ ; при измельчении мерзлой древесины – 1,6);

$B, H$  – соответственно высота и ширина загрузочного патрона рубильной машины, мм (берется из задания);

$\vartheta_n$  – скорость надвигания лесоматериала м/с (см. задание).

Т а б л и ц а 6

Удельное сопротивление резанию древесины в рубильной машине

Порода древесины	Состояние древесины	Значение $K$ , Н/мм <sup>2</sup>
Ель, сосна	свежесрубленная	2,0
	мерзлая	4,0
Осина	свежесрубленная	2,5
	мерзлая	4,5
Береза	свежесрубленная	3,0
	мерзлая	5,0
Лиственница	свежесрубленная	3,5
	мерзлая	5,0



Т а б л и ц а 7

Значение коэффициента одновременности работы  $K_1$   
в зависимости от числа ножей  $Z$

$K_1$	2	4	6	8	10	12	14	16
$Z$	1,0	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

Т а б л и ц а 8

Основные показатели по видам измельченного сырья

Вид сырья	Показатель			
	$K_3$	$C_2$	$m_g$ , кг	$L$ , м
Ветки	0,1	0,4	30	1,5
Вершинки	0,15	0,5	40	2,5
Тонкомерные деревья	0,2	0,5	50	4,0
Колотая древесина	0,25	0,8	80	1,0
Горбыль, рейки	0,2	0,85	70	4,0
Балансы	0,35	0,85	100	1,5

Скорость резания рассчитывают по формуле

$$\vartheta_p = \omega \cdot \frac{D_o}{2}, \quad (13)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения диска, рад/с (см. задание);

$D_o$  – диаметр окружности резания, проходящий через середину длины лезвия ножей, м, рассчитывается по формуле

$$D_o = D - l_n, \quad (14)$$

где  $D$  – диаметр диска, м (см. задание);

$l_n$  – длина лезвия ножей рубильной машины, м (см. задание).

Количество ножей на диске рассчитывается по формуле

$$Z = \frac{U_n \cdot \pi \cdot D_o}{\vartheta_p \cdot h}, \quad (15)$$

где  $h$  – выпуск ножей относительно плоскости диска (толщина срезаемого слоя древесины), м, вычисляется по формуле

$$h = l_{щ} \cdot \cos \alpha_x \cdot \cos \alpha_y, \quad (16)$$

где  $l_{щ}$  – длина щепы, м (см. задание);

$\alpha_x$  – угол наклона патрона рубильной машины в вертикальной плоскости, град (см. задание);

$\alpha_y$  – угол наклона патрона рубильной машины в горизонтальной плоскости, град (см. задание).

В рубильных машинах с горизонтальной, подачей, когда  $\alpha_x = 0$ , выпуск ножей относительно плоскости диска рассчитывается по формуле

$$h = l_{\text{ш}} \cdot \cos \alpha_y. \quad (17)$$

Мощность, развиваемая силами инерции вращающегося диска рубильной машины,  $N_2$ , рассчитывается по формуле

$$N_2 = \delta \cdot K_d \frac{m_d \cdot v_d^2}{4} \cdot \frac{\vartheta_n}{L}, \quad (18)$$

где  $\delta$  – коэффициент снижения частоты вращения ротора электродвигателя при рубке древесины,  $\delta = 0,3-0,4$ ;

$K_d$  – коэффициент, учитывающий момент инерции вращающегося ротора электродвигателя, муфты и т.д.,  $K_d = 1,1-1,2$ ;

$m_d$  – масса диска, кг;

$v_d$  – окружная скорость вращения диска, м/с;

$L$  – путь надвигания (средняя длина измельчаемого лесоматериала), м (выбирается в зависимости от вида лесоматериала по табл. 8);

$\vartheta_n$  – скорость надвигания лесоматериала м/с (см. задание).

Масса диска,  $m_d$ , рассчитывается по формуле

$$m_d = 460 \cdot D^2 \cdot H_d, \quad (19)$$

где  $D$  – диаметр диска, м (см. задание);

$H_d$  – толщина диска, м (см. задание).

Окружная скорость вращения диска,  $v_d$ , рассчитывается по формуле

$$v_d = \omega \cdot \frac{D}{2}. \quad (20)$$

Мощность, расходуемая на выброс щепы по щепопроводу (в случае выброса щепы вверх),  $N_3$ , рассчитывается по формуле

$$N_3 = \frac{m_r \cdot v_d^2}{2} \cdot \frac{\vartheta_n}{L}, \quad (21)$$

где  $m_r$  – масса измельчаемых порций лесоматериалов, находящихся на лопастях диска и в щепопроводе, кг (табл. 8).

Производительность рубильной машины,  $\Pi_q$ , м<sup>3</sup>/час, рассчитывается по формуле

$$\Pi_q = \frac{3600 \cdot \omega \cdot Z \cdot l_{\text{ш}} \cdot B_{\text{ср}} \cdot H_{\text{ср}} \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot K_3}{2\pi}, \quad (22)$$

- где  $B_{cp}$  – средняя ширина измельчаемого материала (или ширина патрона при измельчении сучьев,  $B$ ), м; для круглых лесоматериалов  $B_{cp} = d_{cp}$ , где  $d_{cp}$  – средний диаметр измельчаемых круглых лесоматериалов, м;
- $H_{cp}$  – средняя высота измельчаемого материала или высота патрона, м (для круглых лесоматериалов  $H = L$ , м);
- $\varphi_1$  – коэффициент загрузки машины,  $\varphi_1 = 0,5-0,6$ . Если в формулу (22) вместо  $d_{cp}$  подставляется  $d_{max}$  (наибольший диаметр измельчаемых кряжей, определяемый размерами сечения загрузочного патрона), то коэффициент загрузки рубильной машины  $\varphi_1$  может достигать 1,0.
- $\varphi_2$  – коэффициент использования рубильной машины по времени, учитывающий замену и заточку ножей, летом  $\varphi_2 = 0,75-0,8$ ; зимой  $\varphi_2 = 0,60-0,70$ ;
- $K_3$  – коэффициент загрузки патрона машины (табл. 8).

### **Пример расчета.**

*Исходные данные:*

- длина щепы,  $l_{щ}$ , мм – 20;
- порода древесины – сосна;
- состояние древесины – древесина положительной температуры;
- направление выброса щепы – вверх;
- диаметр диска,  $D$ , м – 1,6;
- толщина диска,  $H_d$ , м – 0,16;
- угловая скорость вращения диска,  $\omega$ , рад/с – 40;
- углы наклона загрузочного патрона в плоскости, град.: вертикальной,  $\alpha_x = 0$ , горизонтальной,  $\alpha_y = 40$ ;
- размеры патрона, мм: высота,  $H = 400$ , ширина,  $B = 350$ ;
- длина ножей,  $l_n$ , м – 0,5;
- коэффициент затупления режущих ножей,  $K_4 = 1,18$ ;
- вид измельчаемого сырья – круглые лесоматериалы;
- скорость надвигания,  $\vartheta_n$ , м/с – 0,8.

Рассчитываем диаметр окружности резания, проходящий через середину длины лезвия ножей

$$D_o = D - l_n = 1,6 - 0,5 = 1,1 \text{ м.}$$

Скорость резания составит

$$\vartheta_p = \omega \cdot \frac{D_o}{2} = 40 \cdot \frac{1,1}{2} = 22 \text{ , м/с.}$$

Вычисляем выпуск ножей относительно плоскости диска

$$h = l_{\text{ш}} \cdot \cos \alpha_y = 0,02 \cdot 0,766 = 0,015 \text{ м.}$$

Рассчитываем количество ножей на диске

$$Z = \frac{U_n \cdot \pi \cdot D_o}{\vartheta_p \cdot h} = \frac{0,8 \cdot 3,14 \cdot 1,1}{22 \cdot 0,015} = 8,18 \approx 8.$$

Рассчитываем усилие резания на ножах диска

$$P_p = K \cdot K_1 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot B \cdot H \cdot \frac{\vartheta_H}{\vartheta_p} =$$

$$2,0 \cdot 1,2 \cdot 0,35 \cdot 1,18 \cdot 1,0 \cdot 350 \cdot 400 \cdot \frac{0,8}{22} = 5046 \text{ Н.}$$

Рассчитываем мощность, затрачиваемую на процесс измельчения лесоматериалов при рубке на щепу

$$N_1 = \frac{P_p \cdot \vartheta_p}{\eta} = \frac{5046 \cdot 22}{0,95} = 116854,7 \text{ Вт.}$$

Рассчитываем массу диска

$$m_d = 460 \cdot D^2 \cdot H_d = 460 \cdot 1,6^2 \cdot 0,16 = 188,42 \text{ кг.}$$

Рассчитываем окружную скорость вращения диска

$$v_d = \omega \cdot \frac{D}{2} = 40 \cdot \frac{1,6}{2} = 32 \text{ м/с.}$$

Рассчитываем мощность, развиваемую силами инерции вращающегося диска рубильной машины

$$N_2 = \delta \cdot K_d \cdot \frac{m_d \cdot v_d^2}{4} \cdot \frac{\vartheta_H}{L} = 0,35 \cdot 1,15 \cdot \frac{188,42 \cdot 32^2}{4} \cdot \frac{0,8}{1,5} = 10348 \text{ Вт.}$$

Рассчитываем мощность, расходуемую на выброс щепы по щепопроводу

$$N_3 = \frac{m_r \cdot v_d^2}{2} \cdot \frac{\vartheta_H}{L} = \frac{100 \cdot 32^2}{2} \cdot \frac{0,8}{1,5} = 27289,6 \text{ Вт.}$$

Мощность привода дисковой рубильной машины составит  
 $N = N_1 - N_2 + N_3 = 116854,7 - 10348 + 27289,6 = 133796 \text{ Вт} = 133,8 \text{ кВт.}$

Рассчитываем производительность рубильной машины,  $\Pi_{\text{ч}}$ , м<sup>3</sup>/ч

$$\Pi_{\text{ч}} = \frac{3600 \cdot \omega \cdot Z \cdot l_{\text{ш}} \cdot B_{\text{ср}} \cdot H_{\text{ср}} \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot K_3}{2\pi} =$$

$$= \frac{3600 \cdot 40 \cdot 8 \cdot 0,02 \cdot 0,35 \cdot 1,5 \cdot 0,55 \cdot 0,75 \cdot 0,35}{2 \cdot 3,14} = 278,08 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

### Вопросы для самоконтроля

1. По какой формуле рассчитывается мощность привода дисковой рубильной машины?
2. Какие параметры участвуют в расчете мощности, затрачиваемой на процесс измельчения лесоматериалов при рубке на щепу?
3. Какие показатели необходимы для расчета производительности рубильной машины?

## Практическая работа №4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПЕРЕДВИЖНОЙ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ

**Цель работы** – приобретение практических навыков расчета мощности привода и производительности передвижной рубильной машины.

Практическая работа выполняется студентами в зависимости от выданного преподавателем варианта. Исходные данные для расчета приведены в прил. 2.

Схема процесса измельчения древесины в рубильной машине приведена на рис. 2.

### ***Расчет мощности привода рубильной машины.***

Номинальная мощность привода ножевого диска рубильной машины,  $N$ , кВт, рассчитывается по формуле

$$N = \frac{A_{\text{дв}}}{1000 \cdot t \cdot \eta \cdot k_n}, \quad (23)$$

где  $A_{\text{дв}}$  – работа, которую должен совершить двигатель при переработке древесного сырья заданных размеров, Дж;

$t$  – время переработки древесного сырья, с;

$\eta$  – коэффициент полезного действия (механический) передачи (см. задание);

$k_n$  – допустимый коэффициент перегрузки двигателя (см. задание).

Работа, которую должен совершить двигатель при переработке древесного сырья,  $A_{\text{дв}}$ , рассчитывается по формуле

$$A_{\text{дв}} = A - A_{\text{д}}, \quad (24)$$

где  $A$  – полная работа, необходимая для переработки древесного сырья, Дж;

$A_{\text{д}}$  – работа, совершаемая энергией вращающегося диска при снижении частоты вращения от номинальной до минимально допустимой, Дж.

Полная работа, необходимая непосредственно для измельчения древесного сырья и преодоления его трения о поверхность вращающегося диска, рассчитывается по формуле

$$A = P_u (1 + 0,3k_f) \cdot B_{cp} \cdot v \cdot t, \quad (25)$$

где  $P_u$  – удельная сила резания, Н/мм;

$k_f$  – коэффициент трения древесины о поверхность диска (0,2-0,3);

$B_{cp}$  – средняя условная ширина резания, мм;

$v$  – скорость резания, м/с;

$t$  – время, необходимое для переработки древесного сырья заданной длины, с.

Удельная сила резания рассчитывается по формуле

$$P_u = P_{u(\varphi_1, \varphi_2)} \cdot a_p \cdot a_w \cdot a_t \cdot a_s, \quad (26)$$

где  $P_{u(\varphi_1, \varphi_2)}$  – удельная касательная сила резания, зависящая от угла встречи

$\varphi_1$  и угла наклона  $\varphi_2$ , Н/мм;

$a_p$  – коэффициент затупления режущих ножей (см. задание);

$a_w$  – коэффициент, учитывающий влажность древесины (для влажности 25-30 %  $a_w = 1,1$ ; для влажности 50-57 %  $a_w = 1,0$ );

$a_t$  – коэффициент, вводимый при переработке мороженой древесины, ( $a_t = 1,6$ );

$a_s$  – коэффициент, учитывающий породу древесины (табл. 9).

Т а б л и ц а 9

Значения коэффициента  $a_s$  для различных пород древесины

Порода	Значение коэффициента $a_s$
Сосна	1,00
Ель	0,87
Пихта	0,87
Лиственница	1,07
Осина	0,85
Береза	1,25
Ясень, дуб	1,60
Бук	1,40

Удельная касательная сила резания для наиболее распространенных условий работы рубильных машин рассчитывается по формуле

$$P_{u(\varphi_1, \varphi_2)} = h \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \sin^2 \varphi_2 - \cos^2 \varphi_2 + 2, \quad (27)$$

где  $\varphi_1$  – угол встречи вектора скорости резания с направлением волокон древесины, град (см. задание);

$\varphi_2$  – угол наклона (угол, лежащий между линией лезвия ножа и направлением волокон древесины), град (см. задание);

$h$  – толщина срезаемого слоя, мм.

В соответствии со схемой, приведенной на рис. 2

$$h = l_{\text{ш}} \cdot \cos \varphi_1. \quad (28)$$

Для определения полной работы, необходимой для переработки древесного сырья,  $A$ , рассчитывают среднюю условную ширину резания, скорость резания и время, затрачиваемое на переработку древесного сырья.

Среднюю условную ширину резания,  $B_{\text{ср}}$ , мм, определяют по формуле

$$B_{\text{ср}} = \frac{10^2 \cdot F_{\text{ср}}}{L \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2}, \quad (29)$$

где  $F_{\text{ср}}$  – средняя площадь поперечного сечения перерабатываемой древесины, см<sup>2</sup>;

$L$  – расстояние между смежными режущими ножами по окружности резания, мм, рассчитывается по формуле

$$L = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{Z}, \quad (30)$$

где  $R$  – средний радиус резания, мм,  $R = 0,3D$ ;

$D$  – диаметр ножевого диска, мм (см. задание);

$Z$  – количество режущих ножей на диске (см. задание).

Средняя площадь поперечного сечения перерабатываемого сырья рассчитывается по формуле

$$F_{\text{ср}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot n, \quad (31)$$

где  $d$  – средний диаметр перерабатываемого сырья, см (см. задание);

$n$  – количество одновременно измельчаемых бревен.

Скорость резания можно определять по формуле

$$v = \frac{\pi \cdot D_p \cdot n}{60}, \quad (32)$$

где  $D_p$  – диаметр резания, м ( $D_p = 2R$ );

$n$  – частота вращения ножевого диска, мин<sup>-1</sup> (см. задание).

Время, необходимое для переработки древесного сырья заданной длины рассчитывают по формуле

$$t = \frac{l_{\text{дс}} \cdot 1000 \cdot 60}{n \cdot Z \cdot l_{\text{ш}}}, \quad (33)$$

где  $l_{\text{дс}}$  – длина измельчаемого древесного сырья, м (см. задание);

$l_{щ}$  – длина щепы, мм, (см. задание).

Избыточную работу, погашаемую энергией вращающегося диска при снижении частоты его вращения от номинальной ( $\Pi_n$ ) до минимально допустимой ( $\Pi_k$ ),  $A_d$ , рассчитывают по формуле

$$A_d = \frac{\pi \cdot M_d \cdot r^2}{30^2 \cdot 2g} \cdot (\Pi_n^2 - \Pi_k^2), \quad (34)$$

где  $M_d$  – масса диска, кг;

$r$  – радиус инерции диска, м;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\Pi_n$  ( $n$ ) – номинальная частота вращения ножевого диска (см. задание);

$\Pi_k$  – минимально допустимая частота вращения ножевого диска (коэффициент снижения оборотов двигателя от номинальных значений до минимально допустимых принимают 0,7, следовательно  $\Pi_k = 0,7 \cdot \Pi_n$ ).

Массу диска рассчитывают по формуле

$$M_d = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \cdot k_{nc} \cdot \rho, \quad (35)$$

где  $H$  – толщина диска, м (см. задание);

$k_{nc}$  – коэффициент, учитывающий пустоты диска в виде подножевых щелей,  $k_{nc} = 0,8$ ;

$\rho$  – плотность материала диска (для стали  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>).

Для ножевого диска радиусом  $R$  радиус инерции определяется по формуле

$$r = \frac{R}{1,4}. \quad (36)$$

### ***Проверка рубильной машины на производительность.***

После определения мощности привода рубильной машины, в процессе которого принимают конкретные параметры (скорость вращения диска, количество ножей, длина щепы и т.п.), выполняют контрольный расчет ее производительности.

Часовую производительность рубильной машины рассчитывают по формуле

$$\Pi_q = \frac{h \cdot Z \cdot 60 \cdot n \cdot F_{cp} \cdot k_1 \cdot k_2}{1000 \cdot 10000}, \quad (37)$$

где  $h$  – толщина срезаемого слоя, мм;

$Z$  – количество режущих ножей на диске;

$n$  – частота вращения ножевого диска, мин<sup>-1</sup>;



$F_{\text{ср}}$  – средняя площадь поперечного сечения перерабатываемой древесины, см<sup>2</sup>;

$k_1$  – коэффициент использования машинного времени (для малоножевых машин – 0,5-0,8);

$k_2$  – коэффициент использования рабочего времени (0,7-0,8).

Скорость надвигания измельчаемого древесного сырья,  $v_{\text{н}}$ , находится в зависимости от производительности рубильной машины и рассчитывается по формуле

$$v_{\text{н}} = \frac{\Pi_{\text{ч}}}{3600 \cdot F_{\text{ср}} \cdot C_1 \cdot C_2}, \quad (38)$$

где  $C_1$  – коэффициент заполнения транспортера подачи,  $C_1 = 0,6$ ;

$C_2$  – коэффициент использования рабочего времени смены,  $C_2 = 0,6$ .

### **Пример расчета.**

*Исходные данные:*

- порода древесины – сосна;
- состояние древесины – древесина положительной температуры;
- влажность древесины – 24%;
- средний диаметр перерабатываемого сырья,  $d$ , см – 16;
- требуемая длина щепы,  $l_{\text{щ}}$ , мм – 18;
- длина измельчаемого древесного сырья,  $l_{\text{дс}}$ , м – 1,5;
- коэффициент перегрузки двигателя,  $k_{\text{п}}$  – 1,3;
- коэффициент полезного действия передачи,  $\eta$  – 0,82 ;
- коэффициент, учитывающий затупление режущих ножей,  $a_{\text{р}}$  – 1,1;
- угол встречи вектора скорости резания с направлением волокон древесины,  $\varphi_1$ , град. – 45;
- угол наклона,  $\varphi_2$ , град. – 25;
- количество режущих ножей на диске,  $Z$ , шт. – 2;
- диаметр ножевого диска,  $D$ , мм – 1000;
- толщина диска,  $H$ , м – 0,1;
- частота вращения ножевого диска,  $n$ , мин<sup>-1</sup> – 460.

### **Расчет мощности привода рубильной машины.**

Расчет ведем в следующей последовательности.

Рассчитываем толщину срезаемого слоя древесины:

$$h = l_{\text{щ}} \cdot \cos \varphi_1 = 18 \cdot 0,707 = 12,7 \text{ мм}.$$

Определяем удельную касательную силу резания:

$$\begin{aligned} P_{u(\varphi_1, \varphi_2)} &= h \cdot \sin^2 \varphi_1 \cdot \sin^2 \varphi_2 - \cos^2 \varphi_2 + 2 = \\ &= 12,7 \cdot \sin^2 45 \cdot \sin^2 25 - \cos^2 25 + 2 = 2,26 \text{ Н/мм}. \end{aligned}$$

Рассчитываем удельную касательную силу резания с учетом конкретных условий работы машины:

$$P_u = P_{u(\varphi_1, \varphi_2)} \cdot a_p \cdot a_w \cdot a_t \cdot a_s = 2,26 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,73 \text{ Н/мм.}$$

Для определения полной работы рассчитываем среднюю условную ширину резания, скорость резания и время, затрачиваемое на переработку древесного сырья:

$$R = 0,3D = 0,3 \cdot 1000 = 300 \text{ мм,}$$

$$L = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{Z} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 300}{2} = 942 \text{ мм,}$$

$$F_{cp} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot n = \frac{3,14 \cdot 16^2}{4} \cdot 1 = 201 \text{ см}^2,$$

$$B_{cp} = \frac{10^2 \cdot F_{cp}}{L \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2} = \frac{100 \cdot 201}{942 \cdot 0,707 \cdot 0,422} = 71,5 \text{ мм,}$$

$$D_p = 2R = 2 \cdot 0,3 = 0,6 \text{ м}$$

$$v = \frac{\pi \cdot D_p \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,6 \cdot 460}{60} = 14,4 \text{ м/с,}$$

$$t = \frac{l_{dc} \cdot 1000 \cdot 60}{n \cdot Z \cdot l_{ш}} = \frac{1,5 \cdot 1000 \cdot 60}{460 \cdot 2 \cdot 18} = 5,4 \text{ с.}$$

Рассчитываем полную работу, необходимую непосредственно для измельчения древесного сырья:

$$A = P_u (1 + 0,3k_f) \cdot B_{cp} \cdot v \cdot t = \\ = 2,73 \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,25) \cdot 71,5 \cdot 14,4 \cdot 5,4 = 16316,74 \text{ Дж.}$$

Рассчитываем массу и радиус инерции ножевого диска:

$$M_d = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \cdot k_{nc} \cdot \rho = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} \cdot 0,1 \cdot 0,8 \cdot 7800 = 489,84 \text{ кг,}$$

$$r = \frac{R}{1,4} = \frac{0,5 \cdot 1,0}{1,4} = 0,36 \text{ м.}$$

Рассчитываем минимально допустимую частоту вращения ножевого диска:

$$\Pi_k = 0,7 \cdot \Pi_n = 0,7 \cdot 460 = 322 \text{ мин}^{-1}.$$

Определяем избыточную работу, погашаемую энергией вращающегося диска при снижении частоты его вращения от номинальной ( $\Pi_n$ ) до минимально допустимой ( $\Pi_k$ ):

$$A_d = \frac{\pi \cdot M_d \cdot r^2}{30^2 \cdot 2g} \cdot (\Pi_n^2 - \Pi_k^2) = \frac{3,14 \cdot 490 \cdot 0,36^2}{30^2 \cdot 2 \cdot 9,8} \cdot (460^2 - 322^2) = 1219,9 \text{ Дж}.$$

Рассчитываем работу, которую должен совершить двигатель при переработке древесного сырья:

$$A_{дв} = A - A_d = 16316,74 - 1219,9 = 15096,8 \text{ Дж}.$$

Рассчитываем номинальную мощность привода ножевого диска рубильной машины:

$$N = \frac{A_{дв}}{1000 \cdot t \cdot \eta \cdot k_n} = \frac{15096,8}{1000 \cdot 5,4 \cdot 0,82 \cdot 1,3} = 2,62 \text{ кВт}.$$

### ***Проверка рубильной машины на производительность.***

Рассчитываем часовую производительность рубильной машины:

$$\begin{aligned} \Pi_{ч} &= \frac{h \cdot Z \cdot 60 \cdot n \cdot F_{ср} \cdot k_1 \cdot k_2}{1000 \cdot 10000} = \\ &= \frac{12,7 \cdot 2 \cdot 60 \cdot 460 \cdot 201 \cdot 0,7 \cdot 0,75}{1000 \cdot 10000} = 7,4 \text{ м}^3/\text{ч}. \end{aligned}$$

Рассчитываем скорость надвигания измельчаемого древесного сырья:

$$v_n = \frac{\Pi_{ч}}{3600 \cdot F_{ср} \cdot C_1 \cdot C_2} = \frac{7,4}{3600 \cdot 0,0201 \cdot 0,6 \cdot 0,6} = 0,28 \text{ м/с}.$$

### **Вопросы для самоконтроля**

1. От каких параметров зависит скорость резания дисковой рубильной машины?
2. Какие показатели необходимы для расчета производительности рубильной машины?
3. Какие параметры определяются в процессе расчета мощности привода рубильной машины?

## Практическая работа №5 ПЕРЕРАБОТКА КУСКОВЫХ ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ЩЕПУ

**Цель работы** – провести анализ получаемых кусковых отходов лесопиления при переработке на технологическую щепу.

Практическая работа выполняется студентами в зависимости от выданного преподавателем варианта. Исходные данные для расчета приведены в прил. 15.

Порядок выполнения практической работы:

- изучить номенклатуру кусковых отходов, образующихся при лесопилении;
- провести технико-экономический анализ переработки кусковых отходов на технологическую щепу и мелкую пилопродукцию.

### 1. Общие сведения об отходах лесопиления

К кусковым отходам лесопиления относят горбыли, рейки, отрезки бревен и пиломатериалов. В среднем 6 % сырья безвозвратно теряется на распыл и усушку.

*Горбыль* представляет собой отпиленную периферийную часть бревна, у которой с одной стороны пропиленная плоть, а с другой – необработанная поверхность. Толщина горбылей составляет от 20 до 50 мм и возрастает от вершины к комлю. Она зависит от сбежистости и длины пиловочных бревен. Ширина горбылей изменяется от 80 до 130 мм, длина – от 3,0 до 6,5 м. Они, как правило, короче выпиленных досок. Количество горбылей зависит от метода раскря, диаметра и сбег бревен, правильности расчета поставов, подбора бревен по диаметрам и других факторов.

*Рейки* получают при обрезке и раскросе пиломатериалов по ширине.

*Отрезки бревен* получают при поперечном раскросе, когда размеры пиломатериалов не кратны размерам заготовок по длине, при торцовке бревен и пиломатериалов или при вырезке дефектов и пороков древесины. Объем торцовых отрезков и вырезок колеблется в пределах от 2 до 4 %, а в экспортном лесопилении достигает 5 % от исходного сырья.

*Опилки* образуются в процессе лесопиления в объеме от 9 до 16 % от распиливаемого сырья. Из-за небольших размеров древесных частиц они с большим трудом могут быть использованы в целлюлозно-бумажной промышленности. Практическое значение имеют опилки с размером более 3 мм, которые можно, использовать в виде добавок к основному сырью в производстве целлюлозы, бумаги, картона. До 23 % таких частиц образуется на лесопильных рамах при распиловке сосновых и еловых бревен.

## 2. Техничко-экономический анализ переработки кусковых отходов на технологическую щепу и мелкую пилопродукцию

Технологический расчет выполняется в следующем порядке.

Определяют объем бревна при заданном диаметре и длине по прил. 16.

Для составления баланса древесины рассчитывают постав по приведенной в задании схеме и определяют объемный выход пиломатериалов,  $a_{\text{п}}$ . При этом пользуются графиком-квадрантом (прил.17). На безвозвратные потери при пилении приходится 6-7% ( $a_{\text{б.п}}$ ).

Рассчитывают количество образующихся отходов при раскрое по приведенной в задании схеме с учетом объемного выхода пиломатериалов.

Потери в опилки при первом проходе (с учетом обрезки досок),  $q_1$ , рассчитывают по формуле

$$q_1 = 0,63 d_{\text{ср}} \cdot Z \cdot S \cdot l, \quad (39)$$

где  $d_{\text{ср}}$  – диаметр посередине длины бревна, см (на 1 м длины – 1 см в диаметре);

$Z$  – число пил в поставе, шт. (количество досок плюс 1);

$S$  – ширина пропила, м;

$l$  – средняя длина бревна, м (см. задание).

Ширину пропила рассчитывают по формуле

$$S = b + 2S^1, \quad (40)$$

где  $b$  – толщина пильного диска, мм (принимается 2 мм);

$S^1$  – уширение на сторону, мм.

Уширение на сторону в зависимости от твердости древесины и ее агрегатного состояния (таяя, свежесрубленная, сухая или мороженная) может быть максимальным – 0,8-0,9 мм, а для сухой твердой древесины – минимальным, 0,4-0,5 мм.

Потери в опилки при втором проходе (с учетом обрезки досок),  $q_2$ , рассчитывают по формуле

$$q_2 = 0,95 h_{\text{бр}} \cdot Z \cdot S \cdot l, \quad (41)$$

где  $h_{\text{бр}}$  – толщина бруса, м.

Объемный выход опилок из бруса,  $a_0$ , рассчитывают по формуле

$$a_0 = \frac{q_1 + q_2}{q} \cdot 100\%, \quad (42)$$

где  $q$  – объем бревна, м<sup>3</sup> (см. прил.16).

Количество кусковых отходов рассчитывают по формуле

$$a_{\text{к}} = 100 - (a_{\text{п}} + a_0 + a_{\text{б.п}}). \quad (43)$$

Составляют баланс древесины для заданного размера пиловочника, %:

- пиломатериалы
- кусковые отходы
- опилки
- безвозвратные потери

Итого:

Рассматривают использование кусковых отходов по принятым вариантам:

*1-й вариант* – использование кусковых отходов на производство технологической щепы для ЦБП (усредненные нормы расхода принимаются 1,35 м<sup>3</sup> кусковых отходов на 1 м<sup>3</sup> щепы).

*2-й вариант* – использование кусковых отходов на выработку мелкой пилопродукции (усредненные нормы выхода мелкой пилопродукции составляют четвертую часть кусковых отходов).

Количество полученной товарной продукции,  $T$ , руб./м<sup>3</sup> затраченного сырья рассчитывают по формуле:

$$T = a_n \cdot x_1 + a_{щ} \cdot x_2 + (a_0 + a_{ощ}) \cdot x_3, \quad (44)$$

где  $x_1, x_2, x_3$  – принятые оптовые условные цены на пиломатериалы, технологическую щепу и опилки с отсевом от щепы, руб./м<sup>3</sup>;

$a_n, a_{щ}, (a_0 + a_{ощ})$  – количество пиломатериалов, технологической щепы и опилок с отсевом от щепы, ед. объема.

### **Пример расчета.**

*Исходные данные:*

- диаметр пиловочника (бревна),  $d$ , см – 26;
- длина пиловочника (бревна),  $l$ , м – 6,0;

Распиловка осуществляется на лесопильных рамах брусово-развальным способом по следующей схеме:

$$\text{– I проход } \frac{25}{2} - \frac{225}{1} - \frac{25}{2}; \text{ II проход } \frac{16}{3} - \frac{50}{4} - \frac{16}{3}.$$

Для составления баланса рассчитываем постав по приведенной схеме.

Пользуясь графиком-квадрантом (прил. 17) определяем объемный выход пиломатериалов,  $a_n = 64,08\%$ .

По прил. 16 определяем объем бревна при заданных его размерах,  $q = 0,39$  м<sup>3</sup>.

Диаметр посередине длины бревна при  $d = 26$  см составит  $d_{cp} = 29$  см.

Ширину пропила составит:

$$S = b + 2S^1 = 2 + 2 \cdot 0,8 = 3,6 \text{ мм}.$$

Объем потерь в опилки при первом проходе,  $q_1$  составит:

$$q_1 = 0,63 d_{\text{ср}} \cdot Z \cdot S \cdot l = 0,63 \cdot 0,29 \cdot 6 \cdot 0,0036 \cdot 6 = 0,0237 \text{ м}^3.$$

Объем потерь в опилки при втором проходе,  $q_2$ , составит:

$$q_2 = 0,95 h_{\text{бр}} \cdot Z \cdot S \cdot l = 0,95 \cdot 0,225 \cdot 11 \cdot 0,0036 \cdot 6 = 0,0507 \text{ м}^3.$$

Объемный выход опилок из бруса,  $a_0$ , составит:

$$a_0 = \frac{q_1 + q_2}{q} \cdot 100\% = \frac{0,0237 + 0,0507}{0,39} = 19,05\%.$$

Количество кусковых отходов,  $a_k$ , составит:

$$a_k = 100 - (a_n + a_o + a_{\text{б.п}}) = 100 - (64,08 + 19,05 + 6,0) = 10,87\%.$$

**Баланс древесины** для  $d = 26$  см, составит:

- пиломатериалы – 64,08 %;
- кусковые отходы – 10,87 %;
- опилки – 19,05 %;
- безвозвратные потери – 6,0 %;

Итого: 100%.

Рассмотрим использование кусковых отходов по принятым вариантам.

**1-й вариант** – использование кусковых отходов на производство технологической щепы для ЦБП.

В этом случае выход щепы,  $a_{\text{щ}}$ , %, будет составлять:

$$a_{\text{щ}} = \frac{a_k}{1,35} = \frac{10,87}{1,35} = 8,05\%.$$

Отсев от щепы составит:

$$a_{\text{отс}} = 10,87 - 8,05 = 2,82\%.$$

Объемный выход опилок с отсевом от щепы составит:

$$a_0 + a_{\text{отс}} = 19,05 + 2,82 = 21,87\%$$

**Баланс древесины** при использовании кусковых отходов на производство технологической щепы составит:

- пиломатериалы – 64,08 %;
- технологическая щепа – 8,05 %;
- опилки и отсев от щепы – 21,87 %;
- комплексное использование – 94,0 %;
- безвозвратные потери – 6,0%.

Итого: 100 %.

Количество полученной товарной продукции,  $T$ , руб./м<sup>3</sup> затраченного сырья составит:

$$T = a_{\text{п}} \cdot x_1 + a_{\text{щ}} \cdot x_2 + (a_0 + a_{\text{ощ}}) \cdot x_3 = \\ = 0,6408 \cdot 6800 + 0,08 \cdot 800 + 0,2187 \cdot 600 = 4552,66 \text{ руб./м}^3.$$

**2-й вариант** – кусковые отходы используются на выработку мелкой пилопродукции.

Выход мелкой продукции из кусковых отходов,  $a_{\text{км}}$ , %, будет составлять:

$$a_{\text{км}} = \frac{10,87}{4} = 2,72 \text{ \%}.$$

После переработки кусковых отходов на мелкую пилопродукцию получим отходов, %:

$$10,87 - 2,72 = 8,15 \text{ \%},$$

в т. ч. опилок около 15 %, т.е.

$$8,15 \cdot 0,15 = 1,22 \text{ \%}.$$

Тогда полученные отходы, поступившие на производство технологической щепы для ЦБП, %, составят:

$$8,15 - 1,22 = 6,93 \text{ \%}.$$

Выход щепы,  $a_{\text{щ}}$ , из оставшихся отходов составит:

$$6,93 : 1,35 = 5,13 \text{ \%}.$$

Отсев от щепы составит:

$$6,93 - 5,13 = 1,8 \text{ \%}.$$

Опилки с отсевом от щепы составит:

$$a_0 + a_{\text{ощ}} = 19,05 + 1,22 + 1,8 = 22,07 \text{ \%}.$$

**Баланс древесины** при использовании кусковых отходов на выработку мелкой пилопродукции составит:

- пиломатериалы – 64,08 %;
- мелкая пилопродукция – 2,72 %;
- технологическая щепка – 5,13 %;
- опилки с отсевом от щепы – 22,07 %;
- комплексное использование – 94,00 %;
- безвозвратные потери – 6,0 %.

Итого: 100 %.

Товарная продукция,  $T$ , руб./м<sup>3</sup>, составит:

$$T = a_{\text{п}} \cdot x_1 + a_{\text{щ}} \cdot x_2 + (a_0 + a_{\text{ощ}}) \cdot x_3 + a_{\text{км}} \cdot x_4 = \\ = 0,6408 \cdot 6800 + 0,0513 \cdot 800 + 0,2207 \cdot 600 + 0,0272 \cdot 7800 = 4743,02 \text{ руб./м}^3.$$

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие отходы относятся к отходам лесопиления?
2. Что такое баланс древесины?
3. Назовите примерный порядок расчета баланса древесины.



## Практическая работа №6

# ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АРБОЛИТА

**Цель работы** – изучение технологии производства арболита и приобретение практических навыков расчета состава арболитовых смесей.

Порядок выполнения практической работы:

- изучить технологию производства арболита;
- выбрать ориентировочный расход компонентов арболитовой смеси;
- рассчитать состав арболитовой смеси.

### 1. Изучение технологии производства арболита

Арболит (от греческих слов «арбо» – дерево и «литое» – камень) – разновидность лёгкого бетона на основе минерального вяжущего (обычно портландцемента), органических заполнителей (дробленных отходов деревообработки и отходов сельского хозяйства), химических добавок и воды.

#### 1.1. Сырьевые материалы для арболита и требования к ним

*Минеральные вяжущие.*

Вяжущие вещества для изготовления арболита должны удовлетворять требованиям следующих стандартов: портландцемент и быстротвердеющий портландцемент – ГОСТ 10178-85; цемент сульфатостойкий – ГОСТ 22266-94. Марка цемента должна быть не ниже М 300 для теплоизоляционного арболита и М 400 – для конструкционного.

Расход цемента для различных конструкций и изделий из арболита в каждом отдельном случае зависит от марки цемента, марки арболита, вида заполнителя, его характеристики и т.д.

*Заполнители арболита.*

В качестве органических заполнителей для приготовления арболитовой смеси применяют отходы деревообработки, преимущественно хвойных (ель, сосна, пихта) и твердолиственных (береза, осина, бук, тополь) пород, и отходы сельского хозяйства (костра льна и конопли, дроблёная рисовая солома, дроблёные стебли хлопчатника и т.п.).

В качестве древесного заполнителя применяют частицы измельченной древесины в виде щепы, дробленки, шерсти, опилок, древесной крошки, измельченной коры и отходов окорки.

Размеры древесных частиц не должны превышать по длине 40, по ширине 10, а по толщине 5 мм; содержание коры в измельченной древесине не более 10%; а хвои и листьев не более 5% по массе. Содержание водорастворимых редуцирующих веществ не более 2%. Древесные частицы не должны иметь видимых признаков гнили, а также примесей инородных включений

(кусков глины, растительного слоя почвы, камней, песка и пр.), а в зимнее время примесей льда и снега.

Кусковые отходы древесины должны измельчаться в щепу и выдерживаться в кучах под навесом не менее 1 месяца при положительной температуре. Применение свежесрубленной древесины всех пород допускается при соблюдении правил: содержание водорастворимых редуцирующих веществ не более 2 %, коэффициент пригодности должен быть не более 15.

Наиболее распространенным является древесный наполнитель: древесная дроблёнка, древесные опилки со стружкой (соотношение 1:1 или 1:2), стружка, щепа, опилки со стружкой и щепой (соотношение 1:1:1 по объему).

#### *Химические добавки.*

Основной недостаток древесного наполнителя - его химическая активность. В составе всех органических отходов растительного происхождения много растворимых водой веществ, из которых самыми вредными для цемента являются сахара. Чтобы устранить сахара, древесное сырье выдерживают три и более месяцев на открытом воздухе или же обрабатывают органический наполнитель растворами химических добавок.

Химическими добавками могут быть: хлористый кальций, жидкое стекло, известь гашеная, серноокислый алюминий, нитрат кальция и др. Лучшими добавками считаются хлористый кальций и серноокислый алюминий. Возрастание прочности арболита с введением серноокислого алюминия объясняется тем, что он, соединяясь с сахарами, переводит их в безвредное состояние.

При изготовлении арболита общее количество добавок достигает 2 - 4% от веса цемента или 6-12 кг на 1 м<sup>3</sup> арболита. Химические добавки можно применять как отдельно, так и в сочетаниях. Например: хлористый кальций и серноокислый алюминий в соотношении 1:1, растворимое стекло и известь гашеная (1:1). Перед применением химические добавки предварительно растворяют в воде и после этого вводят в арболитовую смесь.

Потребное количество добавок зависит от марки арболита.

## 1.2. Технология производства арболита

Технология производства арболита в основном включает те же операции, что и технология обычного бетона на пористых наполнителях. Однако, органический целлюлозный наполнитель как специфический материал вносит свои коррективы во все технологические операции.

Технологический процесс изготовления изделий из арболита состоит из следующих операций:

- подготовка наполнителя;
- приготовление растворов химических добавок;
- дозировка компонентов;
- приготовление арболитовой смеси;
- укладка смеси в формы и ее уплотнение;

- термообработка сформованных изделий;
- выдержка изделий при положительных температурах;
- транспортирование изделий на склад.

Принципиальная технологическая схема производства арболита приведена на рис.6.

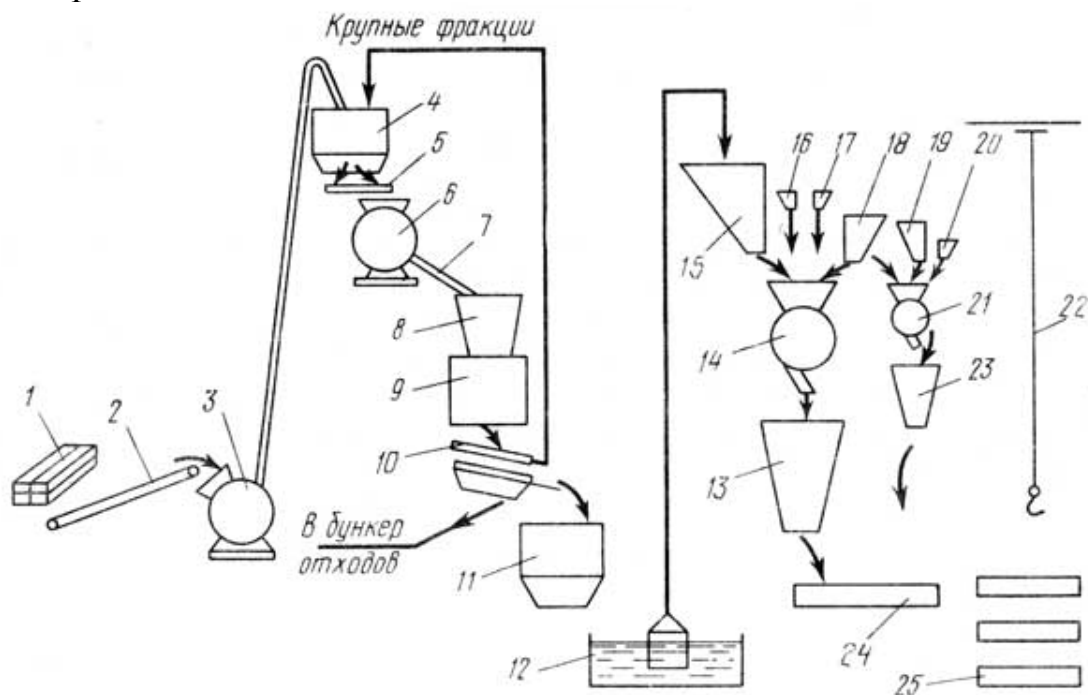


Рис.6. Принципиальная технологическая схема производства арболита

Отходы древесины (лесосечные, лесопиления и деревообработки) складывают на приемной площадке 1, затем транспортером 2 подают в приемную воронку рубильной машины 3. Полученная щепа через циклон 4 направляется на ленточный транспортер 5 и далее для измельчения в молотковую дробилку 6. Измельченная древесина в виде дробленки пневмотранспортером 7 перемещается в циклон 8 и промежуточный бункер 9, откуда поступает на вибрационный грохот 10. На грохоте установлены два сита - верхнее с ячейками 10 мм, которое задерживает крупную дробленку, и нижнее – с ячейками 2 мм, предназначенное для отделения мелкой дробленки и пыли.

Крупная дробленка возвращается на повторное дробление, а мелкая дробленка и пыль поступают в бункер отходов. Фракционированная таким образом дробленая древесина засыпается в бункер 11, из которого в сетчатых контейнерах поступает в ванну 12 для замачивания. По необходимости в бункере дробленку подогревают. При отсутствии процесса замачивания данная операция исключается и дробленка из бункера 11 направляется в дозатор 13, откуда подается в смеситель 14. При наличии процесса замачивания насыщенной водой дробленка из ванны 12 подается в дозатор 15, откуда поступает в смеситель 14, сюда же из дозатора 18 подается цемент, а из дозаторов 16 и 17 - вода и химические добавки в виде водного раствора. Гото-

вая арболитовая смесь из растворосмесителя 14 поступает в арболитоукладчик 13, с помощью которого на формовочных постах 24 формы заполняются арболитовой смесью и уплотняются. Массу уплотняют гидравлическими прессами и вибропрессовальными установками.

Раствор или мелкозернистый бетон для фактурного слоя готовят в специальном бетонорастворном узле, оборудованном смесителем 12, бункером для заполнителей (песка и мелкого щебня) 19, дозатором для воды 20 и раствороукладчиком 23. Формы с изделиями перемещаются краном 22 на пост тепловой обработки и сушки изделий 25, где они находятся до приобретения необходимой для транспортировки прочности.

Приемку арболита и изделий из него следует производить в соответствии с действующим ГОСТ. Приемочный контроль осуществляется по средней плотности, классу или марке по прочности на сжатие и отпускной влажности. Кроме того, проверяют линейные размеры изделий. Поставку изделий потребителю производят по достижении арболитом прочности не менее 80 % проектной.

## 2. Выбор ориентировочного расхода компонентов арболитовой смеси

Подбор состава арболитовой смеси производится расчетно-экспериментальным методом, который включает в себя:

- выбор ориентировочного расхода компонентов смеси;
- расчет состава арболитовой смеси,
- проверку и корректировку рассчитанного состава на пробных замесах.

*Ориентировочный расход* всех компонентов арболитовой смеси в зависимости от проектного класса (марки) арболита по прочности и вида древесного заполнителя определяют по табл. 10-14 [9].

Исходные данные для расчета выбираются в зависимости от выданного варианта (прил. 3).

Т а б л и ц а 1 0

Ориентировочный расход сухого древесного заполнителя на 1 м<sup>3</sup> арболита, кг, при портландцементе марки М 400

Вид заполнителя	Класс арболита (марка)					
	В0,35 (5)	В0,75 (10)	В1,0 (15)	В1,5 –	В2,0 (25)	В2,5 (35)
Дробленка из отходов лесопиления и деревообработки хвойных пород	140	160	180	200	220	240
Дробленка из отходов лесозаготовки хвойных пород	150	170	190	210	230	250
Дробленка из отходов лесопиления и деревообработки смешанных пород	180	180	200	220	240	250
Дробленка из отходов лесозаготовки смешанных пород	140	160	180	200	220	240
Одубина	160	180	200	220	275	290

Т а б л и ц а 11

Ориентировочный расход портландцемента марки 400 на 1 м<sup>3</sup> арболита,  
кг, в зависимости от его класса

Вид заполнителя	Класс арболита (марка)					
	B0,35 (5)	B0,75 (10)	B1,0 (15)	B1,5 –	B2,0 (25)	B2,5 (35)
Дробленка из отходов лесопиления и деревообработки хвойных пород	240	250	280	300	330	360
Дробленка из отходов лесозаготовки хвойных пород	260	280	300	320	350	380
Дробленка из отходов лесопиления и деревообработки смешанных пород	270	290	310	330	360	390
Дробленка из отходов лесозаготовки смешанных пород	290	310	330	350	380	–
Одубина	280	300	320	340	370	400

Т а б л и ц а 12

Максимальный расход химической добавки на 1 м<sup>3</sup> арболита, кг,  
в зависимости от вида заполнителей (в пересчете на сухое вещество)

Химическая добавка	Расход, кг/м <sup>3</sup>	
	древесная дробленка	одубина
Хлорид кальция технологический	8	8-9
Стекло натриево жидкое	8	–
Комплексная добавка: сернокислый алюминий	25	–
известь-пушонка	20	–
Нитрат кальция	8	8-9

Т а б л и ц а 13

Ориентировочный расход воды на 1 м<sup>3</sup> арболита, л,  
в зависимости от его класса

Вид заполнителя	Класс арболита (марка)					
	B0,35 (5)	B0,75 (10)	B1,0 (15)	B1,5	B2,0 (25)	B2,5 (35)
Дробленка из отходов лесопиления и деревообработки хвойных пород	260	280	300	330	380	400
Дробленка из отходов лесозаготовки хвойных пород	280	300	330	360	400	440
Дробленка из отходов лесопиления и деревообработки смешанных пород	310	330	360	390	430	460
Дробленка из отходов лесозаготовки смешанных пород	310	330	360	390	430	460
Одубина	210	230	250	270	300	370

Таблица 14

Коэффициент изменения нормативных расходов цемента в арболите  
при изменении марки цемента

Марка цемента	Класс арболита (марка)				
	B0,35 (5)	B0,75 (10)	B1,0 (15)	B2,0 (25)	B2,5 (35)
M300	1,05	1,05	1,05	1,10	1,15
M400	1	1	1	1	1
M500	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94
M600	0,93	0,93	0,92	0,92	0,9

### 3. Расчет состава арболитовой смеси

Исходные данные для расчета выбираются в зависимости от выданного варианта (прил. 3).

#### *Расчет состава арболитовой смеси.*

После определения ориентировочного расхода всех компонентов арболитовой смеси, проводят расчет состава в следующей последовательности.

1. Рассчитывают расход древесного заполнителя с учетом его влажности,  $Z^w$ , кг/м<sup>3</sup>, по формуле

$$Z^w = \frac{Z^{\text{сух}} (100 + W_3)}{100}, \quad (45)$$

где  $Z^{\text{сух}}$  – расход сухого древесного заполнителя, кг/м<sup>3</sup> (табл.10);

$W_3$  – влажность древесного заполнителя, %.

2. Рассчитывают расход портландцемента с учетом заданной марки,  $\Pi_m$ , кг/м<sup>3</sup> по формуле

$$\Pi_m = \Pi \cdot K_m, \quad (46)$$

где  $\Pi$  – расход портландцемента марки M400, кг/м<sup>3</sup> (табл.11);

$K_m$  – коэффициент изменения нормативных расходов цемента с учетом его марки (табл.14).

3. Рассчитывают содержание воды в древесном заполнителе,  $B_3$ , кг/м<sup>3</sup> по формуле

$$B_3 = Z^w - Z^{\text{сух}}. \quad (47)$$

где  $Z^{\text{сух}}$  – расход сухого древесного заполнителя, кг/м<sup>3</sup>;

$Z^w$  – расход древесного заполнителя с учетом его влажности, кг/м<sup>3</sup>.

4. Рассчитывают содержание воды в химических добавках,  $B_{\text{хд}}$ , кг/м<sup>3</sup> по формуле

$$B_{\text{хд}} = V \cdot \rho_{\text{хд}} - XД_{\text{сух}}, \quad (48)$$

где  $XД_{сух}$  – расход сухого вещества для приготовления раствора химической добавки,  $кг/м^3$  (табл.12);

$\rho_{хд}$  – плотность раствора при  $20^{\circ}C$  в зависимости от заданной химической добавки и ее концентрации,  $кг/м^3$  (прил. 6-9);

$V$  – объем раствора химической добавки в зависимости от его концентрации, л, рассчитывается по формуле

$$V = \frac{XД_{сух}}{C_{хд}}, \quad (49)$$

где  $C_{хд}$  – содержание химической добавки в 1 л раствора в зависимости от ее концентрации, кг (прил. 6-9).

5. Рассчитывают расход водного раствора химических добавок,  $V_{хд}$ ,  $кг/м^3$  по формуле

$$V_{хд} = XД_{сух} + B_{хд}. \quad (50)$$

6. Рассчитывают расход воды с учетом содержания воды в заполнителе и растворе химических добавок,  $кг/м^3$  по формуле

$$B_p = B_n - B_z - B_{хд}, \quad (51)$$

где  $B_n$  – норма расхода воды для арболитовой смеси,  $кг/м^3$  (табл. 13);

$B_z$  – содержание воды в древесном заполнителе;

$B_{хд}$  – содержание воды в химических добавках.

7. Рассчитывают плотность арболита в сухом состоянии,  $\rho_{арб}^c$ ,  $кг/м^3$  по формуле

$$\rho_{арб}^c = 1,15Ц_m + 3^{сух} + XД_{сух}, \quad (52)$$

где  $1,15Ц_m$  – масса цементного камня с учетом химически связанной воды, кг;

$Ц_m$  – расход портландцемента с учетом заданной марки,  $кг/м^3$ ;

$3^{сух}$  – расход сухого древесного заполнителя,  $кг/м^3$ ;

$XД_{сух}$  – расход сухого вещества для приготовления раствора химической добавки,  $кг/м^3$ .

8. Рассчитывают общий расход всех компонентов арболитовой смеси опытного замеса,  $кг/м^3$  по формуле

$$\sum P_n = 3^w + Ц_m + XД_{сух} + B_p + B_{хд}. \quad (53)$$

Результаты расчета сводят в итоговую табл. 15.

Рассчитанный состав бетона проверяют и при необходимости корректируют в лаборатории на пробных замесах. Корректировка проводится по *удобоукладываемости арболитовой смеси и прочности арболита.*

Т а б л и ц а 15

## Расход компонентов арболитовой смеси

№ п/п	Наименование компонента	Расход, кг/м <sup>3</sup>
1	Древесный наполнитель	$Z^w$
2	Цемент	$\Pi_m$
3	Химическая добавка	$XД^{сух}$
4	Водный раствор химической добавки	$XД^{сух} + B_{хд}$
5	Вода	$B_p$
Общий расход всех компонентов		$\Sigma P_n$

Нормативная призмная прочность арболита при его средней естественной влажности по массе 15-20 % принимается равной [10]

$$R_{сж} = 0,78 \cdot B, \quad (54)$$

где  $B$  – класс арболита по прочности, МПа.

**Пример расчета состава арболитовой смеси.**

*Задание.* Подобрать состав конструкционного арболита класса В2,0 плотностью не более 650 кг/м<sup>3</sup> (в высушенном состоянии) для панелей наружных стен.

В качестве древесного наполнителя используется дробленка из отходов деревообработки хвойных пород зернового состава, удовлетворяющего требованиям ГОСТ 19222-73. Насыпная плотность дробленки в сухом состоянии – 120 кг/м<sup>3</sup>, влажность по массе равна 50%. В качестве вяжущего – портландцемент марки 500. В качестве химической добавки хлорид кальция 10%-й концентрации.

*Расчет состава арболита на 1 м<sup>3</sup>.*

По табл. 10-14 определяется ориентировочный расход составляющих за-меса.

Расход компонентов составляет:

сухого древесного наполнителя – 230кг (табл.10);

цемента М 400 – 350кг (табл.11);

химической добавки ( $CaCl_2$ ) – 8кг (табл.12);

воды – 400 л (табл.13).

Расход древесного наполнителя с учетом его влажности составит

$$Z^w = \frac{Z^{сух} (100 + W_3)}{100} = \frac{230 \cdot (100 + 50)}{100} = 345 \text{ кг}.$$

Расход портландцемента с учетом заданной марки (табл.14) составит

$$\Pi_m = \Pi \cdot K_m = 350 \cdot 0,95 = 332,5 \text{ кг}.$$

Содержание воды в древесном наполнителе составит

$$B_3 = Z^w - Z^{сух} = 345 - 230 = 115 \text{ кг}.$$



В качестве химической добавки используется хлорид кальция 10%-ной концентрации. Содержание соли в 1 л 10% раствора плотностью 1,084 составляет 0,108 кг (прил. 5). Следовательно, для введения в арболит необходимого количества соли в виде 10%-го раствора на 1 м<sup>3</sup> смеси его потребуется

$$V = \frac{XD_{\text{сух}}}{C_{\text{хд}}} = \frac{8}{0,108} = 74 \text{ л.}$$

Содержание воды в химической добавке составит

$$V_{\text{хд}} = V \cdot \rho_{\text{хд}} - XD_{\text{сух}} = 74 \cdot 1,084 - 8 = 72,216 \text{ кг.}$$

Расход водного раствора химической добавки составит

$$V_{\text{хд}} = XD_{\text{сух}} + V_{\text{хд}} = 8 + 72,2 = 80,2 \text{ кг.}$$

Расход воды с учетом содержания воды в заполнителе и растворе химической добавки составит

$$V_{\text{р}} = V_{\text{н}} - V_{\text{з}} - V_{\text{хд}} = 400 - 115 - 72,2 = 212,8 \text{ кг.}$$

Плотность арболита в сухом состоянии при данном расходе материалов составит

$$\rho_{\text{арб}}^{\text{с}} = 1,15C_{\text{м}} + 3^{\text{сух}} + XD_{\text{сух}} = 1,15 \cdot 332,5 + 230 + 8 = 620,4 \text{ кг/м}^3.$$

Общий расход всех компонентов арболитовой смеси опытного замеса составит

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{н}} &= 3^{\text{в}} + C_{\text{м}} + XD_{\text{сух}} + V_{\text{р}} + V_{\text{хд}} = \\ &= 345 + 332,5 + 8 + 212,8 + 72,2 = 970,5 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

Расход компонентов арболитовой смеси

№ п/п	Наименование компонента	Расход, кг/м <sup>3</sup>
1	Древесный заполнитель	345
2	Цемент	332,5
3	Химическая добавка	8
4	Водный раствор химической добавки	80,2
5	Вода	212,8
Общий расход всех компонентов		970,5

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое арболит?
2. Что применяют в качестве органического заполнителя для арболита?
3. Какие требования предъявляют к органическому заполнителю для арболита?
4. С какой целью в арболитовую смесь вводят химические добавки?
5. Какие химические добавки вводят в арболитовую смесь?
6. Из каких операций состоит технологический процесс изготовления изделий из арболита?
7. Что включает в себя подбор состава арболитовой смеси?

# Практическая работа № 7

## ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

**Цель работы** – изучение технологии производства цементно-стружечных плит и приобретение практических навыков расчета состава цементно-стружечной смеси.

Порядок выполнения практической работы:

- изучить технологию производства цементно-стружечных плит;
- определить нормативный расход компонентов цементно-стружечной смеси;
- рассчитать состав цементно-стружечной смеси.

### 1. Технология производства цементно-стружечных плит

Цементно-стружечная плита – ЦСП (англ. cement bonded particle board) – композиционный листовый строительный материал, изготавливаемый из тонкой древесной стружки, портландцемента и химических добавок.

Выпускаемые в России цементно-стружечные плиты по уровню физико-механических показателей подразделяются на 2 группы: ЦСП-1 и ЦСП-2, а по структуре – на однослойные и многослойные.

#### 1.1. Сырьевые материалы для ЦСП и требования к ним

*Минеральные вяжущие.*

В качестве вяжущего вещества применяется портландцемент марки М500 (ГОСТ 10178-85). К нему предъявляются дополнительные требования: не допускается наличие пластификатора и содержание шлаковых добавок более 5%.

*Древесный наполнитель.*

Для изготовления ЦСП предпочтительнее применять хвойные породы древесины (пихта, ель, сосна), которые заготавливают в зимне-осенний период. Возможно использование и лиственных пород древесины, однако при прочих равных условиях прочностные показатели плит снижаются на 0-15%.

Древесина (тонкомерная деловая древесина, кусковые отходы деревообработки и лесопиления) должна быть окорена, не иметь гнили и выдержана при положительной температуре на складе в течение не менее 3 мес. Содержание водорастворимых сахаров должно быть не выше 0,5% для хвойных пород и 0,2% – для лиственных. Содержание дубильных веществ не должно превышать 0,4%, а масел, жиров и смол – не выше 1,5%.

Древесина перерабатывается в стружку, средняя длина которой должна быть, по меньшей мере, в 3 раза больше средней ширины. Оптимальные размеры стружки (наружный/внутренний слой): толщина – 0,2/0,4 мм; ширина – 1,0/10 мм; длина – 5/40 мм.

#### *Химические добавки.*

В качестве химических добавок для нейтрализации действия цементных ядов чаще всего применяют композиции из жидкого стекла и сернокислого алюминия. Применяют и другие добавки – сернокислое окисное железо  $Fe_2(SO_4)_3$  с известковым молоком и хлоридом кальция и др.

### 1.2. Технология производства цементно-стружечных плит

Технологический процесс производства цементно-стружечных плит состоит из следующих операций:

- сортировка сырья;
- складирование сырья;
- окорка сырья;
- разделка сырья на заготовки;
- хранение (выдержка) сырья;
- изготовление древесных частиц;
- сортировка частиц;
- доизмельчение частиц;
- раздельное хранение стружки для различных слоев;
- дозирование стружки;
- приготовление растворов химических добавок;
- послойное смешивание компонентов;
- формирование ковра;
- формирование пакетов;
- прессование пакетов;
- тепловая обработка;
- разборка пакетов;
- укладка плит в штабель;
- твердение плит;
- кондиционирование плит;
- обрезка кромок плит;
- сортировка плит;
- шлифование плит (по необходимости);
- контроль качества;
- складирование.

В зависимости от вида и состояния сырья, а также от применяемого оборудования некоторые операции могут быть исключены, а другие введены дополнительно.

Технологическая схема производства цементно-стружечных плит приведена на рис.7.

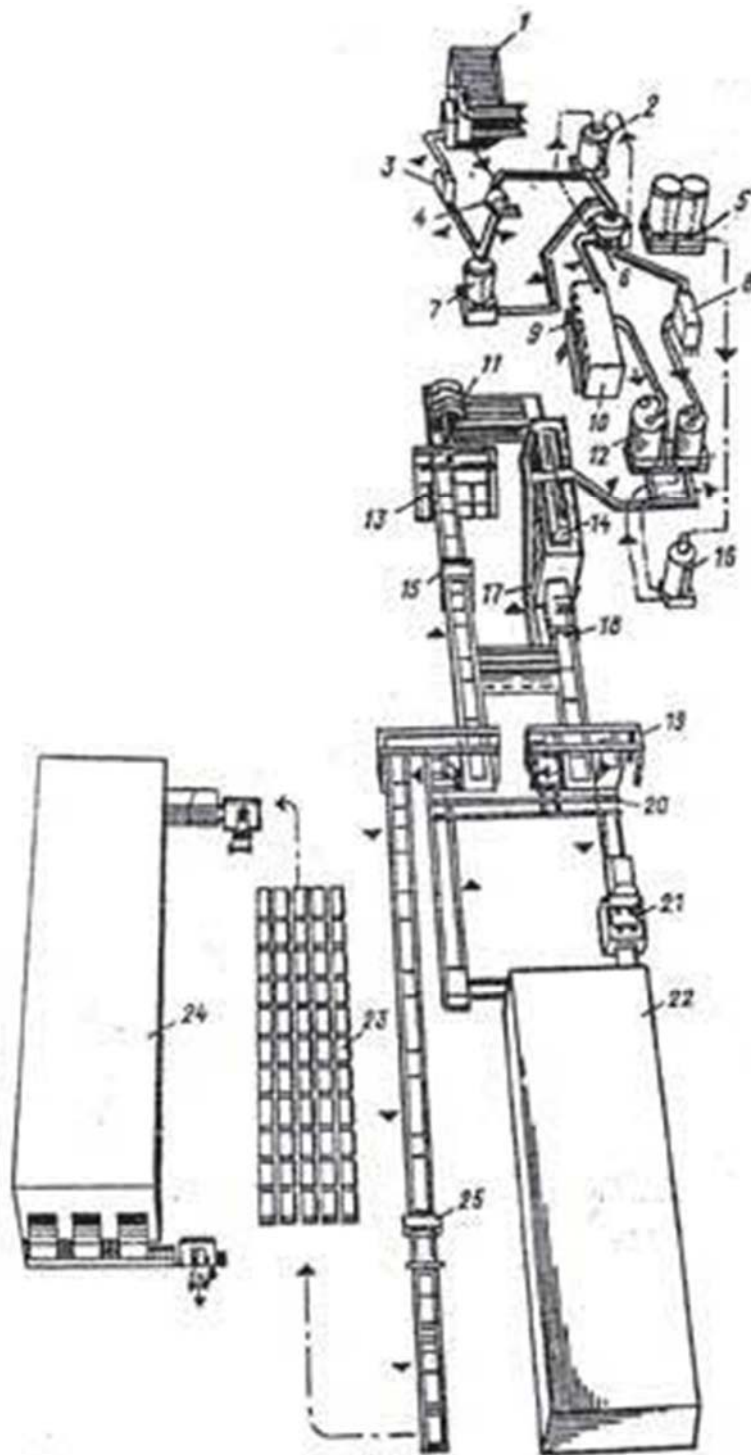


Рис.7. Технологическая схема производства цементно-стружечных плит:  
 1 – стружечный станок; 2 – бункер для стружки; 3, 4 – мельницы для доизмельчения стружки; 5 – склад цемента; 6 – сортировка стружки (грохот); 7 – бункер для несортированной стружки; 8 – бункер для мелкой фракции стружки; 9, 10 – бункеры для стружки среднего слоя; 11 – кантователь поддонов; 12 – смесители; 13 – склад поддонов; 14 – формирующая станция; 15 – устройство для очистки и смазки поддонов; 16 – бункер-дозатор для цемента и других добавок; 17 – возвратный транспортёр; 18 – контрольно-весовое устройство; 19, 20 – штабелирующие устройства; 21 – пресс; 22 – зона отверждения плит; 23 – промежуточный склад; 24 – зона кондиционирования плит; 25 – кромкообрезная пила

Окоренная древесина (или кусковые отходы деревообработки и лесопиления), рассортированная по породам и качеству, выдерживается в зависимости от технологических требований от 2 до 6 месяцев и лишь, затем поступает на переработку в стружечное отделение. Таким образом, удастся достичь максимального снижения водорастворимых сахаров и оптимального уровня влажности исходного сырья. Окорка производится на окорочных станках роторного типа.

Разделку сырья на мерные заготовки производят в случае, если оно поставляется в виде долготы. Разделку древесного сырья, если это необходимо, можно осуществлять на многопильных станках ДЦ-10.

Подготовленная таким образом древесина поступает по ленточному конвейеру в стружечное отделение.

Стружка, изготовленная в стружечном станке 1, доизмельчается в мельницах 3 и 4, сортируется в грохоте 6 и хранится в бункерах 8 (для наружных слоёв), 9 и 10 (для среднего слоя плит).

Цемент со склада 5 поступает в бункер-дозатор 16. Смешивание компонентов происходит в двух смесителях 12, отдельно для наружных и внутренних слоёв ЦСП. На формирующей станции 14 на поддоны насыпается трёхслойный цементно-стружечный ковёр, который примерно втрое толще, чем получаемая из пресса цементно-стружечная плита.

С формирующего конвейера поддоны поступают на контрольные весы 18. Если они фиксируют отклонение веса от заданного на величину более допустимой, поддон автоматически сбрасывается на возвратный транспортёр 17 и смесь передаётся в бункер для среднего слоя. Остальные поддоны передаются к штабелирующим устройствам 19 или 20.

Образованный из поддонов штабель загружается в одноэтажный холодный пресс 21, обжимается до нужной высоты и заключается «в замок», так чтобы заданное давление сохранялось вплоть до открывания пресса. В производстве цементно-стружечных плит пресс служит, во-первых, для уплотнения смеси и создания в них рабочего давления 1,8–6,6 МПа, которое должно сохраняться и при выдерживании изделий вне пресса. Во-вторых, в прессе происходит раскрытие пресс-форм после отверждения смеси, то есть снятие давления.

Нужная толщина ЦСП обеспечивается дистанционными прокладками, которыми оснащены поддоны. Фиксированный «в замок» штабель поддонов, называемый также пресс-форма, из пресса транспортируется в обогреваемую зону 22, где выдерживаются не менее 8 часов. Отверждение цементно-стружечной массы не сопровождается усадкой, и давление в пресс-форме не изменяется или же слегка увеличивается.

Затем штабели возвращаются в пресс для раскрытия и снятия давления (для этого может использоваться и второй пресс). Открытые пресс-формы перемещаются к установке для отделения поддонов от цементно-стружеч-

ных плит. Освобождающиеся поддоны тщательно очищаются в специальной установке 15 и покрываются смазкой с обеих сторон. В целях равномерного износа обеих поверхностей поддонов, перед каждой загрузкой обеспечивается их переворачивание в кантователе 11. Поддоны возвращаются к формирующей станции 14, а цементно-стружечные плиты, пройдя обрезку кромок на станке 25, поступают на буферный склад 23, где выдерживаются в течение одной-двух недель. Окончательно ЦСП «дозревают» в канале кондиционирования 24 при обдувке воздухом при температуре 70-100 °С. Готовые плиты обрезаются по формату, сортируются по качеству, укладываются в штабели и передаются на склад продукции.

## 2. Определение нормативного расхода компонентов цементно-стружечной смеси

Нормативный расход компонентов цементно-стружечной смеси определяют по табл. 16.

Т а б л и ц а 1 6

Нормативный расход компонентов цементно-стружечных плит, кг/м<sup>3</sup>

Древесное сырье	Абсолютно сухая древесина	Портландцемент марки М500	Известь негашеная	Хлористый кальций	Жидкое стекло	Сернистый алюминий	Вода
Сосна окоренная	280	770	–	–	27	7,7	460
Ель неокоренная	280	770	–	–	27	7,7	460
Береза выдержанная	308	770	–	–	35	7,7	460
Ель (50%), береза (50%)	30	750	–	–	60	40	400
Осина выдержанная, неокоренная	300	620	156	80	–	–	420
Осина выдержанная	300	620	150	80	–	–	400
Береза выдержанная	320	620	150	80	–	–	420

## 3. Расчет состава цементно-стружечной смеси

Исходные данные для расчета выбираются в зависимости от выданного варианта (прил. 4).

Расчет состава цементно-стружечной смеси проводят в следующей последовательности.

1. Рассчитывают расход древесного заполнителя с учетом его влажности,  $Z^w$ , кг/м<sup>3</sup>.

$$Z^w = \frac{Z^{\text{сух}} (100 - W_3)}{100}, \quad (55)$$

где  $Z^{\text{сух}}$  – расход сухого древесного заполнителя, кг/м<sup>3</sup> (табл.16);

$W_3$  – влажность древесного заполнителя, %.

Расход древесного заполнителя на трехслойную плиту рассчитывают по формуле

$$Z_{\text{трех}} = Z_{\text{нар}} + Z_{\text{вн}}, \quad (56)$$

где  $Z_{\text{нар}}$  – расход древесного заполнителя на наружные слои, кг/м<sup>3</sup>, доля наружных слоев  $i_{\text{нар}} = (0,3 - 0,4)a_{\text{пл}}$  ;

$Z_{\text{вн}}$  – расход древесного заполнителя на внутренний слой, кг/м<sup>3</sup>, доля внутреннего слоя  $i_{\text{нар}} = (0,7 - 0,6)a_{\text{пл}}$  ;

$a_{\text{пл}}$  – толщина плиты, мм.

2. Рассчитывают расход древесного сырья с учетом потерь на различных технологических операциях,  $Z_{\text{п}}$ , кг/м<sup>3</sup>.

$$Z_{\text{п}} = Z^w \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 \cdot k_8, \quad (57)$$

где  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8$  – коэффициенты потерь древесного сырья при (соответственно):

окорке  $k_1 = 1,01$ ;

приготовлении стружки  $k_2 = 1,08$ ;

сортировке  $k_3 = 1,01$ ;

смешивании компонентов  $k_4 = 1,01$ ;

прессовании  $k_5 = 1,015$ ;

формовании плиты  $k_6 = 1,01$ ;

форматной обрезке плиты  $k_7 = 1,02$ ;

шлифовании плит  $k_8 = 1,001$ .

3. Рассчитывают содержание воды в заполнителе,  $V_3$ , кг/м<sup>3</sup>.

$$V_3 = Z_{\text{п}} - Z^{\text{сух}}. \quad (58)$$

4. Рассчитывают расход вяжущего (портландцемента) с учетом заданной марки и его потерь,  $\Pi_{\text{п}}$ , кг/м<sup>3</sup>.

$$\Pi_{\text{п}} = \Pi \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{тр}}, \quad (59)$$

где  $\Pi$  – нормативный расход портландцемента марки М500 (см. табл. 16);

$k_{\text{м}}$  – коэффициент изменения нормативного расхода цемента с учетом его марки (для М500 –  $k_{\text{м}} = 1,0$ ; М400 –  $k_{\text{м}} = 1,05$ ; М600 –  $k_{\text{м}} = 0,95$ );

$k_{\text{тр}}$  – коэффициент потери цемента при его транспортировке и разгрузке,  $k_{\text{тр}} = 1,07$ .

5. Рассчитывают расход химических добавок с учетом потерь,  $Q_i$ , кг/м<sup>3</sup>.

$$Q_i = \text{ХД} \cdot k_{\text{п}}^{\text{хд}}, \quad (60)$$

где ХД – нормативный расход химической добавки (см. табл.16);

$k_{\text{п}}^{\text{хд}}$  – коэффициент потери сырья (химикатов) при приготовлении растворов химических добавок,  $k_{\text{п}}^{\text{хд}}=1,025$ .

6. Рассчитывают расход воды для приготовления растворов химических добавок,  $B_i$ , кг/м<sup>3</sup>.

$$B_i = \frac{Q_i(100 - c)}{c}, \quad (61)$$

где  $Q_i$  – количество  $i$ -й химической добавки, кг ;

$c$  – требуемая концентрация растворов, % (см. задание).

7. Рассчитывают количество рабочего раствора  $i$ -й химической добавки, вводимого в цементно-стружечную смесь,  $Q_{\text{рд}}$  или  $Q_{\text{рд}}^*$ , кг или л

$$Q_{\text{рд}} = Q_i + B_i \text{ или } Q_{\text{рд}}^* = \frac{Q_i + B_i}{\rho_i}, \quad (62)$$

где  $Q_i$  – количество  $i$ -й химической добавки, кг (табл.16);

$\rho_i$  – плотность  $i$ -й химической добавки, г/см<sup>3</sup> (прил. 6-9).

Если в качестве химической добавки используют жидкое стекло, которое имеет заданную концентрацию  $c_{\text{жс}}$ , то количество воды, уже имеющееся в растворе,  $B_{\text{жс}}^*$ , кг, рассчитывается по формуле

$$B_{\text{жс}}^* = Q_{\text{жс}} - \text{ЖС}, \quad (63)$$

где  $Q_{\text{жс}}$  – нормативный расход жидкого стекла, кг;

ЖС – количество жидкого стекла с учетом его концентрации, кг, рассчитывается по формуле

$$\text{ЖС} = Q_{\text{жс}} \cdot k_{\text{жс}}, \quad (64)$$

где  $k_{\text{жс}}$  – коэффициент концентрации жидкого стекла,  $k_{\text{жс}} = c_{\text{жс}}/100$ .

Количество воды, необходимое для доведения раствора жидкого стекла до рабочей концентрации,  $B_{\text{жс}}$ , л, рассчитывают по формуле

$$B_{\text{жс}} = \frac{\text{ЖС}(100 - c)}{c}. \quad (65)$$

Количество воды, необходимое для приготовления рабочего раствора жидкого стекла,  $B_{\text{р.п}}$ , л, рассчитывают по формуле

$$B_{\text{р.п}} = B_{\text{жс}} - B_{\text{жс}}^*. \quad (66)$$



8. Рассчитывают количество воды с учетом воды, содержащейся в заполнителе и растворе химических добавок,  $V_p$ , кг (л).

$$V_p = V_n - V_3 - \sum V_i. \quad (67)$$

Результаты расчета сводят в итоговую табл. 17.

Т а б л и ц а 17

Компоненты	Наименование	Расход компонентов	
		нормативный	расчетный
Заполнитель			
Вяжущее			
Химические добавки			
Вода, содержащаяся в растворах химических добавках			
Вода, содержащаяся в заполнителе			
Вода			

**Пример расчета состава цементно-стружечной смеси.**

Исходные данные:

- заполнитель – сосна окоренная;
- влажность, % – 58;
- вяжущее – портландцемент марки М400;
- химические добавки:
- жидкое стекло концентрацией 38%, необходимая концентрация – 20%;
- сернокислый алюминий, необходимая концентрация – 21%.

Нормативный расход компонентов на 1 м<sup>3</sup> цементно-стружечной смеси определяем по табл. 16:

расход сухого древесного заполнителя,  $Z^{сух}$ , кг – 280;

расход портландцемента марки М500, Ц, кг – 770;

расход жидкого стекла,  $Q_{жс}$ , кг – 27;

расход сернокислого алюминия,  $Q_i$  ( $Q_{са}$ ), кг – 7,7;

расход воды,  $V_n$ , кг (л) – 460.

Рассчитываем расход древесного заполнителя с учетом его влажности,  $Z^w$

$$Z^w = \frac{Z^{сух} (100 + W_3)}{100} = \frac{280(100 + 58)}{100} = 442,4 \text{ кг}.$$

Рассчитываем расход древесного сырья с учетом потерь на различных технологических операциях,  $Z_{п}$

$$\begin{aligned} Z_{п} &= Z^w \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 \cdot k_8 = \\ &= 442,4 \cdot 1,01 \cdot 1,08 \cdot 1,01 \cdot 1,01 \cdot 1,015 \cdot 1,01 \cdot 1,02 \cdot 1,001 = 515,3 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Рассчитываем содержание воды в заполнителе,  $V_3$

$$V_3 = Z_{п} - Z^{сух} = 515,3 - 280 = 235,3 \text{ кг(л)}.$$

Рассчитываем расход вяжущего (портландцемента) с учетом заданной марки и его потерь,  $\Pi_{\text{п}}$

$$\Pi_{\text{п}} = \Pi \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{тр}} = 770 \cdot 1,05 \cdot 1,07 = 865,1 \text{ кг}.$$

Рассчитываем расход химических добавок с учетом потерь:

– сернокислого алюминия

$$Q_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} = \text{ХД} \cdot k_{\text{п}}^{\text{ХД}} = 7,7 \cdot 1,025 = 7,9 \text{ кг},$$

расход воды для приготовления раствора при этом составит

$$B_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} = \frac{Q_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} (100 - c)}{c} = \frac{7,9(100 - 21)}{21} = 29,7 \text{ кг (л)},$$

количество рабочего раствора сернокислого алюминия, вводимого в цементно-стружечную смесь составит

$$Q_{\text{рд}} = Q_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} + B_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} = 7,9 + 29,7 = 37,6 \text{ кг}$$

или

$$Q_{\text{рд}}^* = \frac{Q_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} + B_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}}{\rho_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}} = \frac{37,6}{1,265} = 29,7 \text{ л};$$

– жидкого стекла

количество жидкого стекла с учетом его концентрации составит

$$k_{\text{жс}} = \frac{c_{\text{жс}}}{100} = \frac{38}{100} = 0,38,$$

$$\text{ЖС} = Q_{\text{жс}} \cdot k_{\text{жс}} = 27 \cdot 0,38 = 10,26 \text{ кг};$$

количество воды, уже имеющееся в растворе составит

$$B_{\text{жс}}^* = Q_{\text{жс}} - \text{ЖС} = 27 - 10,26 = 16,74 \text{ кг};$$

количество воды, необходимое для доведения раствора жидкого стекла до рабочей концентрации составит

$$B_{\text{жс}} = \frac{\text{ЖС}(100 - c)}{c} = \frac{10,26(100 - 20)}{20} = 41,04 \text{ л};$$

количество воды, необходимое для приготовления рабочего раствора составит

$$B_{\text{р.п}} = B_{\text{жс}} - B_{\text{жс}}^* = 41,04 - 16,74 = 24,3 \text{ л};$$

количество водного раствора жидкого стекла составит

$$Q_{\text{рд}} = Q_{\text{жс}} + B_{\text{жс}} = 10,26 + 41,04 = 51,3 \text{ кг}$$

или

$$Q_{\text{рд}}^* = \frac{Q_{\text{жс}} + B_{\text{жс}}}{\rho_{\text{жс}}} = \frac{51,3}{1,2} = 42,75 \text{ л}.$$

Рассчитываем количество воды с учетом воды, содержащейся в заполнителе и растворе химических добавок

$$V_p = V_n - V_3 - \sum V_i = 460 - 235,3 - 29 - 24,3 = 171,4 \text{ л.}$$

Результаты расчета сводят в итоговую табл. 18.

Т а б л и ц а 18

Компоненты	Наименование	Расход компонентов	
		нормативный	расчетный
Заполнитель	сосна окоренная	280	515,3
Вязущее	портландцемент М400	770	865,1
Химические добавки:	жидкое стекло концентрацией 38%	27	10,26
	сернистый алюминий	7,7	7,9
Вода содержащаяся в растворах химических добавках	жидкое стекло концентрацией 38%	–	29,7
	сернистый алюминий	–	24,3
Вода содержащаяся в заполнителе	–	–	235,3
Вода	–	460	170,7

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое цементно-стружечная плита?
2. Что применяют в качестве заполнителя для производства цементно-стружечных плит?
3. Какие требования предъявляют к древесному заполнителю для цементно-стружечных плит?
4. С какой целью древесное сырье перед переработкой в щепу выдерживается от 2 до 6 месяцев на воздухе?
5. Какие породы древесины предпочтительнее для изготовления ЦСП?
6. С какой целью в цементно-стружечную смесь вводят химические добавки?
7. Какие химические добавки применяют при производстве цементно-стружечных плит?
8. Из каких операций состоит технологический процесс изготовления цементно-стружечных плит?
9. Как обеспечивается необходимая толщина ЦСП?
10. Какова цель кондиционирования ЦСП?

# Практическая работа № 8

## ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

**Цель работы** – изучение технологии производства топливных брикетов и приобретение практических навыков технологических расчетов.

Порядок выполнения практической работы:

- изучить технологию производства топливных брикетов;
- рассчитать производительность шнекового пресса;
- рассчитать теплоту сгорания топливных брикетов.

### 1. Технология производства топливных брикетов

#### 1.1. Общие сведения

Одним из наиболее эффективных направлений утилизации мелких древесных отходов и коры является производство топливных и технологических брикетов и гранул.

Брикеты – это плотные куски, полученные из сыпучей древесины путем ее прессования со связующими веществами или без них. Наиболее распространена технология брикетирования без применения связующих веществ, т.к. при этом получается экологически чистый брикет.

Древесные топливные брикеты (евродрова) — это удобный, экономичный и экологически чистый вид топлива.

Топливные брикеты производят из сухих древесных остатков (опилки, щепа, стружка), спрессованных под большим давлением при высокой температуре без химических добавок и склеивающих веществ. Связующим веществом является лигнин, который содержится в самой древесине. В процессе термического спекания опилок уничтожается вся бактериальная флора и получается "мертвый" продукт для паразитов (жучков, грибов, плесени и микробов). Температура, возникающая при прессовании, способствует заплыванию поверхности брикетов, которая благодаря этому становится водонепроницаемой и препятствует гниению, поэтому топливные брикеты могут храниться довольно долго.

В зависимости от конструктивных особенностей прессового оборудования брикеты могут иметь различные размеры и форму.

Различают три основных типа брикетов:

- прямоугольные (они же RUF-брикеты, Nestro), по форме – небольшой кирпич, изготавливаются на гидравлических прессах;
- цилиндрические брикеты (с радиальным отверстием или без него), изготавливаются на гидравлических или ударно-механических прессах (Nielsen);

– четырех- или шестигранные брикеты с радиальным отверстием (Pini-kaу), изготавливаются на механических (шнековых) прессах посредством сочетания очень высокого давления – 1000–1100 бар – и термической обработки.

Брикеты цилиндрической или сферической формы с небольшими размерами называют гранулами (пеллетами).

Топливные гранулы удобнее брикетов, т.к. сыпучи и позволяют организовать автоматическую загрузку теплогенератора.

*По назначению* брикеты и гранулы бывают технологическими или топливными. Технологические брикеты используют гидролизной и лесохимической и биохимической промышленности, для получения дубильных экстрактов. Технологические брикеты не должны обладать большой прочностью и влагостойкостью, должны легко распадаться и размельчаться.

Топливные брикеты должны иметь повышенную прочность и влагостойкость.

*Технические требования к топливным брикетам:*

- влажность до 5 % (высший сорт) и до 18% (II-й сорт);
- зольность не более 5%;
- низшая удельная теплота сгорания:  
для высшего сорта – 16-23 МДж/кг;  
для I и II сортов – 13-16 МДж/кг;
- плотность:  
для высшего сорта – не менее 1000 кг/м<sup>3</sup>;  
для I и II сортов – не менее 900 кг/м<sup>3</sup>;
- массовая доля частиц размером по волокну 5 мм не более 25%;
- временное сопротивление на изгиб брикетов из опилок достигает до 20 кГс/см<sup>2</sup>.

## 1.2. Сырьевые материалы и требования к ним

Сырьем для производства топливных брикетов и гранул являются любые древесные отходы (лесозаготовок, лесопиления, деревообработки) и отходы сельского хозяйства (солома, камыш, шелуха риса и подсолнечника и т.п.).

Основные требования к исходному сырью:

- влажность в пределах 6-12 % (критическая влажность 15-20%);
- содержание гнили не более 5 %;
- крупность частиц – 0,5-1,0 мм (объем частиц крупностью 1-5 мм не более 25%)

## 1.3. Технология производства топливных брикетов (гранул)

Выбор технологии производства топливных брикетов зависит от ряда факторов, а именно:

- а) планируемого объема брикетов;
- б) имеющегося объема древесных отходов;
- в) вида и размера древесных отходов;
- г) влажности древесных отходов.

Технологический процесс брикетирования древесных отходов состоит из следующих операций:

- транспортировка сырья к технологической линии;
- удаление металлических включений, камней, пыли из поступающего сырья;
- измельчение крупных древесных отходов;
- сортировка отходов;
- измельчение сырья в молотковых дробилках до получения частиц одинакового размера;
- сушка отходов;
- прессование;
- охлаждение брикетов (гранул);
- упаковка, хранение и транспортировка готовой продукции.

Перечисленные технологические операции применяются не во всех технологических процессах. Линии брикетирования древесных отходов и коры комплектуются вспомогательным оборудованием в зависимости от вида и физических свойств исходного сырья. Эти линии можно разделить на три группы:

1 – для брикетирования однородных сухих отходов влажностью 18% (опилки, стружка, древесная пыль);

2 – для брикетирования влажных древесных отходов с предварительным измельчением и сушкой (кусковые древесные отходы, кора, обрезки плит, шпона, сучьев и др.);

3 – для брикетирования неоднородного материала разного физического состояния (использованная тара, поддоны и др.). Для получения однородного материала такие линии оснащают дополнительным оборудованием: измельчителями, мельницами, рафинерами.

Технологические схемы процесса брикетирования древесных отходов различной влажности приведены в прил. 5.

#### *Транспортировка сырья к технологической линии.*

Транспортировка сырья к технологической линии включается во все технологические процессы. В зависимости от конкретных условий доставка сырья может осуществляться различными способами. Чаще используют пневмотранспорт или конвейеры различных конструкций (ленточные, скребковые и др.).

#### *Измельчение сырья.*

Измельчение применяется в тех случаях, когда брикетируют крупные отходы. Кусковые отходы и кору измельчают в рубительных машинах или

дробилках различной конструкции с последующим измельчением до нужной фракции в молотковых мельницах.

#### *Сортировка древесных отходов.*

Сортировка древесных отходов желательна во всех технологических линиях брикетирования. Она позволяет обеспечить безопасную работу оборудования и улучшить качество брикетов. В производстве гранул сортировка обязательна. Для сортировки чаще используют вибрационные сита.

#### *Сушка древесных отходов.*

Сушка необходима в тех случаях, когда брикетированию подлежат отходы, имеющие влажность более 18%. В качестве сушильных агрегатов могут быть использованы аэрофонтанные, шнековые, барабанные сушилки и др.

#### *Термообработка древесного сырья.*

Под термообработкой понимают нагрев древесного сырья до температуры 100°C, удаление влаги, дальнейший нагрев до более высокой температуры (в зависимости от назначения брикетов), выдержку при заданной температуре и охлаждение до 70-80°C.

#### *Прессование.*

Прессование – это уплотнение древесной массы до заданной плотности и формирование брикета (гранул). Для прессования применяют прессы различной конструкции: штемпельные с открытой матрицей (поршневые), штемпельные с закрытой матрицей, винтовые (шнековые), вальцовые, с кольцевой матрицей.

#### *Охлаждение брикетов.*

Охлаждение брикетов после прессования проводят для устранения внутренних напряжений. Эту операцию желательно предусматривать во всех технологических процессах.

## 2. Расчет производительности шнекового пресса [4]

Исходные данные для расчета выбираются в зависимости от выданного варианта (прил. 10).

Производительность шнекового пресса может быть рассчитана по формуле

$$P = 15 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot k_k \cdot t \cdot n \cdot \rho_n \cdot \Psi \cdot 10^3, \quad (68)$$

где  $D$  – диаметр конусного шнека в большем основании, м;

$k_k$  – коэффициент конусности шнека, равен 0,6-0,65;

$n$  – число оборотов шнека, мин<sup>-1</sup>;

$t$  – шаг витков шнека, м;

$\rho_n$  – насыпная плотность прессуемого материала, т/м<sup>3</sup> (г/см<sup>3</sup>), для древесных сухих опилок;

$\Psi$  – коэффициент заполнения межвитковых впадин шнека, рассчитывается по формуле

$$\Psi = V_o / V_{вт}, \quad (69)$$

где  $V_o$  – объем пространства, занимаемого опилками, см<sup>3</sup>;

$V_{вт}$  – объем конусной втулки, см<sup>3</sup>.

Объем конусной втулки,  $V_{вт}$ , рассчитывается по формуле

$$V_{вт} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot L \cdot (R_1^2 + R_1 \cdot R_2 + R_2^2), \quad (70)$$

где  $R_1, R_2$  – радиусы, соответственно большого и малого основания конусной втулки, см;

$L$  – длина втулки, см.

Объем пространства, занимаемого опилками,  $V_o$ , рассчитывается по формуле

$$V_o = V_{вт} - V_{шн}, \quad (71)$$

где  $V_{шн}$  – объем шнека, см<sup>3</sup>.

Объем шнека,  $V_{шн}$ , рассчитывается по формуле

$$V_{шн} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot L \cdot (r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2) + V_{витка} \cdot z, \quad (72)$$

где  $r_1, r_2$  – радиус, соответственно большого и малого основания конусного шнека, см;

$z$  – количество витков в шнеке,  $z = L / t$ ;

$V_{витка}$  – объем одного витка, см<sup>3</sup>.

Среднее значение объема одного витка определяется по формуле

$$V_{витка} = B \cdot S = B \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2), \quad (73)$$

где  $B$  – толщина витка (0,8-1,0 см);

$R, r$  – внешний и внутренний радиус витка, см (обычно разница радиусов составляет 1,0-1,3 см).

#### **Пример расчета производительности шнекового пресса [4].**

*Исходные данные:*

число оборотов шнека,  $n$ , мин<sup>-1</sup> – 600;

шаг витков,  $t$ , см – 4,0;

толщина витка,  $B$ , см – 1,0;

насыпная плотность прессуемого материала,  $\rho_n$ , т/м<sup>3</sup> (г/см<sup>3</sup>) – 0,16,

длина втулки и шнека,  $L$ , см – 23,5;

диаметр большого основания конусной втулки, см – 9,7;

диаметр малого основания конусной втулки, см – 6,7;



диаметр большого основания конусного шнека, см – 7,8;

диаметр малого основания конусного шнека, см – 5,0;

внешний радиус витка, см – 4,2;

внутренний радиус витка, см – 3,2.

Рассчитываем объем конусной втулки:

$$V_{\text{вт}} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot L \cdot (R_1^2 + R_1 \cdot R_2 + R_2^2) = \\ = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 23,5 \cdot (4,85^2 + 4,85 \cdot 3,3 + 3,3^2) = 1239,58 \text{ см}^3.$$

Среднее значение объема одного витка составит:

$$V_{\text{витка}} = B \cdot S = B \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) = 1,0 \cdot 3,14 \cdot (4,2^2 - 3,2^2) = 23,24 \text{ см}^3.$$

Количество витков на шнеке составит:

$$z = \frac{L}{t} = \frac{23,5}{4,0} = 5,88 \approx 6.$$

Рассчитываем объем шнека:

$$V_{\text{шн}} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot L \cdot (r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2) + V_{\text{витка}} \cdot z = \\ = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 23,5 \cdot (3,9^2 + 3,9 \cdot 2,5 + 2,5^2) + 23,24 \cdot 6 = 907,2 \text{ см}^3.$$

Рассчитываем объем пространства, занимаемого опилками:

$$V_o = V_{\text{вт}} - V_{\text{шн}} = 1239,58 - 907,2 = 332,38 \text{ см}^3.$$

Коэффициент заполнения шнекового пространства составит:

$$\Psi = \frac{V_o}{V_{\text{вт}}} = \frac{332,38}{1239,58} = 0,268.$$

Рассчитываем производительность пресса:

$$\Pi = 15 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot k_k \cdot t \cdot n \cdot \rho_n \cdot \Psi \cdot 10^3 = \\ = 15 \cdot 3,14 \cdot 0,078^2 \cdot 0,63 \cdot 0,04 \cdot 600 \cdot 0,16 \cdot 0,268 \cdot 10^3 = 185,8 \text{ кг/ч}.$$

### 3. Расчет теплоты сгорания топливных брикетов

*Задание.*

1. Рассчитать низшую теплоту сгорания брусковых брикетов из древесины заданной влажности и плотности (см. задание) и построить график зависимости теплоты сгорания от плотности топливных брикетов.

2. Сравнить низшую теплоту сгорания древесины заданной породы и влажности и брусковых брикетов из этой древесины.

3. Рассчитать количество тепла, выделяемого при полном сгорании заданной массы топливных брикетов.

Исходные данные для расчета выбираются в зависимости от выданного варианта (прил. 11).

*Теплота сгорания* – это количество теплоты, выделяющейся при полном сгорании единицы массы топлива. Теплота сгорания, отнесённая к единице массы или объёма топлива, называется удельной теплотой сгорания в кДж/кг (ккал/кг), (1 ккал = 4,1868 кДж; 1 ккал/кг = 4,1868 кДж/кг).

Теплота сгорания определяется химическим составом горючего вещества.

Различают высшую и низшую теплоту сгорания. Под *высшей теплотой сгорания* понимают то количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании вещества, включая теплоту конденсации водяных паров при охлаждении продуктов сгорания. *Низшая теплота сгорания* соответствует тому количеству теплоты, которое выделяется при полном сгорании, без учёта теплоты конденсации водяного пара. Теплоту конденсации водяных паров также называют скрытой теплотой сгорания.

Низшая и высшая теплота сгорания связаны соотношением

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{н}} + k(W + 9H), \quad (74)$$

где  $k$  – коэффициент, равный 25 кДж/кг (6 ккал/кг);

$W$  – количество воды в горючем веществе, % (по массе);

$H$  – количество водорода в горючем веществе, % (по массе);

9 – коэффициент, показывающий, что при сгорании 1 кг водорода в соединении с кислородом образуется 9 кг воды.

Низшую удельную теплоту сгорания,  $Q_{\text{н}}$ , кДж/кг, можно рассчитать по формуле Д.И. Менделеева.

$$Q_{\text{н}} = 339 \cdot C + 1031 \cdot H - 109 \cdot O - 25 \cdot W, \quad (75)$$

где  $C$ ,  $k$ ,  $O$  – содержание в древесине углерода, водорода и кислорода, % ( $C=50\%$ ,  $H=6\%$ ,  $O$ );

$W$  – относительная влажность древесины, % (по массе).

Удельная теплота сгорания слабо зависит от породы древесины, т.к. элементный химический состав различных пород примерно одинаковый. Теплота сгорания древесины хвойных пород является более высокой. Теплота сгорания абсолютно сухой древесины – 19,6-23,0 МДж/кг.

Основным фактором, определяющим теплоту сгорания древесины, является ее влажность. Теплота сгорания снижается с повышением влажности древесины.

В основном теплота сгорания древесной коры и древесины разных пород (кроме березы) примерно одинаковые.

Удельную низшую теплоту сгорания коры,  $Q_n^k$ , кДж/кг, можно рассчитать по эмпирической формуле

$$Q_n^k = 19000 - 230 \cdot W . \quad (76)$$

При определении удельной низшей теплоты сгорания прессованного древесного топлива,  $Q_n^{д.т}$ , кДж/кг, пользуются формулой, учитывающей плотность прессуемого материала

$$Q_n^{д.т} = Q_n \cdot \rho_{др} , \quad (77)$$

где  $Q_n$  – удельная низшая теплота сгорания материала, из которого изготовлен брикет, кДж/кг;

$\rho_{др}$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Как видно из формулы при постоянной удельной теплоте сгорания древесины,  $Q_n$ , величина теплоты зависит от плотности сгораемого материала.

Плотность некоторых пород древесины при стандартной 12 %-й влажности, приведена в табл.19.

Т а б л и ц а 19

Плотность древесины различных пород при 12% влажности

Порода древесины	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
Сосна	520
Кора сосны	680
Ель	450
Кора ели	730
Береза	630
Липа	530
Дуб	690
Бук	650
Осина	510
Ольха	520
Клен	650
Лиственница	660
Ясень	750

Зная удельную теплоту сгорания материала можно рассчитать количество тепла,  $Q$ , ккал, выделяемого при полном сгорании топлива любой массы по формуле

$$Q = Q_n^{д.т} \cdot m , \quad (78)$$

где  $Q_n^{д.т}$  – удельная теплота сгорания, ккал/кг;

$m$  – масса материала, кг.

### **Пример расчета теплоты сгорания.**

**Задание.** Рассчитать низшую теплоту сгорания брусковых брикетов из древесины осины влажностью 10 % различной плотности (1000, 1100, 1200, 1300, 1400 кг/м<sup>3</sup>) и построить график зависимости теплоты сгорания от плотности топливных брикетов.

Сравнить низшую теплоту сгорания древесины осины влажностью 10% и брусковых брикетов из этой древесины.

Рассчитать количество тепла, выделяемого при полном сгорании 1 т топливных брикетов плотностью 1000 кг/м<sup>3</sup>.

**Решение.**

Определяем низшую температуру сгорания древесины влажностью 10% по формуле (75).

$$Q_{\text{н}} = 339 \cdot C + 1031 \cdot H - 109 \cdot O - 25 \cdot W = \\ = 339 \cdot 50 + 1031 \cdot 6 - 109 \cdot 43 - 25 \cdot 10 = 18199 \text{ кДж/кг (4346,7 ккал/кг)}.$$

Выражаем эту величину теплоты через объем (для древесины осины):

$$Q_{\text{н}}^{\text{oc}} = Q_{\text{н}} \cdot \rho_{\text{oc}} = 4346,7 \cdot 510 = 2216817 \text{ ккал/м}^3.$$

Рассчитываем низшую теплоту сгорания топливных брикетов из осины различной плотности:

$$Q_{\text{н1}}^{\text{д.т}} = 4346,7 \text{ ккал/кг} \times 1000 \text{ кг/м}^3 = 4346700 \text{ ккал/м}^3,$$

$$Q_{\text{н2}}^{\text{д.т}} = 4346,7 \text{ ккал/кг} \times 1100 \text{ кг/м}^3 = 4781370 \text{ ккал/м}^3,$$

$$Q_{\text{н3}}^{\text{д.т}} = 4346,7 \text{ ккал/кг} \times 1200 \text{ кг/м}^3 = 5216040 \text{ ккал/м}^3,$$

$$Q_{\text{н4}}^{\text{д.т}} = 4346,7 \text{ ккал/кг} \times 1300 \text{ кг/м}^3 = 5650710 \text{ ккал/м}^3,$$

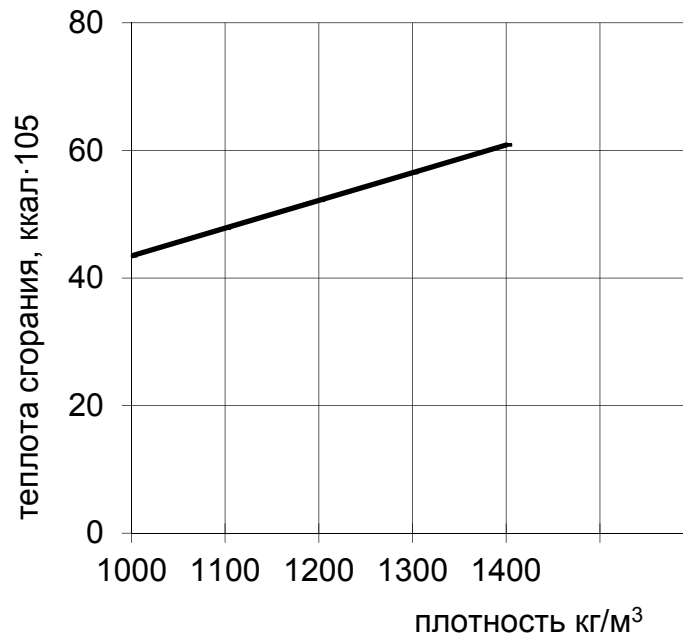
$$Q_{\text{н5}}^{\text{д.т}} = 4346,7 \text{ ккал/кг} \times 1400 \text{ кг/м}^3 = 6085380 \text{ ккал/м}^3.$$

Сравнивая полученные данные видно, что у брикетов из осины плотность 1000 кг/м<sup>3</sup> теплота сгорания в 2 раза выше, чем у древесины осины (4346700/2216817), а у брикетов плотность 1400 кг/м<sup>3</sup> в 2,7 раза.

Рассчитываем количество тепла, выделяемого при полном сгорании 1 тонны топливных брикетов плотностью 1000 кг/м<sup>3</sup>:

$$Q = Q_{\text{н}}^{\text{д.т}} \cdot m = 4346700 \cdot 1000 = 4346700000 \text{ ккал} = 4346700 \text{ Мкал}.$$

Строим график зависимости теплоты сгорания от плотности топливных брикетов.



Как видно из полученных данных с повышением плотности топливных брикетов теплота сгорания увеличивается.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Что называют евродровами?
2. Какую форму могут иметь топливные брикеты в зависимости от конструктивных особенностей прессового оборудования?
3. Как классифицируют топливные брикеты по назначению?
4. Назовите основные технические требования к топливным брикетам.
5. От каких факторов зависит выбор технологии производства топливных брикетов?
6. Из каких операций состоит технологический процесс изготовления топливных брикетов?
7. Какие требования предъявляют к древесному сырью для производства топливных брикетов?
8. В каких случаях перед прессованием необходима сушка древесного сырья?
9. Какие виды прессов применяют для изготовления топливных брикетов?
10. С какой целью проводят охлаждение брикетов после прессования?
11. Что называют теплотой сгорания топлива?
12. Что такое низшая и высшая теплота сгорания?
13. Каким соотношением связаны низшая и высшая теплота сгорания топлива?
14. Какой фактор является основным, определяющим теплоту сгорания древесины?

# Практическая работа № 9

## ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОЙ МУКИ

**Цель работы** – изучение технологии производства древесной муки и приобретение практических навыков технологических расчетов.

Порядок выполнения практической работы:

- изучить технологию производства древесной муки;
- рассчитать необходимую производительность измельчающего оборудования;
- выбрать головное оборудование для производства древесной муки.

### 1. Технология производства древесной муки

#### 1.1. Общие сведения

Древесная мука представляет собой мелкие частицы древесины произвольных форм, получаемые специально в процессе размола древесины твердых и мягких лиственных и хвойных пород. К древесной муке, как правило, относят измельченную древесину с размером частиц менее 1,2 мм.

Частицы древесной муки имеют случайные нерегулярные формы. С одной стороны, это связано с особенностями структуры древесины, а с другой – с тем, что дробление частиц в рабочих органах мельниц происходит в результате случайных многосторонних воздействий - сдавливаний, смещений, ударов, соударений и т.д.

В зависимости от назначения древесная мука делится на марки (табл.20).

Т а б л и ц а 2 0

Марки древесной муки (ГОСТ 16361-87)

Марка муки	Основное назначение
120, 160	Производство фенопластов светлых тонов
140, 180	Производство фенопластов, промышленных взрывчатых веществ, полимерных композиционных и строительных материалов
200	Производство алкидного линолеума, строительных материалов, крахмалопаточное производство
250	Производство промышленных взрывчатых веществ
T	Производство пигментной двуокиси титана
560, 1250	Производство фильтрующих элементов и катализаторов

Номер марки древесной муки – это цифра помола, равная (в микрометрах) размеру ячейки сита, сквозь которое при расसेве проходит древесная мука. Древесная мука, в зависимости от присутствия в ней примеси коры, делится на два сорта.

Древесина в процессе производства древесной муки практически не подвергается химическим превращениям, поэтому, химический состав древесной муки соответствует составу исходной древесины, а древесную муку можно считать полностью натуральным природным материалом.

Древесная мука обладает выраженными сорбирующими свойствами, а также тиксотропными качествами (мажется, но не течет).

Древесная мука возгорается на воздухе при температурах выше 200°C.

Температура самовоспламенения аэрозоля 430°C. Нижний концентрационный предел взрываемости аэрозоля древесной муки 11,2 г/м<sup>3</sup>. Он в значительной мере зависит от ее дисперсии, зольности и влажности. Влажная или промасленная древесная мука подобно опилкам, зерну и т.п. способна к самовозгоранию.

Качество древесной муки должно соответствовать значениям, указанным в табл. 21.

Т а б л и ц а 2 1

Показатели качества древесной муки

Наименование показателя	Значение
1	2
Влажность, %, не более	8,0
Массовая доля золы, %, не более, в муке марок:	
120, 160	0,6
140, 180, 250, T	0,8
200, 560, 1250	1,0
Массовая доля окрашенных примесей, %, не более, в муке марок:	
120, 160	0,1
140, 180, T	0,2
200, 250, 560, 1250	4,0
Массовая доля металломагнитных примесей, %, не более, в муке марок:	
120, 160	0,0005
140, 180, 250, T	0,0010
200, 560, 1250	0,0016
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup> , в муке марок:	
120, 140, 160, 180	От 100 до 140
200, 250, T, 560, 1250	Не нормируется
Массовая доля остатка, %, в муке марок:	
120 – на сетке 01, 160 - на сетке 0125, не более	11,0
на сетке 014, на сетке 018, не более	1,0
на сетке 02, на сетке 025, не более	0,0
140 – на сетке 01, 180 - на сетке 0125, не более	18,0
на сетке 014, на сетке 018, не более	2,0
на сетке 02, на сетке 025, не более	0,0
200 – на сетке 018, не более	5,0
на сетке 025, не более	0,4
250 – на сетке 025, не более	3,5
на сетке 0355, не более	0,2

## Окончание табл. 21

1	2
Т – на сетке 0063, не менее на сетке 018 на сетке 025, не более 560 – на сетке 025, не менее на сетке 056, не более 1250 – на сетке 063, не менее на сетке 1,25, не более	60,0 От 5,0 до 18,0 5,0 45,0 5,0 50,0 5,0
Массовая доля древесины лиственных пород, %, не более, в муке марок: 120, 160 140, 180, Т 200, 250, 560, 1250	0,0 5,0 Не нормируется
Массовая доля кислот, %, не более, в муке марок: 120, 160 140, 180, 250, Т 200, 560, 1250	0,07 0,08 Не нормируется
Массовая доля смол и масел, %, не более, в муке марок: 120, 140, 160, 180, 250, Т 200, 560, 1250	4,0 5,0

Основные технико-экономические показатели выпуска древесной муки:

- в зависимости от влажности, на 1 тонну муки расходуется 2,35-2,45 пл. м<sup>3</sup> опилок;
- 380 кг и более (если повышенная влажность) технологического пара;
- от 550 до 690 киловатт в час электроэнергии;
- производительность на один человеко-день – 300 кг древесной муки.
- для получения 1 тонны древесной муки необходимо 2,5 м<sup>3</sup> опилок.

Древесная мука (англ. – Wood flour, нем. – "Holzmehl") может использоваться как:

- ✓ компонент в производстве пигментной двуокиси титана;
- ✓ добавка для покрытия сварочных электродов (целлюлоза электродная);
- ✓ добавка для обжиговой керамики и кирпича;
- ✓ добавка в штукатурные и отделочные строительные смеси;
- ✓ добавка в бетоны и гипсокартоны, бетонные и композиционные дорожные покрытия;
- ✓ добавка в клеевые составы на основе натуральных и синтетических клеев;
- ✓ наполнитель для натуральных и синтетических линолеумов и линкруста;
- ✓ основа для пресспорошков и прессмасс и компаундов на базе термоактивных смол (фенопластов и т.п.),
- ✓ наполнитель для ксилолита;



- ✓ составная часть и сырье для получения различных взрывчатых веществ;
- ✓ основа для фильтров и фильтрующих материалов;
- ✓ добавка при изготовлении сталей и ферросплавов;
- ✓ добавка в формовочные смеси для изготовления литейных форм;
- ✓ сырье для производства сорбентов в т.ч. для удаления нефтяных загрязнений с дорог, водоемов и т.п.;
- ✓ сырье для получения активированных углей;
- ✓ чистящее средство в производстве кож и мехов;
- ✓ мягкое шлифующее, полирующее и чистящее средство в металлообработке, например, в производстве метизов и подшипников, фурнитуры и т.п.;
- ✓ разрыхлитель для улучшения структуры тяжелых бедных почв в растениеводстве (вместе с мелом и др. известняками);
- ✓ основа субстратов для промышленного выращивания грибов;
- ✓ основа для изготовления средств для содержания домашних животных (сорбирующие подстилки);
- ✓ добавка в некоторые комбикорма;
- ✓ средство для копчения рыбы и мяса;
- ✓ сырье для получения активных древесных экстрактов и вытяжек (дуб, пихта, можжевельник ) и т.д.

В настоящее время интерес к производству древесной муке стимулируется развитием нового направления ее применения - производства термопластичных древесно-полимерных композиционных материалов (ДПК), в которых она занимает (по весу) до 80 и более процентов.

## 1.2. Сырьевые материалы и требования к ним

В качестве сырья для получения древесной муки используются, как правило, кусковые отходы лесо- и деревообрабатывающих производств, опилки и технологическая щепка, получаемая из дровяной древесины. В последние годы в качестве сырья для производства муки начинают применять и другие виды растительного сырья – различные виды соломы и стеблей, зерновую шелуху, оболочки орехов, отходы картона и т.д.

Слишком влажную щепу нельзя размолоть в муку, т.к. в мельнице она будет не крошиться, а мяться, махриться и т.п. Для облегчения размолота лучше использовать щепу не крупную, т.к. ее легче сушить.

Хвойная древесная мука должна изготавливаться из древесины сосны, ели, пихты, кедра и лиственницы, а также смеси этих пород; лиственная – из древесины березы, бука, липы, осины, ясеня, тополя, клена, граба и смеси этих пород; смешанная – из смеси древесины любых указанных выше хвойных и лиственных пород.

Древесная мука марок 120, 140, 160, 180 и Т изготавливается из древесины хвойных пород; марок 140 и 180, 200, 250, 560, 1250 – из древесины хвойных, лиственных пород или их смеси.

### 1.3. Технология производства древесной муки

Производство древесной муки – один из наиболее простых способов утилизации древесных отходов.

На рис.8 приведена схема технологического процесса производства древесной муки [17].

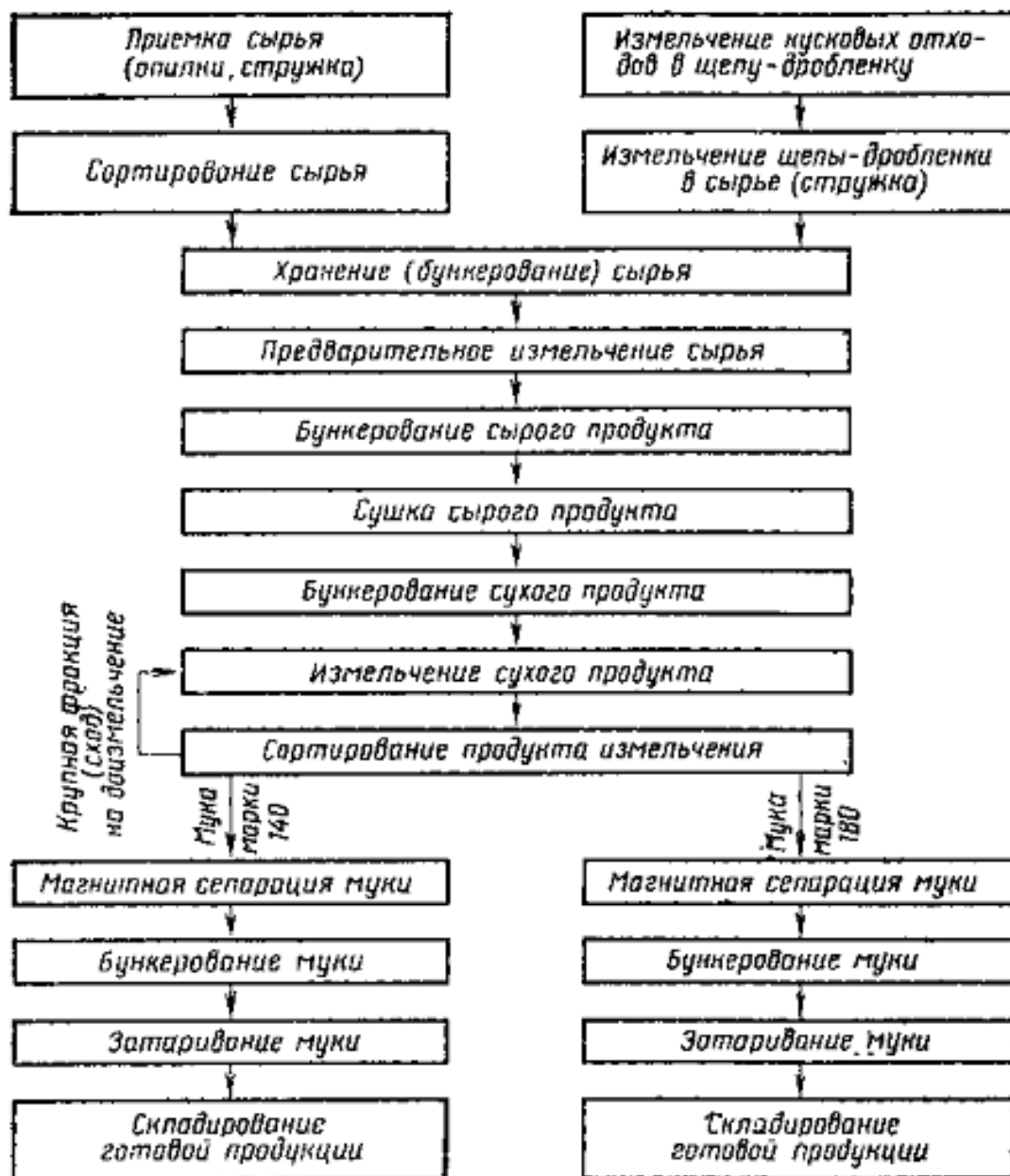


Рис.8. Схема технологического процесса производства древесной муки

Технологический процесс производства древесной муки состоит из следующих основных операций:

– *подготовки сырья для производства древесной муки.* На этой стадии осуществляется приемка и хранение сырья (опилок, стружек, дробленки), сортирование его для удаления коры и крупных включений, измельчение кусковых отходов;

– *механического измельчения сырья в сырой продукт* с целью относительного выравнивания размера частиц;

– *сушки сырого продукта* для получения требуемой влажности муки и обеспечения наиболее выгодных режимов измельчения;

– *измельчения сухого материала* с целью получения продукта требуемой дисперсности;

– *сортирования продукта измельчения* – извлечение древесной муки необходимых марок;

– *упаковки древесной муки*, включающей затаривание муки в мешки, их зашивку и хранение.

**Сушка** щепы осуществляется в различных типах сушильных установок (ленточные, сетчатые, шахтные, сушилки кипящего слоя, вакуумные, СВЧ и т.п.).

Если позволяют производственные площади, то сырье в неразмолотом виде и щепу в буртах можно подвергнуть предварительной естественной сушке. Щепу можно подсушивать в буртах с ворошением.

Учитывая, что сейчас становится популярной солнечная энергетика, то целесообразно для этой цели изучить возможности солнечной предварительной сушки щепы (прозрачные навесы, подогрев воды в простейших гелиоустановках, светоотражающие экраны и т.п.). Представляет интерес исследование возможностей использования для предварительной подсушки щепы тепловой воды от системы охлаждения экструдера.

В деревообработке наиболее широко распространены сушилки барабанного типа (рис.9).



Рис.9. Схема сушилки барабанного типа

Через загрузочный бункер влажный материал подается в барабан и поступает на внутреннюю насадку, расположенную по всей длине барабана. Насадка обеспечивает равномерное распределение и хорошее перемешивание материала по сечению барабана, а также его тесный контакт с сушильным агентом при пересыпании. Непрерывно перемешиваясь, материал перемещается к выходу из барабана. Высушенный материал удаляется через разгрузочную камеру.

### ***Измельчение древесного сырья.***

Измельчение древесного сырья может осуществляться на самых разнообразных типах мельниц. При этом классификация частиц муки может происходить как внутри агрегата, так и на внешних классификаторах (ситовых, воздушных и т.д.). Размол может производиться в одну или в несколько стадий.

Эффективность размола (энергозатраты, производительность, равномерность фракционного состава и т.д.) может различаться не только в зависимости от типа мельницы, но и от совершенства конструкции, т.е. опыта ее изготовителя в переработке именно древесной муки.

Современное размольное оборудование для получения древесной муки имеет компактную конструкцию и не требует больших площадей.

Мельничные комплексы и агрегаты для производства древесной муки могут иметь единичную производительность от нескольких килограммов до нескольких тонн в час.

Основными критериями для определения технического уровня конкретной мельничной установки являются:

- стабильность размеров размолотого материала в заданном диапазоне, т.е. полезный выход кондиционной муки;
- отношение энергозатрат к производительности установки;
- габариты и масса;
- герметичность;
- пожаровзрывобезопасность.

Желательно, что бы мельничная установка ни была бы слишком критична к размерам и влажности измельчаемого материала.

Для изготовления древесной муки используются мельничные машины самого различного типа, в которых древесина подвергается воздействию различных динамических нагрузок: сжатию, изгибу, разрыву и сдвигу (рис.10).

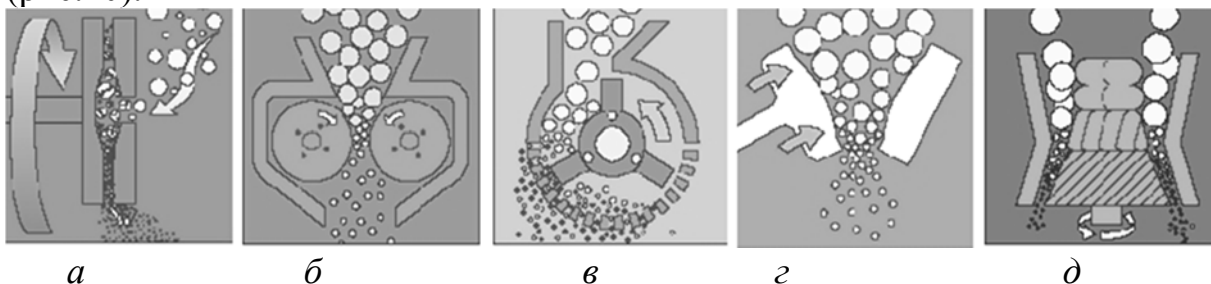


Рис.10. Типы мельничных машин:

а – дисковая; б – валковая; в – молотковая; г – челюстная; д – роторная

В одной мельнице может осуществляться несколько разных видов воздействия на раздробляемый материал.

В производстве древесной муки наибольшее распространение получили мельницы роторного и молоткового типа. Мельничные машины выпускаются в широком диапазоне мощностей и производительностей: от нескольких десятков килограммов до нескольких тонн в час.

Как правило, в мельницах такого типа решается две задачи - измельчение материала с одновременной его классификацией. То есть, пока материал не будет измельчен до нужного размера, он не сможет покинуть мельницу. Эта сепарация осуществляется либо ситовым методом, либо при помощи центробежных сил.

На рис. 11 приведена схема устройства роторной мельницы ударного типа.

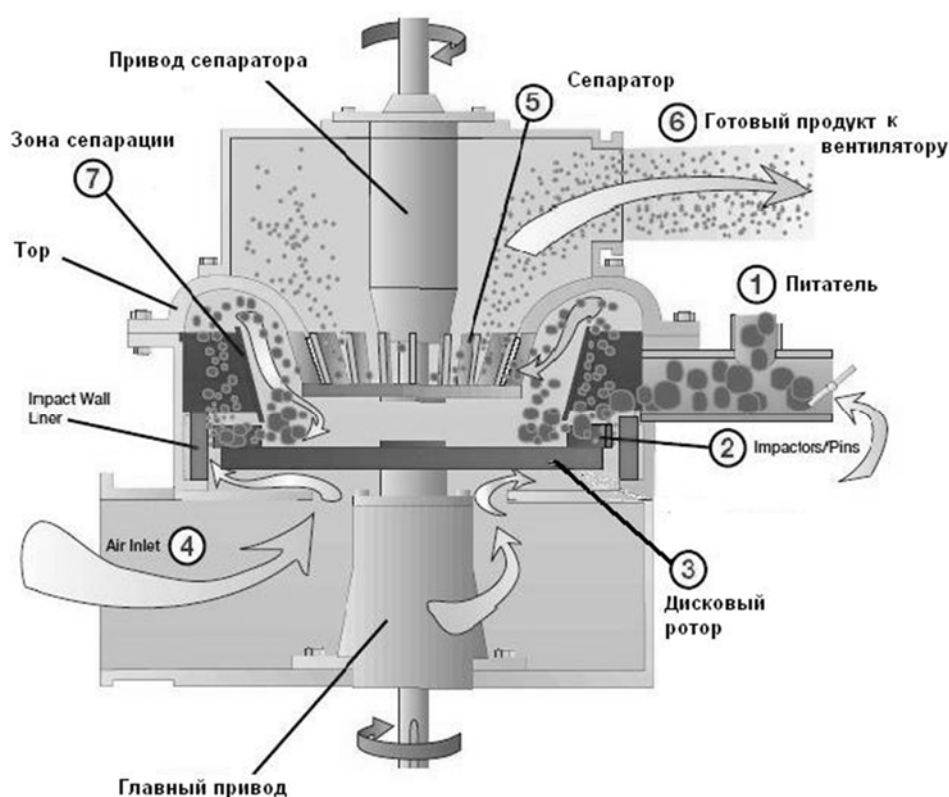


Рис. 11. Устройство роторной мельницы ударного типа

Щепа подается в измельчительную камеру по трубопроводу 1 и разрушается молотками-импакторами 2, прикрепленными к вращающемуся с высокой скоростью роторному диску 3. Измельченный продукт потоком всасываемого воздуха 4 поднимается в колонну и разделяется вращающимся колесом сепаратора 5 с независимым приводом. Затем воздушный поток, создаваемый вентилятором эксгаузера 6, протаскивает отобранные частицы сквозь вращающийся сепаратор, а более крупные частицы, не принятые сепаратором, возвращаются в зону сепарации 7 и направляются к импакторам для повторного измельчения.

Транспортные связи между устройствами и машинами в мельничных установках могут осуществляться при помощи различных транспортеров, например – скребковых, ленточных, шнековых, вибрационных и пневматических, в т.ч. с регулируемой производительностью.

Хранение муки осуществляется, как правило, в специальных сухих помещениях навалом или в накопителях (силосах, бункерах), оборудованных загрузочными и разгрузочными устройствами.

Древесная мука гигроскопична и довольно быстро принимает влагу из окружающего воздуха. Поэтому, перед подачей в экструдер (или гранулятор) она может быть, при необходимости, подсушена еще раз.

Древесную муку упаковывают в мешки ёмкостью 10 кг при помощи набивочных аппаратов.

Древесная мука не токсична, но ее производство требует определенных мер безопасности, в частности, защиты органов дыхания. Подобно пшеничной муке, крахмалу и т.п. древесная мука пожаровзрывоопасна, поэтому должны быть соблюдены соответствующие меры ее безопасного производства, хранения и использования.

Из нескольких отечественных изготовителей мельничного оборудования позиционирует свою технику, как пригодную для производства древесной муки, только завод " Пензмаш ". Схема мельничного комплекса этого производителя приведена на рис. 12.

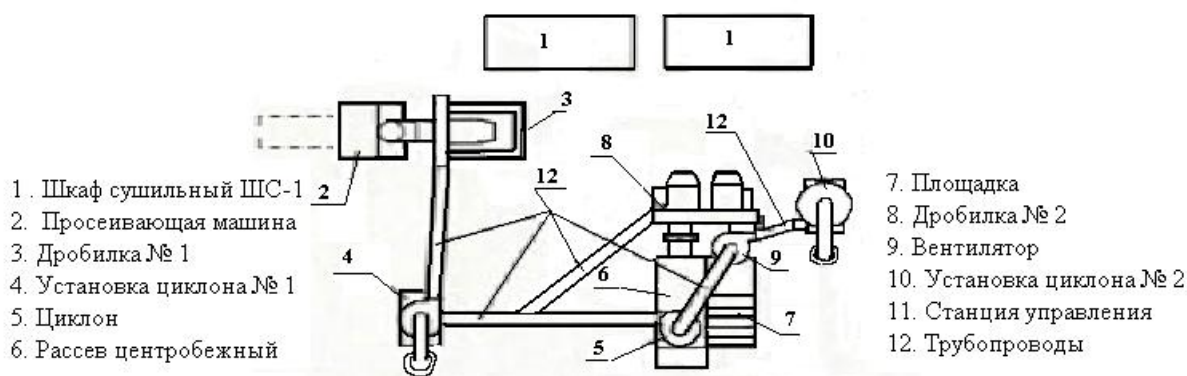


Рис.12. Схема мельничного комплекса завода "Пензмаш"

## 2. Расчет необходимой производительности измельчающего оборудования и его выбор

Исходные данные для расчета выбираются в зависимости от выданного варианта (прил. 12).

Проектирование линии по производству древесной муки начинается с определения необходимой производительности. Она в первую очередь зависит от количества и вида исходного сырья (древесных отходов).

Расчет необходимой производительности измельчающего оборудования проводят в следующей последовательности.

Рассчитывают годовой эффективный фонд времени работы оборудования, в днях, по формуле

$$\Phi_{\text{д}} = D_{\text{к}} - D_{\text{в}} - D_{\text{п}} - D_{\text{кр}} \quad (79)$$

где  $D_{\text{к}}$  – число календарных дней в году;

$D_{\text{в}}$  – число выходных дней в году;

$D_{\text{п}}$  – число праздничных дней в году;

$D_{\text{кр}}$  – дни на капитальный ремонт оборудования, принимаем 10 дней.

Годовой эффективный фонд времени работы оборудования, ч, рассчитывают по формуле

$$\Phi_{\text{ч}} = 0,7 \cdot \Phi_{\text{д}} \cdot T_{\text{ср}} \cdot n, \quad (80)$$

где  $\Phi_{\text{д}}$  – годовой эффективный фонд времени работы оборудования, в днях;

$T_{\text{ср}}$  – средняя продолжительность смены, ч;

$n$  – количество смен в рабочем дне;

0,7 – коэффициент использования оборудования.

Средняя продолжительность смены составит:

$$T_{\text{ср}} = 24/3 = 8 \text{ ч.} \quad (81)$$

Определяют массу имеющегося сырья.

В разрыхленном состоянии опилки занимают больший объем, чем объем плотной древесины. Плотность разрыхленных мягких отходов определяют по формуле

$$\rho_{\text{отх}} = k_{\text{пд}} \cdot \rho_{\text{др}}, \quad (82)$$

где  $\rho_{\text{отх}}$  – плотность (масса) 1 м<sup>3</sup> древесных отходов, кг/м<sup>3</sup>;

$k_{\text{пд}}$  – коэффициент полнодревесности (табл.22);

$\rho_{\text{др}}$  – средняя плотность массивной древесины, кг/м<sup>3</sup>.

Коэффициенты полнодревесности для некоторых типов частиц приведены в табл. 22.

Т а б л и ц а 22

Коэффициенты полнодревесности

Тип древесных частиц	Щепа всех классов	Щепа-дробленка	Стружка лиственная	Стружка хвойная	Опилки не слежавшиеся
Коэффициент полнодревесности $k_{\text{пд}}$	0,338	0,375	0,110	0,130	0,250

Средняя плотность древесины при стандартной 12% влажности приведена в прил. 13.

Среднюю плотность древесины при заданной влажности рассчитывают по формуле

$$\rho_m^w = \frac{\rho_m^{12}}{[1 + 0,01 \cdot (1 - K_0) \cdot (12 - W)]}, \quad (83)$$

где  $K_0$  – коэффициент объёмной усушки, %;

$W$  – влажность образца, %.

Коэффициент объёмной усушки принимают равным: для берёзы, бука и лиственницы  $K_0 = 0,6$ , для прочих пород  $K_0 = 0,5$ .

Среднюю плотность древесины при заданной влажности можно также рассчитать по формуле

$$\rho_m^w = \rho_m^{12} \cdot K_{12}, \quad (84)$$

где  $K_{12}$  – коэффициент пересчета, принимаемый из табл. 23.

Т а б л и ц а 23

Коэффициент пересчета  $K_{12}$

Влажность древесины $W$ , %	Коэффициент $K_{12}$ для пород		Влажность древесины $W$ , %	Коэффициент $K_{12}$ для пород	
	береза, бук, граб, лиственница	остальные		береза, бук, граб, лиственница	остальные
5	0,980	0,972	18	1,013	1,020
6	0,983	0,977	19	1,014	1,023
7	0,986	0,981	20	1,016	1,026
8	0,989	0,985	21	1,018	1,029
9	0,992	0,989	22	1,019	1,031
10	0,995	0,993	23	1,020	1,034
11	0,997	0,996	24	1,021	1,036
12	1,000	1,000	25	1,022	1,039
13	1,002	1,004	26	1,023	1,041
14	1,005	1,007	27	1,024	1,043
15	1,007	1,010	28	1,025	1,046
16	1,009	1,014	29	1,025	1,048
17	1,011	1,014	30	1,026	1,050

Если влажность древесины более 30%, коэффициент вычисляется по формулам:

для бука, граба и лиственницы

$$K_{12}^w = \frac{100 + W}{127}, \quad (85)$$

для остальных пород

$$K_{12}^w = \frac{100 + W}{124}, \quad (86)$$

где  $W$  – влажность образца в момент испытания, %.

Количество (массу) имеющегося древесного сырья рассчитываем по формуле

$$m_{отх} = \rho_{отх} \cdot V_{отх}, \quad (87)$$



где  $V_{отх}$  – объем имеющихся древесных отходов (см. задание).

Определив годовой эффективный фонд времени работы оборудования (в часах) и количество (масса) имеющихся древесных отходов, рассчитывают ориентировочную производительность измельчающего оборудования по формуле

$$\Pi = \frac{m_{отх}}{\Phi_{ч}}. \quad (88)$$

По ориентировочной производительности подбирают оборудование (прил. 14).

**Пример расчета ориентировочной производительности измельчающего оборудования.**

*Исходные данные:*

тип древесных частиц – стружка лиственная;

порода древесины – береза;

влажность древесных отходов, % – 28;

количество рабочих смен – 1;

объем имеющихся древесных отходов, м<sup>3</sup>/год – 6000.

Рассчитываем годовой эффективный фонд времени работы оборудования, в днях:

$$\Phi_{д} = D_{к} - D_{в} - D_{п} - D_{кр} = 365 - 104 - 12 - 10 = 239 \text{ дн.}$$

Годовой эффективный фонд времени работы оборудования (в часах) составит:

$$\Phi_{ч} = 0,7 \cdot \Phi_{д} \cdot T_{ср} \cdot n = 0,7 \cdot 239 \cdot 8 \cdot 1 = 1338,4 \text{ ч.}$$

Рассчитываем среднюю плотность древесины березы при 28%-й влажности.

Средняя плотность березы при стандартной 12%-й влажности составляет 0,65 г/см<sup>3</sup> (650 кг/м<sup>3</sup>) (прил.15).

Средняя плотность древесины березы при 28%-й влажности, составит:

$$\rho_m^w = \rho_m^{12} \cdot K_{12} = 650 \cdot 1,025 = 666,25 \text{ кг/м}^3$$

Рассчитываем плотность разрыхленных мягких отходов:

$$\rho_{отх} = k_{пд} \cdot \rho_{др} = 0,11 \cdot 666,25 = 73,28 \text{ кг/м}^3$$

Рассчитываем количество (массу) имеющегося древесного сырья:

$$m_{отх} = \rho_{отх} \cdot V_{отх} = 73,28 \cdot 6000 = 439680 \text{ кг}$$

Рассчитываем ориентировочную производительность измельчающего оборудования:

$$\Pi = \frac{m_{отх}}{\Phi_{ч}} = \frac{439680}{1338,4} = 328 \text{ кг/ч.}$$

По ориентировочной производительности подбираем оборудование (прил. 14).

*Например:* молотковую мельницу для изготовления древесной муки марки WA-MHW45/300 (Китай).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельникова, Л.В. Технология композиционных материалов из древесины [Текст]: учебник / Л.В. Мельникова. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007.– 235 с.
2. Шитова, И.Ю. Использование отходов деревообработки в промышленности [Текст]: учеб. пособие / И.Ю. Шитова. – Пенза: ПГУАС, 2009. – 140 с.
3. Гомонай, М.В. Технология переработки древесины [Текст]: учеб. пособие / М.В. Гомонай. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008.– 231 с.
4. Гомонай, М.В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы. [Текст]: моногр. / М.В. Гомонай. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006.– 68 с.
5. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесноцементной композиции [Текст]: научное издание / И.Х. Наназашвили. – Л. Стройиздат, 1990. – 415 с.
6. Карпова, О.В. Курсовое и дипломное проектирование. Руководство по текстовому и графическому оформлению [Текст] / О.В. Карпова, Т.И. Королева, Н.В. Аржаева, А.М. Исаева. – Пенза: ПГУАС. 2005. – с.
7. Цыгарова М.В. Комплексное использование древесины [Текст]: метод. указания / М.В. Цыгарова. – Ухта: УГТУ, 2007. – 55 с.
8. Конаков С.И. Комплексное использование древесины [Электронный ресурс]: метод. указания / С.И. Конаков. – Сыктывкар: СЛИ, 2010. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>.
9. СН 549-82 Инструкция по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита древесины [Электронный ресурс]: [http://www.znaytovar.ru/gost/2/SN\\_54982\\_Instrukciya\\_po\\_proekt.html](http://www.znaytovar.ru/gost/2/SN_54982_Instrukciya_po_proekt.html)
10. ГОСТ 19222-84. Арболит и изделия из него. Общие технические условия [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1984.
11. ГОСТ 16361-87. Мука древесная. Технические условия [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1987.
12. ГОСТ 16362-86. Мука древесная. Методы испытания [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1986.
13. ГОСТ 23246-78. Древесина измельченная. Термины и определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1978.
14. ГОСТ 18110-72. Плиты древесностружечные. Технология. Термины и определения [Текст].
15. ГОСТ 15815-83. Щепа технологическая. Технические условия [Текст]. – М.: Переиздание (июнь 1992 г.).
16. ГОСТ 16361-87. Мука древесная. Технические условия.
17. Цывин, М.М. Производство древесной муки [Текст] / М.М. Цывин, С.Г. Котцов, И.В. Шмаков. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 106 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

П р и л о ж е н и е 1  
Исходные данные для выполнения технологического расчета стационарной рубильной машины [7]

Показатели	Значение исходных данных в зависимости от варианта										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Длина щепы $l_{щ}$ , мм	35	15	25	12	18	35	25	15	18	20	
Порода древесины	С	Е	Б	Ос	Лц	С	Е	Б	Ос	Лц	
Состояние древесины	древесина положительной температуры										
Направление выброса щепы	вверх					вниз					
Диаметр диска $D$ , м	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,2	2,5	1,0	1,4	1,6	
Толщина диска $H_{л}$ , м	0,1	0,12	0,13	0,15	0,16	0,12	0,22	0,12	0,15	0,16	
Угловая скорость вращения диска $\omega$ , рад/с	50	60	55	50	60	45	30	45	20	40	
Углы наклона загрузочного патрона в плоскости, град.:	мерзлая древесина										
вертикальной $\alpha_x$	0	0	45	45	0	45	0	45	45	0	
горизонтальной $\alpha_y$	40	40	45	50	40	45	40	45	50	40	
Размеры патрона, мм:											
высота $H$	200	300	400	250	400	200	300	400	250	400	
ширина $B$	250	300	400	250	350	250	300	400	250	350	
Длина ножей $l_n$ , м	0,3	0,35	0,40	0,50	0,50	0,35	0,70	0,30	0,35	0,50	
Коэффициент затупления режущих ножей $K_4$	1,20	1,25	1,16	1,12	1,15	1,0	1,1	1,05	1,15	1,18	
Вид измельчаемого сырья	вершинная часть		колотая древесина			горбыль, рейки		круглые лесоматериалы			ветки
Скорость надвигания $U_n$ , м/с	1,0	0,6	0,8	1,0	0,7	0,6	1,0	0,8	0,6	0,8	

П р и м е ч а н и е : С – сосна, Е – ель, Б – береза, Ос – осина, Лц – лиственница.

Исходные данные для выполнения технологического расчета передвижной рубильной машины [7]

Показатели	Значение исходных данных в зависимости от варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Порода древесины	ель									
Состояние древесины	сосна					ель				
	древесина положительной температуры	мерзлая древесина	мерзлая древесина	древесина положительной температуры	древесина положительной температуры	древесина положительной температуры	древесина положительной температуры	древесина положительной температуры	древесина положительной температуры	древесина положительной температуры
Влажность древесины	25	28	30	35	40	45	50	55	57	30
Средний диаметр перерабатываемого сырья $d$ , см	25	30	28	16	12	20	32	28	18	16
Требуемая длина щелы $l_{щ}$ , мм	7	10	14	5	20	11	25	28	30	32
Длина измельчаемого древесного сырья $l_{дс}$ , м	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	2,2	2,8	3,6	4,0
Коэффициент перегрузки двигателя $k_n$	1,1	1,2	1,3	1,15	1,25	1,1	1,2	1,3	1,15	1,25
Коэффициент полезного действия передачи $\eta$	0,75	0,85	0,90	0,88	0,78	0,92	0,86	0,79	0,85	0,70
Коэффициент, учитывающий затупление режущих ножей $a_p$	1,0	1,1	1,05	1,15	1,18	1,2	1,25	1,16	1,12	1,15
Угол встречи вектора скорости резания с направлением волокон древесины $\varphi_1$ , град.	45	46	47	48	49	50	45	46	47	48
Угол наклона $\varphi_2$ , град.	15	20	25	30	35	40	45	50	30	15
Количество режущих ножей на диске $Z$ , шт.	2	3	4	4	4	4	2	3	3	3
Диаметр ножевого диска $D$ , мм	1150	850	650	650	650	650	1750	1500	1500	1500
Толщина диска $H$ , м	0,1	0,12	0,13	0,15	0,16	0,12	0,22	0,12	0,15	0,16
Частота вращения ножевого диска $n$ , мин <sup>-1</sup>	700	1000	800	650	500	1000	1000	1000	850	700

Исходные данные к расчету состава арболитовой смеси [8]

№ варианта	Древесный наполнитель			Марка порг-ландце-мента	Химическая добавка		Проектируемые характери-стики арболита	
	вид наполнителя	влажность, %	насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>		наименование	концентра-ция рас-твора, %	класс по проч-ности	плотность в сухом состоя-нии, кг/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Дробленка из отходов лесопи-ления и деревообработки хвой-ных пород	60	280	500	хлорид каль-ция	10	B 0,35	450
2	Дробленка из отходов лесоза-готовки хвойных пород	80	310	300	стекло натри-евое жидкое	34	B 0,75	420
3	Дробленка из отходов лесопи-ления и деревообработки сме-шанных пород	20	150	400	стекло натри-евое жидкое	38	B 1,0	580
4	Дробленка из отходов лесоза-готовки смешанных пород	76	250	600	комплексная добавка	15	B 2,0	630
5	Одубина	95	350	400	хлорид каль-ция	10	B 2,5	780
6	Дробленка из отходов лесопи-ления и деревообработки сме-шанных пород	68	250	550	стекло натри-евое жидкое	36	B 0,35	650
7	Дробленка из отходов лесоза-готовки смешанных пород	87	300	500	хлорид каль-ция	24	B 0,75	750
8	Дробленка из отходов лесопи-ления и деревообработки хвой-ных пород	72	220	400	стекло натри-евое жидкое	40	B 1,0	470
9	Дробленка из отходов лесоза-готовки хвойных пород	48	180	300	хлорид каль-ция	20	B 2,0	600

## Окончание прил. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	Дробленка из отходов лесопиления и деревообработки смешанных пород	67	180	550	нитрат кальция	25	B 2,5	430
11	Дробленка из отходов лесозаготовки смешанных пород	83	298	600	комплексная добавка	20	B 2,5	615
12	Дробленка из отходов лесозаготовки хвойных пород	58	360	300	стекло натрия-евого жидкое	41	B 0,75	673
13	Дробленка из отходов лесопиления и деревообработки смешанных пород	45	195	400	нитрат кальция	30	B 0,35	430
14	Одубина	77	386	500	хлорид кальция	23	B 2,0	750
15	Дробленка из отходов лесопиления и деревообработки смешанных пород	41	210	550	комплексная добавка	20	B 2,0	490
16	Дробленка из отходов лесозаготовки смешанных пород	86	168	400	стекло натрия-евого жидкое	48	B 1,0	413
17	Дробленка из отходов лесозаготовки смешанных пород	54	200	300	нитрат кальция	28	B 0,75	520
18	Дробленка из отходов лесопиления и деревообработки смешанных пород	48	176	400	хлорид кальция	30	B 0,75	515
19	Дробленка из отходов лесопиления и деревообработки смешанных пород	25	146	500	стекло натрия-евого жидкое	37	B 0,35	480
20	Дробленка из отходов лесозаготовки смешанных пород	39	320	550	комплексная добавка	25	B 2,0	670

Исходные данные к расчету состава цементно-стружечной смеси [8]

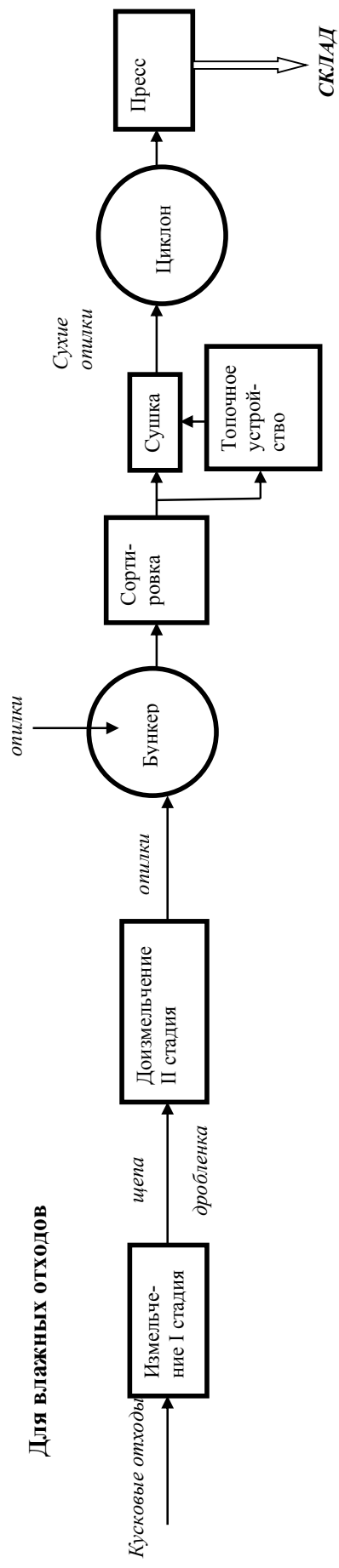
Номер варианта	Марка ЦСП	Характеристика древесного заполнителя (резаная стружка)			Марка вяжущего (ПЦ)	Характеристика химических добавок	
		состояние древесины	порода древесины	влажность, %		наименование	требуемая концентрация
1	ЦСП-1	окошенная, выдержанная	сосна	80	М 400	ЖС ( $C_{ЖС}=40\%$ ) $Al_2(SO_4)_3$	18 20
2	ЦСП-2	неокошенная, выдержанная	ель	95	М 500	ЖС ( $C_{ЖС}=35\%$ ) $Al_2(SO_4)_3$	22 14
3	ЦСП-2	неокошенная, выдержанная	береза	76	М 500	ЖС ( $C_{ЖС}=20\%$ ) $Al_2(SO_4)_3$	16 26
4	ЦСП-1	окошенная, выдержанная	ель-50% береза -50%	65	М 400	ЖС ( $C_{ЖС}=25\%$ ) $Al_2(SO_4)_3$	24 22
5	ЦСП-1	невыдержанная, неокошенная	осина	102	М 400	$CaCl_2$ $CaO$	31 24,6
6	ЦСП-2	окошенная, выдержанная	осина	58	М 400	$CaCl_2$ $CaO$	21 23,92
7	ЦСП-2	невыдержанная, неокошенная	береза	72	М 500	$CaCl_2$ $CaO$	18 23,24
8	ЦСП-1	окошенная, выдержанная	ель	84	М 500	ЖС ( $C_{ЖС}=35\%$ ) $Al_2(SO_4)_3$	20 16
9	ЦСП-1	неокошенная, выдержанная	сосна	90	М 400	ЖС ( $C_{ЖС}=38\%$ ) $Al_2(SO_4)_3$	26 28
10	ЦСП-2	окошенная, выдержанная	ель-50% береза -50%	78	М 500	ЖС ( $C_{ЖС}=50\%$ ) $Al_2(SO_4)_3$	38 24



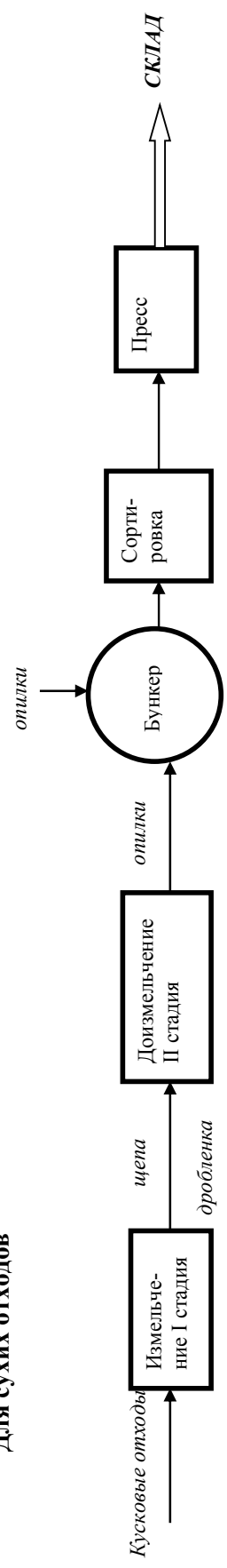
## Окончание прил. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
11	ЦСП-2	окоренная, выдержанная	береза	61	М 500	ЖС (С <sub>ЖС</sub> =55%) Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	30 20
12	ЦСП-1	окоренная, выдержанная	осина	54	М 500	CaCl <sub>2</sub> CaO	20 22,55
13	ЦСП-1	невыдержанная, окоренная	береза	68	М 400	CaCl <sub>2</sub> CaO	12 21,84
14	ЦСП-2	невыдержанная, неокоренная	осина	96	М 400	CaCl <sub>2</sub> CaO	19 21,12
15	ЦСП-1	окоренная, выдержанная	ель-50% береза -50%	60	М 400	ЖС (С <sub>ЖС</sub> =38%) Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	21 14
16	ЦСП-1	окоренная, выдержанная	сосна	88	М 400	ЖС (С <sub>ЖС</sub> =45%) Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	34 24
17	ЦСП-2	невыдержанная, неокоренная	осина	67	М 500	CaCl <sub>2</sub> CaO	16 20,14
18	ЦСП-2	неокоренная, выдержанная	ель	52	М 500	ЖС (С <sub>ЖС</sub> =36%) Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	16 18
19	ЦСП-1	невыдержанная, неокоренная	береза	70	М 500	CaCl <sub>2</sub> CaO	31 23,92
20	ЦСП-1	окоренная, выдержанная	осина	56	М 400	CaCl <sub>2</sub> CaO	28 24,6

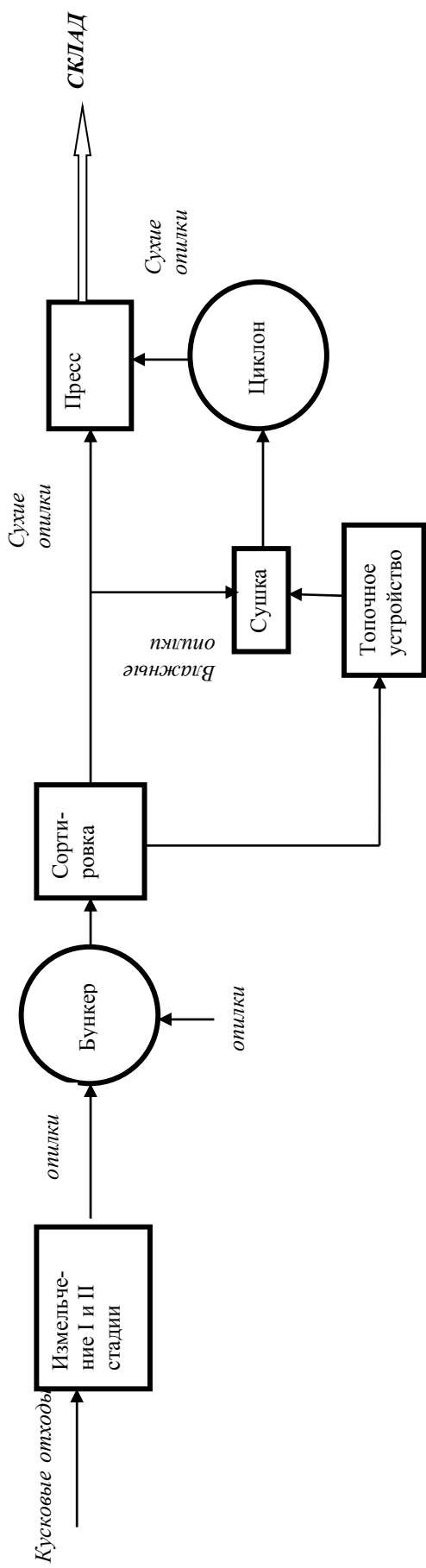
Технологические схемы процесса брикетирования древесных отходов различной влажности



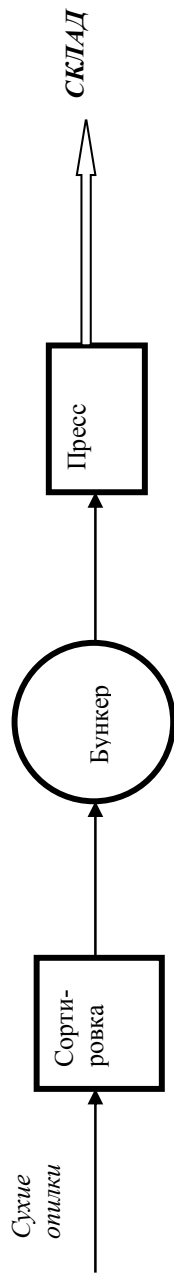
Для сухих отходов



Для небольших объемов влажных опилок



Для сухих опилок



Приложение 6

Содержание хлорида кальция CaCl<sub>2</sub> в растворах различной концентрации

Концентрация раствора,%	Плотность раствора при 20°С, г/см <sup>3</sup>	Содержание безводного CaCl <sub>2</sub> , кг	
		в 1 л раствора	в 1 кг раствора
2	1,015	0,02	0,02
4	1,032	0,041	0,04
6	1,049	0,063	0,06
8	1,066	0,085	0,08
10	1,084	0,108	0,1
12	1,102	0,132	0,12
14	1,12	0,157	0,14
16	1,139	0,182	0,16
17	1,148	0,195	0,17
18	1,158	0,209	0,18
19	1,168	0,222	0,19
20	1,178	0,236	0,20
21	1,18	0,25	0,21
22	1,198	0,265	0,22
23	1,208	0,278	0,23
24	1,218	0,293	0,24
25	1,228	0,307	0,25
26	1,239	0,322	0,26
27	1,249	0,377	0,27
28	1,26	0,353	0,28
29	1,271	0,369	0,29
30	1,282	0,385	0,3
31	1,293	0,401	0,31
32	1,304	0,417	0,32
34	1,326	0,451	0,34
36	1,35	0,486	0,36
38	1,374	0,522	0,38
40	1,396	0,558	0,4

Приложение 7

Содержание негашеной СаО и гашеной извести Са(ОН)<sub>2</sub> в известковом  
растворе различной средней плотности

Плотность рас- твора при 20°С, г/см <sup>3</sup>	СаО		Са(ОН) <sub>2</sub>	
	концентрация, %	в 1 л раствора, г	концентрация, %	в 1 л раствора, г
1,0085	0,99	10	1,31	13,2
1,0170	1,96	20	2,59	26,4
1,0245	2,93	30	3,87	39,6
1,0315	3,88	40	5,13	52,8
1,0390	4,81	50	6,36	66,1
1,0460	5,74	60	7,58	79,3
1,0535	6,65	70	8,79	92,5
1,0605	7,54	80	9,96	105,7
1,0675	8,43	90	11,14	118,9
1,0750	9,30	100	12,29	132,1
1,0825	10,16	110	13,43	145,3
1,0895	11,01	120	14,55	158,6
1,0965	11,86	130	15,67	171,8
1,1040	12,68	140	16,76	185,0
1,1110	13,50	150	17,84	198,2
1,1185	14,30	160	18,90	211,4
1,1255	15,10	170	19,95	224,6
1,1325	15,89	180	21,00	237,9
1,1400	16,67	190	22,03	251,1
1,1545	18,19	210	24,04	277,5
1,1615	18,94	220	25,03	290,71
1,1685	19,68	230	26,1	303,9
1,1760	20,41	240	26,96	317,1
1,1835	21,12	250	27,91	330,4
1,1905	21,84	260	28,86	343,6
1,1975	22,55	270	29,80	356,8
1,2050	23,24	280	30,71	370,0
1,2125	23,92	290	31,61	383,2
1,2195	24,60	300	32,51	396,4

Приложение 8  
Содержание алюминия сернокислого  $Al_2(SO_4)_3$   
в растворах различной концентрации

Концентрация раствора, %	Плотность раствора при 20°C, г/см <sup>3</sup>	Содержание безводного $Al_2(SO_4)_3$ , кг, в 1 л раствора	Концентрация раствора, %	Плотность раствора при 20°C, г/см <sup>3</sup>	Содержание безводного $Al_2(SO_4)_3$ , кг, в 1 л раствора
1	1,009	0,0101	16	1,176	0,1882
2	1,019	0,0204	18	1,201	0,2162
4	1,040	0,0416	20	1,226	0,2452
6	1,061	0,0636	22	1,252	0,2754
8	1,083	0,0866	24	1,278	0,3067
10	1,105	0,1105	26	1,306	0,3396
12	1,129	0,1355	28	1,333	0,3752
14	1,152	0,1613			

Приложение 9  
Содержание нитрата кальция  $Ca(NO_3)_2$   
в растворах различной концентрации

Концентрация раствора, %	Плотность раствора при 20°C, г/см <sup>3</sup>	Содержание безводного $Ca(NO_3)_2$ , кг	
		в 1 л раствора	в 1 кг раствора
1	1,010	0,010	0,01
2	1,014	0,020	0,02
3	1,021	0,031	0,03
4	1,029	0,041	0,04
5	1,037	0,052	0,05
6	1,045	0,063	0,06
7	1,050	0,074	0,07
8	1,055	0,084	0,08
9	1,062	0,095	0,09
10	1,077	0,103	0,10
15	1,117	0,173	0,15
20	1,154	0,233	0,20
25	1,211	0,303	0,25
30	1,259	0,378	0,30
35	1,311	0,459	0,35

Исходные данные к расчету производительности шнекового пресса

Показатели	Значение исходных данных в зависимости от варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число оборотов шнека $n$ , мин <sup>-1</sup>	600	650	700	1000	600	800	500	600	650	700
шаг витков $t$ , см	4,5	5,0	4,0	4,0	4,3	4,4	4,1	4,0	4,5	4,5
Толщина витка $B$ , см	1,1	1,2	1,0	1,0	1,05	1,1	1,0	1,0	1,1	1,1
Насыпная плотность пресуемого материала $\rho_n$ , т/м <sup>3</sup> (г/см <sup>3</sup> )	0,16	0,17	0,18	0,16	0,17	0,18	0,16	0,17	0,18	0,16
Длина втулки и шнека $L$ , см	24,2	26,0	23,5	23,5	23,8	24,0	23,6	23,5	24,2	25,0
Диаметр большого основания конусной втулки, см	9,7	9,8	9,6	9,7	9,9	10,1	9,5	9,7	9,9	9,8
Диаметр малого основания конусной втулки, см	6,7	6,8	6,6	6,7	6,8	7,5	6,5	6,7	6,9	6,8
Диаметр большого основания конусного шнека, см	7,8	7,9	7,7	7,8	8,0	8,2	7,8	7,8	8,0	7,9
Диаметр малого основания конусного шнека, см	5,0	5,1	4,9	5,0	5,2	5,4	5,0	5,0	5,2	5,1
Внешний радиус витка, см	4,2	4,3	4,1	4,2	4,25	4,4	4,2	4,2	4,25	4,3
Внутренний радиус витка, см	3,2	3,2	3,0	3,0	3,25	3,1	3,1	3,1	3,2	3,3

Приложение 11

Исходные данные к расчету теплоты сгорания топливных брикетов

№ варианта	Порода древесины	Влажность материала, %	Плотность материала, кг/м <sup>3</sup>	Масса материала, кг
1	сосна	8	1000,1100,1200,1300,14000	2000
2	кора сосны	10	950, 1050, 1150, 1250, 1350	1000
3	ель	12	1050, 1150, 1250, 1350, 1450	500
4	кора ели	14	1000,1100,1200,1300,14000	1500
5	береза	6	900, 1000,1100, 1200, 1300	2500
6	липа	11	1050, 1150, 1250, 1350, 1450	3000
7	дуб	13	1100, 1200, 13000, 14000, 1500	1000
8	осина	16	1000,1100,1200,1300,14000	750
9	ольха	9	950, 1050, 1150, 1250, 1350	960
10	клен	10	900, 1000,1100, 1200, 1300	1050
11	лиственница	6	1000,1100,1200,1300,14000	1100
12	сосна	7	950, 1050, 1150, 1250, 1350	1200
13	кора сосны	13	1000,1100,1200,1300,14000	1000
14	ель	10	1050, 1150, 1250, 1350, 1450	1660
15	кора ели	11	900, 1000,1100, 1200, 1300	950
16	береза	12	1000,1100,1200,1300,14000	1400
17	осина	14	950, 1050, 1150, 1250, 1350	2100
18	липа	8	1000,1100,1200,1300,14000	600
19	лиственница	9	1050, 1150, 1250, 1350, 1450	820
20	дуб	15	1100, 1200, 13000, 14000, 1500	1080



Приложение 12

Исходные данные к подбору оборудования  
для изготовления древесной муки

№ варианта	Показатели				
	Тип древесных частиц	Порода древесины	Влажность древесных отходов	Объем древесных отходов, м <sup>3</sup> /год	Количество рабочих смен
1	щепа всех классов	сосна	10	4000	1
2	щепа-дробленка	ольха	46	2000	1
3	стружка листовенная	береза	18	6000	2
4	стружка хвойная	сосна	24	1050	1
5	опилки не слежавшиеся	осина	15	3100	1
6	щепа всех классов	береза	33	4200	1
7	щепа-дробленка	сосна	49	500	1
8	стружка листовенная	осина	28	720	1
9	стружка хвойная	ель	21	1100	1
10	опилки не слежавшиеся	липа	32	7000	2
11	щепа всех классов	лиственница	16	10000	2
12	щепа-дробленка	береза	25	1600	1
13	стружка листовенная	дуб	37	2500	1
14	стружка хвойная	пихта	41	3400	1
15	опилки не слежавшиеся	осина	9	820	1
16	щепа всех классов	береза	19	1070	1
17	щепа-дробленка	дуб	38	18000	2
18	стружка листовенная	липа	43	530	1
19	стружка хвойная	лиственница	11	5050	1
20	опилки не слежавшиеся	сосна	27	8000	2

Приложение 13

Плотность некоторых древесных пород (при влажности 12%)

Древесная порода	Плотность, г/см <sup>3</sup>
<i>Хвойные породы</i>	
Лиственница	0,66
Сосна	0,52
Ель	0,45
Кедр сибирский	0,44
Пихта	0,39
<i>Лиственные породы</i>	
Граб	0,80
Дуб	0,69
Клён белый (явор)	0,65
Ясень	0,75
Бук	0,68
Берёза	0,65
Липа	0,53
Осина	0,51
Ива	0,46
Ольха	0,49
Конский каштан	0,56
Каштан съедобный	0,59
Черемуха	0,61
Орех грецкий	0,64
Вишня	0,66
Слива	0,80
Вяз гладкий	0,66
Груша	0,69
Яблоня	0,90
Тополь серый	0,55
Платан (чинар)	0,70
Самшит	0,96
Хурма эбеновая	1,08

Примечание: В абсолютно сухом состоянии плотность древесных пород на 20-40% ниже, чем указанная в таблице.

Приложение 14

Технические характеристики оборудования для изготовления древесной муки

Показатели	Марки оборудования									
	ТУМФ-800 (Китай)	ТУМФ-900 (Китай)	Установка АС-3-1000	«Микро- силема- ДМ» (Рос- сия)	Комплект оборудования ООО «СПиКо» (Россия)	WA- MHW37 /200 (Китай)	WA- MHW45 /300 (Китай)	WA- MHW55 /400 (Китай)		
Производи- тельность, кг/ч	марка 300- <100	марка 300- <200	100	0,05-2 м <sup>3</sup> /ч	500	200-300	300-400	400-500		
	марка 150- < 50	марка 150- < 100	500							
	марка 100- < 40	марка 100- < 80	60х30							
Размер сырьья на входе, мм	ø < 40	ø < 50	60х30 х5	20	опилки, струж- ки, щепы, неде- ловая древе- сина(балансы, горбыль и т.д.)	10	10	10		
Допустимая влажность, %, не более	6	6	50	30	50	10	10	10		
Мощность двигателя, кВт	30+7.5+2	55+11+5.5	100- 150	38,8	245	145	45	55		
Размеры, мм	7000×2500 ×4300	7000×2800 ×4300		5370×2170 ×3160	30000×20500× 8700	19000× 14000× 8700	—	—		

Исходные данные для расчетов поставов при пилении с брусковкой

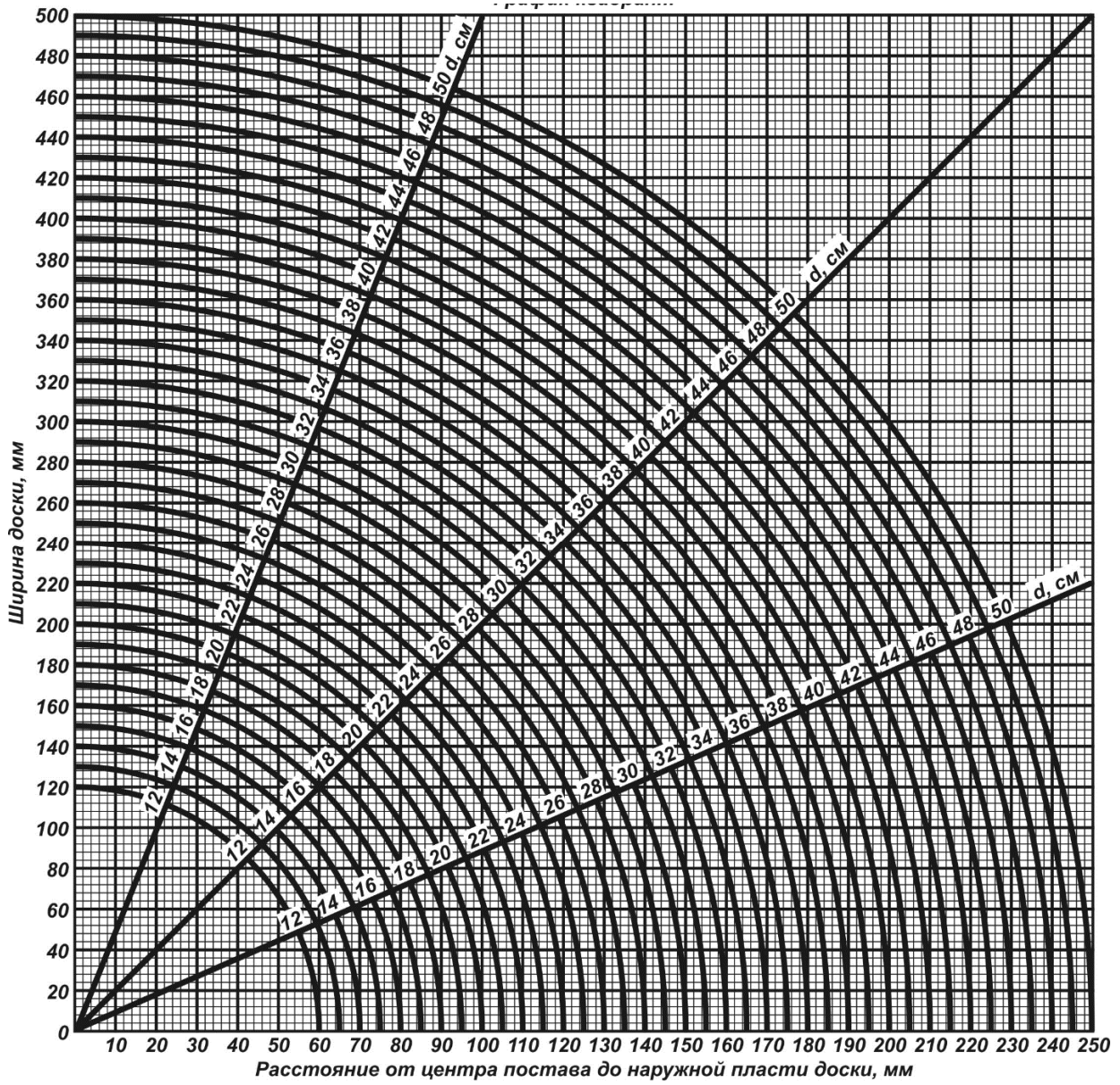
Исходные данные	Номера вариантов заданий					
	1	2	3	4	5	6
Диаметр бревна, $d$ , см	24	20	20	26	18	32
Длина бревна, $l$ , м	6	6	6	5	5	5
I проход	$\frac{19}{1} \frac{25}{1} \frac{150}{1} \frac{25}{1} \frac{19}{1}$	$\frac{19}{1} \frac{25}{1} \frac{100}{1} \frac{25}{1} \frac{19}{1}$	$\frac{19}{2} \frac{125}{1} \frac{19}{2}$	$\frac{25}{1} \frac{200}{1} \frac{25}{1}$	$\frac{19}{1} \frac{125}{1} \frac{19}{1}$	$\frac{25}{2} \frac{225}{1} \frac{25}{2}$
II проход	$\frac{19}{1} \frac{25}{1} \frac{50}{3} \frac{25}{1} \frac{19}{1}$	$\frac{19}{2} \frac{50}{2} \frac{19}{2}$	$\frac{19}{1} \frac{25}{1} \frac{100}{1} \frac{25}{1} \frac{19}{1}$	$\frac{16}{2} \frac{60}{3} \frac{16}{2}$	$\frac{19}{2} \frac{32}{3} \frac{19}{2}$	$\frac{16}{3} \frac{50}{4} \frac{16}{3}$
Исходные данные	Номера вариантов заданий					
Диаметр бревна, $d$ , см	7	8	9	10	11	12
Длина бревна, $l$ , м	6	6	6	6	6	5
I проход	$\frac{19}{2} \frac{100}{1} \frac{19}{2}$	$\frac{19}{1} \frac{25}{1} \frac{175}{1} \frac{25}{1} \frac{19}{1}$	$\frac{19}{1} \frac{25}{1} \frac{225}{1} \frac{25}{1} \frac{19}{1}$	$\frac{19}{1} \frac{150}{1} \frac{19}{1}$	$\frac{22}{2} \frac{200}{1} \frac{22}{2}$	$\frac{25}{1} \frac{125}{1} \frac{25}{1}$
II проход	$\frac{19}{1} \frac{63}{2} \frac{19}{1}$	$\frac{19}{1} \frac{25}{1} \frac{44}{4} \frac{25}{1} \frac{19}{1}$	$\frac{19}{1} \frac{25}{1} \frac{63}{3} \frac{25}{1} \frac{19}{1}$	$\frac{25}{1} \frac{44}{3} \frac{25}{1}$	$\frac{22}{2} \frac{75}{3} \frac{22}{2}$	$\frac{25}{1} \frac{32}{4} \frac{25}{1}$

Приложение 16

Объем бревен по ГОСТ 2708-75

Диаметр бревна, см	Объем бревен, м <sup>3</sup>						
	при длине бревен, м						
	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
14	0,073	0,084	0,097	0,110	0,123	0,135	0,150
16	0,096	0,110	0,124	0,140	0,155	0,172	0,189
18	0,120	0,138	0,156	0,175	0,194	0,210	0,230
20	0,147	0,170	0,19	0,21	0,23	0,26	0,28
22	0,178	0,20	0,23	0,25	0,28	0,31	0,34
24	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36	0,40
26	0,25	0,28	0,32	0,35	0,39	0,43	0,46
28	0,29	0,33	0,37	0,41	0,45	0,49	0,53
30	0,33	0,38	0,42	0,47	0,52	0,56	0,61
32	0,38	0,43	0,48	0,53	0,59	0,64	0,70
34	0,43	0,49	0,54	0,60	0,66	0,72	0,78
36	0,48	0,54	0,60	0,67	0,74	0,80	0,88
38	0,53	0,60	0,67	0,74	0,82	0,90	0,97
40	0,58	0,66	0,74	0,82	0,90	0,99	1,07
42	0,64	0,73	0,81	0,90	1,00	1,08	1,18
44	0,70	0,80	0,89	0,99	1,09	1,20	1,30
46	0,77	0,87	0,98	1,08	1,19	1,30	1,41
48	0,84	0,95	1,06	1,18	1,30	1,41	1,54
50	0,91	1,03	1,15	1,28	1,41	1,54	1,67
52	0,99	1,12	1,25	1,39	1,53	1,67	1,81
54	1,07	1,21	1,35	1,50	1,65	1,80	1,96
56	1,16	1,31	1,46	1,62	1,78	1,95	2,11
58	1,25	1,41	1,57	1,74	1,91	2,08	2,27
60	1,33	1,51	1,68	1,86	2,05	2,23	2,42

График – квадрант для расчета поставов



## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	5
Практическая работа №1	
ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЩЕПЫ И ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К НЕЙ .....	7
1. Классификация древесных частиц .....	7
2. Классификация щепы.....	8
Практическая работа №2	
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В ДИСКОВЫХ РУБИЛЬНЫХ МАШИНАХ.....	14
1. Особенности процесса резания древесины в дисковых рубильных машинах [7].....	14
2. Образования элементов щепы в рубильной машине.....	19
Практическая работа №3	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ СТАЦИОНАРНОЙ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ .....	23
Практическая работа №4	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПЕРЕДВИЖНОЙ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ .....	29
Практическая работа №5	
ПЕРЕРАБОТКА КУСКОВЫХ ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ЩЕПУ .....	36
1. Общие сведения об отходах лесопиления .....	36
2. Техничко-экономический анализ переработки кусковых отходов на технологическую щепу и мелкую пилопродукцию .....	37
Практическая работа №6	
ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АРБОЛИТА .....	41
1. Изучение технологии производства арболита .....	41
2. Выбор ориентировочного расхода компонентов арболитовой смеси.....	44
3. Расчет состава арболитовой смеси .....	46
Практическая работа № 7	
ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ .....	50
1. Технология производства цементно-стружечных плит .....	50
2. Определение нормативного расхода компонентов цементно-стружечной смеси .....	54
3. Расчет состава цементно-стружечной смеси.....	54

Практическая работа № 8	
ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА	
ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ.....	60
1. Технология производства топливных брикетов .....	60
2. Расчет производительности шнекового пресса [4].....	63
3. Расчет теплоты сгорания топливных брикетов.....	65
Практическая работа № 9	
ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА	
ДРЕВЕСНОЙ МУКИ .....	70
1. Технология производства древесной муки.....	70
2. Расчет необходимой производительности измельчающего	
оборудования и его выбор .....	78
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	82
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	83

Учебное издание

Кислицына Светлана Николаевна  
Самошин Андрей Павлович

## СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Учебно-методическое пособие

для выполнения практических работ по направлению подготовки  
35.03.02 «Технология лесозаготовительных  
и деревоперерабатывающих производств»

В авторской редакции  
Вёрстка Н.В. Кучина

Подписано в печать 16.06.16. Формат 60x84/16.

Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.

Усл. печ. л. 6,05. Уч.-изд. л. 6,5. Тираж 80 экз.

Заказ № 402.

---

Издательство ПГУАС.  
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.