

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**БРАТСКИЙ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫЙ КОЛЛЕДЖ**  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Специальность 15.02.12

Монтаж, техническ  
оборудования (по отраслям)

## **МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

***ПРАКТИКУМ***

*по дисциплине*  
**«ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАСЛИ»**

Братск 2019

Составила (разработала) Юдинцева Г.Н., преподаватель кафедры химико-механических дисциплин

Рассмотрено на заседании кафедры химико-механических дисциплин

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. \_\_\_\_\_

Одобрено и утверждено редакционным советом

\_\_\_\_\_  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

## Содержание

Введение .....	4
1 Лабораторная работа № 1 .....	6
2 Лабораторная работа № 2 .....	10
3 Лабораторная работа № 3 .....	15
4 Лабораторная работа № 4 .....	19
5 Лабораторная работа № 5.....	24
6 Лабораторная работа № 6.....	27
7 Практическая работа № 1 .....	32
8 Практическая работа № 2 .....	38
9 Практическая работа № 3 .....	44
10 Практическая работа № 4.....	53
Заключение .....	61
Список использованных источников .....	62
Приложение А.....	63
Приложение Б.....	67

## Введение

Учебная дисциплина «Технология отрасли» является частью основной профессиональной образовательной программы в соответствии с ФГОС по специальности СПО 15.02.01 Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)

В структуре основной профессиональной образовательной программы данная дисциплина является общепрофессиональной дисциплиной профессионального цикла.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен:

**уметь:**

знать:

– проектировать операции технологического процесса производства продукции отрасли;

– проектировать участки механических цехов;

– нормировать операции технологического процесса;

**знать:**

– принципы, формы и методы организации производственного и технологического процессов;

– технологические процессы производства типовых деталей и узлов машин.

Техник – механик должен обладать общими и профессиональными компетенциями, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Профессиональные и общие компетенции

Шифр	Содержание
1	2
ПК 1.1	Руководить работами, связанными с применением грузоподъемных механизмов, при монтаже и ремонте промышленного оборудования.
ПК 1.2	Проводить контроль работ по монтажу и ремонту промышленного оборудования с использованием контрольно-измерительных приборов.
ПК 1.3	Участвовать в пусконаладочных работах и испытаниях промышленного оборудования после ремонта и монтажа.
ПК 1.4	Выбирать методы восстановления деталей и участвовать в процессе их изготовления.
ПК 1.5.	Составлять документацию для проведения работ по монтажу и ремонту промышленного оборудования.
ПК 2.1	Выбирать эксплуатационно-смазочные материалы при обслуживании оборудования.

Продолжение таблицы 1

1	2
ПК 2.2	Выбирать методы регулировки и наладки промышленного оборудования в зависимости от внешних факторов.
ПК 2.3	Участвовать в работах по устранению недостатков, выявленных в процессе эксплуатации промышленного оборудования.
ПК 2.4	Составлять документацию для проведения работ по эксплуатации промышленного оборудования.
ПК 3.1	Участвовать в планировании работы структурного подразделения.
ПК 3.2	Участвовать в организации работы структурного подразделения.
ПК 3.3	Участвовать в руководстве работой структурного подразделения.
ПК 3.4	Участвовать в анализе процесса и результатов работы подразделения, оценке экономической эффективности производственной деятельности.
ОК 1	Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.
ОК 2	Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.
ОК 3	Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.
ОК 4	Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.
ОК 5	Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.
ОК 6	Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.
ОК 7	Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.
ОК 8	Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.
ОК 9	Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

Дисциплина «Технология отрасли» рассчитана на 96 часов теоретического обучения и 28 часов практического обучения.

Целью практического обучения является приобретение навыков и умений выполнения технологических расчетов оборудования и работы в химической лаборатории. Выполнение практических и лабораторных работ помогает глубже изучить теоретический материал и подготовиться к сдаче дифференцированного зачета.

## 1 Лабораторная работа № 1

**Тема:** *Макроскопическое строение древесины*

**Цели:** – повторить и закрепить полученные знания макроскопических признаков древесины;  
– научиться определять макроскопические признаки древесины на различных разрезах, а также внешние признаки коры различных древесных пород.

**Приборы, инструменты и реактивы:** образцы древесных пород, лупа.

### Методические указания

Древесина имеет очень сложное анатомическое строение. Поэтому ее изучают с помощью трех разрезов: *одного поперечного и двух продольных*. **Торцевой разрез (поперечный)** – плоскость этого разреза проходит поперек оси дерева. **Радиальный** – плоскость этого разреза проходит вдоль оси дерева, через его сердцевину. **Тангенциальный** – плоскость этого разреза проходит вдоль оси дерева по касательной к годичным кольцам.

**Серцевина и сердцевинные лучи.** **Серцевина** – это ось дерева вокруг, которого оно растет. Чаще всего сердцевина смещена относительно центра. Форма сердцевины у многих пород овальная или округлая, но может быть треугольная (у ольхи), четырехугольная (у ясеня), пятиугольная (у тополя), звездчатая (у дуба). На радиальном разрезе у хвойных пород имеет вид ровной трубки заполненной рыхлой тканью, у лиственных пород сердцевина извилистая. На поперечном разрезе некоторых пород видны светлые, часто блестящие направленные от сердцевины к коре линии – **серцевинные лучи**. Они есть у всех пород, но видны у некоторых. По ширине могут быть очень узкие (груша, береза, все хвойные), узкие, трудно различимые (клен, липа), широкие, хорошо видимые. На радиальном разрезе имеют вид полосок различной длины и ширины. На тангенциальном разрезе имеют веретенообразный вид. В растущем дереве служат для проведения воды в горизонтальном направлении летом и для хранения питательных веществ зимой. Количество сердцевинных лучей зависит от породы: у лиственных их в 3 раза больше, чем у хвойных.

**Ядро и заболонь.** Различают три категории пород древесины – **ядровые** (сосна, лиственница, кедр) и **безъядровые** (ель, береза). Древесина ядровых пород состоит из ядра и заболони. Центральная темноокрашенная часть ствола называется ядром, а светлая периферическая заболонью. У некоторых безъядровых пород наблюдается потемнение центральной части ствола – эта зона называется **ложным ядром**. Породу древесины можно определить по наличию ядра или его отсутствию, цвету ядра и заболони, размером заболони, переходу от ядра к заболони (он может быть плавным или резким).

**Годичные слои, ранняя и поздняя древесина.** На поперечном разрезе отчетливо видны концентрические кольца, расположенные вокруг сердцевины. Их называют **годичными слоями**. На радиальном разрезе годичные слои имеют

вид продольных полос, на тангенциальном - извилистых линий. Годичные слои нарастают ежегодно от центра к периферической зоне. Ширина годичного слоя зависит от породы, условий роста. Каждый годичный слой состоит из двух частей: внутренней обращенной к сердцевине, светлой и мягкой части – **ранней древесины** и наружной обращенной к коре, темной и твердой – **поздней древесины**. Ранняя древесина образуется весной и в начале лета и служит для проведения воды и растворенных в ней минеральных веществ. Поздняя древесина образуется в конце лета и осенью и выполняет в основном механическую функцию. От количества поздней древесины в годичном слое, зависят плотность и механические свойства древесины. Годичные слои один из признаков, по которому определяют породу древесины. При этом важное значение имеют степень видимости годичных слоев и их очертание, различие между ранней и поздней древесиной по плотности и цвету, резкость перехода ранней древесины в позднюю в пределах одного годичного слоя.

**Кора** – наружная часть дерева, служит для защиты древесины от внешних неблагоприятных факторов. Состоит из двух слоев: наружного – **корки** и внутреннего – **луба**. Цвет коры значительно темнее цвета древесины, что хорошо видно на поперечном разрезе, где кора имеет форму кольца. У различных пород цвет коры неодинаковый (у березы белый с черными пятнами, у осины зеленоватый серый). С возрастом цвет наружной части коры может меняться. У молодых растений она гладкая и тонкая, у зрелых толстая покрытая трещинами. Толщина коры уменьшается от комля к вершине. По характеру поверхности кора может быть гладкой, с трещинами, бороздчатой, чешуйчатой и т.д. По внешнему виду коры легко определить породу дерева.

### Ход работы

1. Изучить последовательно на натуральных образцах торцевой, радиальный и тангенциальный разрезы различных пород древесины. Обратить внимание на отличия в строении по всем разрезам.

2. Осмотреть сердцевину на торцевом и радиальном разрезах, определить место ее расположения относительно центра поперечного сечения. Измерить линейкой диаметр сердцевины и установить ее форму. Определить видимость и размеры сердцевинных лучей. Заполнить таблицу 2.

Таблица 2 – Характерные признаки сердцевины и сердцевинных лучей

Порода	Характерные признаки сердцевины и сердцевинных лучей			
	серцевинные лучи			серцевина
	видимость	окраска	величина	форма, цвет, размер

3. Рассмотреть образцы древесины:  
– определить наличие ядра;

- цвет ядра (при наличии) и цвет заболони;
- измерить по двум взаимно перпендикулярным диаметрам ширину ядра и заболони;
- для ядровых пород установить характер перехода от ядра к заболони;
- заполнить таблицу 3.

Таблица 3 – Макроскопические признаки ядра и заболони

Порода	Макроскопические признаки ядра и заболони					
	заболонь		ядро		Характер перехода от ядра к заболони	Категория породы
	цвет	размер	цвет	размер		

4. Рассмотреть через лупу годовичные слои хвойных и лиственных пород на основных разрезах:
- определить размеры годовичных слоев;
  - определить цвет ранней и поздней древесины, а также характер перехода от одного слоя к другому;
  - заполнить таблицу 4.

Таблица 4 – Характеристика годовичных слоев по внешним признакам

Порода	Характеристика годовичных слоев по внешним признакам					
	степень видимости	очертание на разрезах			цвет ранней и поздней древесины годовичного слоя	переход ранней древесины в позднюю
торцевой		радиальный	тангенциальный			

5. Изучить внешние признаки коры:
- определить цвет и характер поверхности;
  - заполнить таблицу 5.

Таблица 5 – Внешние признаки коры древесных пород

Порода	Внешние признаки коры древесных пород		
	цвет	характер поверхности	хрупкость, эластичность

6. Сделать выводы и защитить сделанную работу.

## Контрольные вопросы

1. Дайте определение разрезам.
2. Перечислите макроскопические признаки древесины.
3. Охарактеризовать сердцевину и сердцевинные лучи. Функции, размеры, расположение в дереве, очертание на разрезах.
4. Охарактеризовать ядро и заболонь. Функции, размеры, расположение в дереве, очертание на разрезах.
5. Охарактеризовать годичные слои, их строение. Функции, размеры, расположение в дереве, очертание на разрезах.
6. Строение коры дерева. Функции, характер поверхности, толщина.

## 2 Лабораторная работа № 2

**Тема:** *Физические свойства древесины*

**Цели:** – повторить и закрепить полученные знания физических свойств древесины;

– научиться опытным и расчетным путем определять физические свойства (плотность и влажность) различных пород древесины;

– знать влияние различных факторов на качественные характеристики древесного сырья.

**Приборы, инструменты и реактивы:** образцы древесины, аналитические весы, сушильный шкаф, эксикатор, линейка, фильтровальная бумага.

### Методические указания

Из физических свойств древесины особое значение имеют плотность и влажность. **Плотность** – это отношение массы образца к занимаемому объему ( $\text{г/см}^3$  или  $\text{кг/м}^3$ ). По плотности различают три категории пород: *легкие* – плотность менее  $540 \text{ кг/м}^3$  (сосна, ель), *среднетяжелые* – плотность  $550\text{-}740 \text{ кг/м}^3$  (лиственница, береза, дуб) и *тяжелые* – плотность более  $750 \text{ кг/м}^3$  (акация, граб, груша). Различают плотность *древесинного вещества* и *древесины*.

**Плотность древесинного вещества** (плотность клеточных стенок) не зависит от породы т.к. все породы имеют одинаковое строение клеточной стенки трахеиды. Плотность древесинного вещества равна  $1,53 - 1,54 \text{ г/см}^3$ .

Плотность древесины зависит от *породы дерева, места произрастания, влажности*. Плотность древесины всегда меньше плотности древесинного вещества, так как дерево имеет пустоты. Количество пустот в древесине, выраженное в процентах, называется **пористостью древесины**.

Плотность древесины необходимо учитывать при транспортировке древесины сплавом. Нельзя формировать плоты из лиственных пород, необходимо изготавливать их с подсплавом из хвойной древесины. Большое значение имеет плотность древесины при варке целлюлозы, так как древесина различной плотности пропитывается варочным раствором неодинаково и проваривается неравномерно.

**Влажность древесины** – это содержание воды в древесине в процентах по отношению к массе абсолютно сухой древесины. Различают следующие виды влаги: *связанная* и *свободная*. Связанная влага содержится между целлюлозными микрофибриллами, а свободная в полостях клеток и в межклеточном пространстве. По степени влажности древесина бывает:  $W = 100$  % *мокрая древесина* (долгое время находившаяся в воде);  $W = 10 - 50$  % *свежесрубленная древесина*;  $W = 15 - 20$  % *воздушно - сухая древесина* (находившаяся на воздухе),  $W = 8 - 12$  % *комнатно - сухая древесина*

(находящаяся в помещении);  $W = 0$  % абсолютно сухая древесина (высушенная до абсолютно сухого состояния при температуре  $105 \pm 3$  °С).

## Ход работы

### Практическая часть

#### 1 Определение плотности и пористости древесины

1.1 Измерить размеры образцов: ширину, длину и высоту. Рассчитать объем образцов древесины по формуле

$$V = a \cdot b \cdot c, \quad (1)$$

где  $V$  – объем образца древесины  $\text{см}^3$ ;

$a$  – длина образца, см;

$b$  – ширина образца, см;

$c$  – высота образца, см.

1.2 Взвесить образцы и определить массу каждого.

1.3 Рассчитать значения плотности древесины по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность древесины  $\text{г/см}^3$ ;

$m$  – масса образца древесины, г;

$V$  – объем образца древесины,  $\text{см}^3$ .

1.4 Определить пористость древесины по формуле

$$П = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_{д.в.}}\right), \quad (3)$$

где  $П$  – пористость древесины %;

$\rho_0$  – плотность абсолютно сухой древесины, длина образца,  $\text{г/см}^3$ ,  $\text{кг/м}^3$  (таблица б);

$\rho_{д.в.}$  – плотность древесинного вещества,  $\text{г/см}^3$ ,  $\text{кг/м}^3$ .

Таблица 6 – Средние значения плотности древесины

Порода	Плотность абсолютно сухой древесины, кг/м <sup>3</sup>	Плотность $\rho_{12}$ , кг/м <sup>3</sup>
Лиственница	630	660
Сосна обыкновенная	470	500
Ель	420	445
Кедр	410	435
Пихта сибирская	350	375
Граб	760	800
Дуб	650	690
Клен	650	690
Ясень обыкновенный	640	680
Бук	640	670
Береза	600	650
Липа	470	495
Ольха	490	530
Осина	470	495

1.5 Результаты замеров и вычислений занести в таблицу 7.

Таблица 7 – Сводная таблица

Номер образца и порода	Длина образца (а), см	Ширина образца (b), см	Высота образца (с), см	Объем образца V, см <sup>3</sup>	Масса образца m, г	Плотность образца $\rho$		Пористость образца П, %
						г/см <sup>3</sup>	кг/м <sup>3</sup>	

## 2 Определение влажности древесины

2.1 Взвесить образец древесины на аналитических весах и записать массу.

2.2 Поместить образец древесины в сушильный шкаф для высушивания в течении 3 часов. Затем охладить образец в эксикаторе до комнатной температуры и взвесить повторно.

2.3 Рассчитать влажность исследуемого образца древесины по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100, \quad (4)$$

где W – влажность древесины %;

$m_1$  – масса образца до высушивания, г;

$m_2$  – масса образца после высушивания, г.

2.4 Вычислить плотность образца при найденном значении влажность по формулам

если W = 0 ... 30 %

$$\rho_w = \frac{\rho_{12}}{1,048 - 0,004 \cdot W}, \quad (5)$$

если W более 30 %

$$\rho_w = \frac{\rho_{12}}{1,060 - 0,005 \cdot W}, \quad (6)$$

где  $\rho_w$  – плотность древесины при найденной влажности, г/см<sup>3</sup>, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_{12}$  – плотность древесины при  $W = 12\%$ , г/см<sup>3</sup>, кг/м<sup>3</sup> (таблица 6).

2.5 Результаты определения влажности и плотности древесины занести в таблицу 8.

Таблица 8 – Результаты определения влажности и плотности древесины

Номер образца	Масса образца древесины, г		Влажность древесины, %	Плотность древесины, г/см <sup>3</sup>
	до высушивания	после высушивания		

### Теоретическая часть

#### Задача 1

Образец при влажности  $W$  имеет размеры  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и массу  $m$ . Определить его плотность и пористость.

Таблица 9 – Варианты заданий

Номер варианта	$W$ , %	$a$ , см	$b$ , см	$c$ , см	Масса, г
1	15	5	10	5	130,6
2	20	7	7	8	300,9
3	25	8	2	4	40,8
4	22	2	4	6	17,1
5	24	4	6	5	55,9
6	32	6	8	2	45,4
7	35	5	4	4	46,5
8	21	4	6	3	39,3
9	30	6	5	5	112,2
10	17	3	5	2	13,5

#### Задача 2

Образец древесины во влажном состоянии весил  $m_1$  г., после высушивания –  $m_2$  г. Определить влажность и плотность древесины при полученной влажности.

Таблица 10 – Варианты заданий

Номер варианта	Порода древесины	Масса до высушивания $m_1$ , г.	Масса после высушивания $m_2$ , г.
1	Лиственница	110	70
2	Сосна обыкновенная	100	75
3	Ель	75	51
4	Кедр	80	55
5	Пихта сибирская	92	55
6	Граб	87	47
7	Дуб	96	80
8	Береза	98	80
9	Липа	55	40
10	Ольха	58	44

## Контрольные вопросы

1. Дайте определение влажности древесины. Назовите виды и степени влажности.
2. Способы удаления влаги из древесины. Влияние влажности на свойства древесины.
3. Плотность древесины и плотность древесинного вещества. Единицы измерения.
4. Охарактеризуйте зависимость плотности от влажности древесины. Ответ мотивируйте.
5. Пористость древесины. Единицы измерения.

### 3 Лабораторная работа № 3

**Тема:** *Определение фракционного и фаутного состава щепы*

**Цель:** – научиться опытным путем определять фракционный и фаутный (породный) состав щепы;  
– определить соответствие анализируемой щепы требованиям ГОСТ.

**Приборы, инструменты и реактивы:** навеска щепы, технические весы, анализатор ситовый механический марки АЛГ - М, набор сит с отверстиями диаметром 30, 20, 10, 5 мм и поддоны, стакан фарфоровый вместимостью 500 см<sup>3</sup>, стакан сетчатый со сквозными отверстиями вместимостью 500 см<sup>3</sup>, кислота соляная (HCl) по ГОСТ 3118 - 77 12 % раствор, калий марганцевокислый (KMnO<sub>4</sub>) по ГОСТ 20490 - 75 1 % раствор, аммиак по ГОСТ 3760 - 79 1 % раствор, фильтровальная бумага.

#### Методические указания

На щепу технологическую, предназначенную для целлюлозно-бумажного и гидролизного производств, изготовления древесностружечных и древесноволокнистых плит, распространяется стандарт **ГОСТ 15815 - 83**. В соответствии с указанным стандартом щепа для ЦБП и ДВП должна быть без мытых кромок, угол среза должен быть равен 30 – 60°. Количество щепы, не соответствующей указанным требованиям, не должно превышать 30 % от объема партии.

Щепа принимается по определенным правилам. Партией считается количество щепы одной марки, оформленное одним документом о качестве. Размер партии определяется по согласованию с потребителем. Учет технологической щепы производят в кубических метрах плотной массы с округлением до 0,01 м<sup>3</sup>.

Документ о качестве должен содержать:

- наименование предприятия изготовителя, его товарный знак и местонахождение;
- наименование ведомства или предприятия, в систему которого входит предприятие - изготовитель;
- марку и породу технологической щепы;
- количество щепы в плотных кубических метрах;
- результаты испытаний;
- обозначение настоящего стандарта.

Для проверки качества щепы отбирают 10 точечных проб общей массой  $10 \pm 1$  кг из различных мест партии, равномерно расположенных по всей партии или через равные промежутки времени (в случае разгрузки щепы ленточным транспортером).

Приемо-сдаточные испытания проводят по следующим показателям:

- массовая доля коры и гнили;
- массовая доля остатков на ситах;

- содержание обугленных частиц и металлических включений.

Периодические испытания проводят по требованию потребителя, определяя:

- состав щепы по породам;
- содержание минеральных примесей;
- массовую долю щепы с мягкими кромками; угол среза.

## Ход работы

### 1. Определение массовой доли коры и гнили

Из навески щепы массой 1 кг, отобранной из партии, выбирают частицы, полностью состоящие из коры или гнили и щепу с частичным наличием коры или гнили. Кору и гниль отделяют от щепы и взвешивают. Массовую долю коры и гнили (X) в % вычисляют по формуле

$$X = \frac{m_1 \cdot 100}{m}, \quad (7)$$

где X – массовая доля коры и гнили, %;

$m_1$  – масса коры и гнили, г.

m – масса навески с корой и гнилью, г.

Результаты вычисления определяют до первого десятичного знака.

### 2. Определение фракционного состава щепы

Определение проводят с навеской, лишенной гнили и коры. При подготовке к анализу щепу, ширина которой превышает ее длину, доизмельчают вручную. Длиной щепы считают размер по направлению волокон. Набор сит устанавливают на подвижном основании анализатора. Навеску без коры и гнили высыпают на верхнее сито набора. Набор сит затягивают стяжками, включают аппарат и сортируют навеску в течение 1 минуты. После полной остановки анализатора остатки на ситах взвешивают с погрешностью не более 1 г. Массовую долю остатков на ситах  $X_1$  в % вычисляют по формуле

$$X_1 = \frac{m_1 \cdot 100}{m}, \quad (8)$$

где  $X_1$  – массовая доля остатка на одном из сит, %;

$m_1$  – масса остатка на одном из сит, г.

m – масса навески без коры и гнили, г.

Результаты определений округляют до первого десятичного знака.

### 3. Определение массовой доли хвойных и лиственных пород древесины

После проведения испытаний по определению фракционного состава отбирают 100 г щепы, оставшейся на сите анализатора с отверстиями 10 мм. Щепу помещают в сетчатый стакан, который устанавливают в фарфоровый стакан и заливают 1 % раствором перманганата калия  $KMnO_4$  с таким расчетом, чтобы вся проба была покрыта раствором. Через 2 минуты сетчатый стакан вынимают и промывают проточной водой до полного удаления раствора. После этого пробу в течение 2 минут обрабатывают 12 % раствором соляной кислоты  $HCl$  и снова промывают. Затем пробу обрабатывают 1 % раствором аммиака  $NH_4OH$  в течение 1 минуты без промывки водой. Обработанная таким образом щепа приобретает определенный цвет: лиственных пород – пурпурно-красную окраску, а хвойных – желтую. После обработки щепу слегка отжимают фильтровальной бумагой, сортируют по цвету и взвешивают. Массовую долю лиственных пород вычисляют по формуле

$$X_l = \frac{m \cdot 100}{m + m_1}, \quad (8)$$

где  $X_k$  – массовая доля лиственных пород, %;

$m$  – масса щепы лиственных пород, г.

$m_1$  – масса щепы хвойных пород, г.

Результаты определений округляют до первого десятичного знака.

Массовую долю хвойных пород вычисляют по формуле

$$X_x = 100 - X_l, \quad (9)$$

где  $X_x$  – массовая доля хвойных пород, %.

### 4. Анализ полученных результатов

Результаты определений и расчетов занести в таблицы 11, 12.

Таблица 11 – Сводная таблица определений и расчетов

Масса навески щепы, г	Масса коры и гнили, г	Массовая доля коры и гнили, %

Таблица 12 – Сводная таблица определений и расчетов

Масса остатков на ситах, г					$X_l$ , %	$X_x$ , %
диаметр отверстий сит, мм						
30 (крупная)	20 (нормальная)	10 (нормальная)	5 (мелкая)	поддоны		

### 5. Сделать вывод о соответствии анализируемой щепы требованиям ГОСТ. Защитить лабораторную работу

## Контрольные вопросы

1. Правила отбора проб щепы.
2. Качественные показатели технологической щепы.
3. Методика определения фракционного состава щепы.
4. Методика определения фаутного состава щепы.
5. Расчетные формулы.
6. Влияние основных характеристик щепы на качество готовой продукции.

## 4 Лабораторная работа № 4

**Тема:** *Определение основных показателей белых щелоков*

**Цель:** – *изучить качественные показатели щелоков;*

– *опытным путем определить значения основных показателей;*

– *изучить и закрепить умения и навыки работы с лабораторным оборудованием и приборами.*

**Приборы, инструменты и реактивы:** хлористый барий ( $\text{BaCl}_2$ ) 20 % раствор, кислота соляная ( $\text{HCl}$ ) 0,2 Н и 0,5 Н раствор; индикаторы (фенолфталеин, метиловый оранжевый, крахмал); раствор йода ( $\text{I}_2$ ) 0,1 Н раствор, уксусная кислота ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) 2:5; тиосульфат натрия ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) 0,1 Н раствор; дистиллированная вода; конические колбы на 250 мл, мерная колба на 250 мл, пипетки разного объема, бюретка, стакан измерительный, груша, цилиндр.

### Методические указания

Варочный раствор, применяемый при сульфатной варке, состоит из смеси свежего, или *белого щелока*, приготовленного в системе регенерации химикатов, и отработанного, или *черного щелока*. Черный щелок добавляется в варочный раствор для поддержания необходимого гидромодуля (отношение жидкости к массе абсолютно сухой древесины). Для периодической варки примерно 4:1, непрерывной 2,5:1.

**Белый щелок** имеет сложный состав, основными компонентами которого являются:  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Так в состав белого щелока входят несколько компонентов, то для характеристики его состава вводится условная величина – единица  $\text{Na}_2\text{O}$  (эквивалент натриевых соединений). Для характеристики белого щелока применяют следующие показатели:

**1) Общая щелочь (ОЩ)** – сумма всех солей натрия содержащаяся в белом щелоке, в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$



**2) Общая титруемая щелочь (ОТЩ)** – сумма едкого натра, сульфида натрия и карбоната натрия в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$

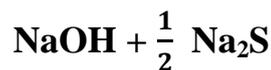


**3) Активная щелочь (АЩ)** – сумма едкого натрия и сульфида натрия в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$



**4) Эффективная щелочь (ЭЩ)** – сумма едкого натрия и половины

сульфида натрия в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$



Соотношение между основными компонентами щелока выражается степенями или в %:

**1) Степень активности** – показывает содержание активной части белого щелока в общем составе всей щелочи белого щелока (соотношение активной щелочи к общей щелочи белого щелока)

$$A = \frac{\text{АЩ}}{\text{ОЩ}} = \frac{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}}{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4}, \quad (10)$$

**2) Степень сульфидности** – показывает содержание сульфида натрия в активной части белого щелока

$$S = \frac{\text{Na}_2\text{S}}{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}}, \quad (11)$$

**3) Степень каустизации** – характеризует переход неактивного карбоната натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), содержащего в зеленом щелоке, в активную гидроксид натрия ( $\text{NaOH}$ ) белого щелока.

$$K = \frac{\text{NaOH}}{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3}, \quad (12)$$

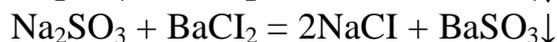
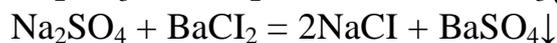
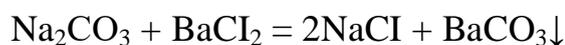
**4) Степень восстановления** – характеризует перевод неактивного сульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), добавляемого в процессе сжигания черного щелока для восстановления потерь щелочи, в активный сульфид натрия ( $\text{Na}_2\text{S}$ ), (показывает какая часть  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  восстановилась до  $\text{Na}_2\text{S}$ ).

$$B = \frac{\text{Na}_2\text{S}}{\text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_4}, \quad (13)$$

## Ход работы

### 1. Определение активной и эффективной щелочи

Метод основан на осаждении хлористым барием ( $\text{BaCl}_2$ ) из белого щелока следующих компонентов



Оставшиеся компоненты  $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$  в водном растворе подвергаются гидролизу



В присутствии индикатора фенолфталеина оттитровывается  $\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{S}$  и весь  $\text{NaOH}$ , в присутствии метилового оранжевого весь  $\text{Na}_2\text{S}$  и весь  $\text{NaOH}$ .

В мерную колбу на 250 мл поместить 100 мл дистиллированной воды, 25 мл отстоявшего белого щелока и 15 мл раствора хлористого бария. Объем довести до метки и перемешать. Раствору дать отстояться.

В коническую колбу на 250 мл отобрать пипеткой 10 мл анализируемого раствора, прибавить 2 – 3 капли фенолфталеина и титровать раствором  $\text{HCl}$  до обесцвечивания. Отметить объем пошедший на титрование ( $V_1$  – соответствует содержанию  $\text{NaOH}$  и  $\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{S}$  в белом щелоке). Затем добавить 2 – 3 капли раствора метилового оранжевого и продолжить титрование 0,2 Н раствором  $\text{HCl}$  до перехода окраски в золотисто – розовую. Объем израсходованный на титрование ( $V_2$  – соответствует содержанию  $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$  в белом щелоке) отметить. Расчет эффективной и активной щелочи ( $\text{г/дм}^3 \text{Na}_2\text{O}$ ) произвести по формулам

$$E = \frac{0,0062 \cdot 1000 \cdot 250 \cdot V_1}{250}, \quad (14)$$

$$A = \frac{0,0062 \cdot 1000 \cdot 250 \cdot V_2}{250}, \quad (15)$$

где  $V_1$  – объем 0,2 Н раствора  $\text{HCl}$ , израсходованный на титрование анализируемого раствора в присутствии фенолфталеина, мл;

$V_2$  – объем 0,2 Н раствора  $\text{HCl}$ , израсходованный на титрование анализируемого раствора в присутствии метилового оранжевого, мл;

0,0062 – количество  $\text{Na}_2\text{O}$ , соответствующее точно 1 мл 0,2 Н раствора  $\text{HCl}$ .

## 2. Определение массовой концентрации общей щелочи

При титровании пробы белого щелока  $\text{HCl}$  оттитровывается сумма следующих соединений  $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} + \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{Na}_2\text{SiO}_3$ .

В коническую колбу вместимостью 250 мл налить 50 мл дистиллированной воды и внести пипеткой, предварительно ополоснув ее анализируемым раствором, 2 мл отстоявшегося белого щелока. Добавить 2 – 3 капли индикатора метилового оранжевого и титровать 0,5 Н раствором  $\text{HCl}$  при тщательном перемешивании. Титрование вести медленно, чтобы уловить момент, когда от одной капли соляной кислоты первоначально чисто – желтый раствор приобретет золотисто – розовый оттенок. Массовую концентрацию общей щелочи белого щелока в  $\text{г/дм}^3$  ед.  $\text{Na}_2\text{O}$  определяют по формуле

$$O = \frac{a \cdot 0,0155 \cdot 1000}{V}, \quad (16)$$

где  $a$  – количество 0,5 Н раствора HCl, пошедшее на титрование, мл;  
 0,0155 – количество Na<sub>2</sub>O, соответствующее 1 мл точно 0,5 Н раствору, г;  
 $V$  – объем белого щелока, взятого для анализ, мл.

### 3. Расчет массовой концентрации компонентов белого щелока

На основании проведенных анализов по определению активной, эффективной и общей щелочи рассчитать следующие компоненты белого щелока:

- а) массовая концентрация соды (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) в белом щелоке  
 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = «О» – «А», г/дм<sup>3</sup> ед. Na<sub>2</sub>O;  
 б) массовая концентрация щелочи (NaOH) в белом щелоке  
 NaOH = «А» – «Na<sub>2</sub>S».

### 4. Определение массовой концентрации Na<sub>2</sub>S в белом щелоке

Сущность метода заключается в том, что йод окисляет вещества входящие в состав белого щелока, обладающие восстановительными свойствами – сульфид натрия Na<sub>2</sub>S.

В колбу помещают 200 мл воды во избежание потерь сероводорода, 10 мл уксусной кислоты 2:5 и 30 мл 0,1 Н раствора йода. Растворы перемешивают и смесь осторожно, при перемешивании, вносят 2 мл отстоявшегося белого щелока. Смесь помещают в темное место на 5 минут, а затем оттитровывают избыток йода 0,1 Н раствором тиосульфата натрия до соломенно – желтого цвета, после чего прибавляют 2 мл крахмала и продолжают титровать до обесцвечивания. Содержание Na<sub>2</sub>S в г/дм<sup>3</sup> ед. Na<sub>2</sub>O ведет по формуле

$$Na_2S = \frac{(b \cdot k_1 - c \cdot k_2) \cdot 0,0031 \cdot 1000}{V}, \quad (17)$$

где  $b$  – количество йода, добавленного к анализируемому щелоку, мл;  
 $c$  – количество тиосульфата, пошедшего на титрование (после добавления крахмала), мл;  
 $k_1$  и  $k_2$  – поправка к титру 0,1 Н раствора йода и тиосульфата;  
 $V$  – объем белого щелока, взятого для анализа, мл.

### 5. Сделать вывод о проделанной работе.

Сравнить результаты определения основных показателей белого щелока с данными ГОСТ, представленными в таблице 13.

Таблица 13 – Основные показатели белого щелока

Показатель	Состав	Норматив	Результаты определений	Соответствие данным ГОСТ
1. Общая щелочь	$\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3$	115 – 120 г/л ед. $\text{Na}_2\text{O}$		
2. Активная щелочь	$\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$	90 – 110 г/л ед. $\text{Na}_2\text{O}$		
3. Эффективная щелочь	$\text{NaOH} + \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{S}$	50 – 60 г/л ед. $\text{Na}_2\text{O}$		
4. $\text{Na}_2\text{CO}_3$		15 – 20 г/л ед. $\text{Na}_2\text{O}$		
5. $\text{Na}_2\text{S}$		40 – 43 г/л ед. $\text{Na}_2\text{O}$		
6. $\text{NaOH}$		60 – 70 г/л ед. $\text{Na}_2\text{O}$		

### Контрольные вопросы

1. Что является варочным раствором при сульфатном способе производства целлюлозы?
2. Назовите основные компоненты белого щелока.
3. Какие показатели применяют для характеристики белого щелока?
4. Какими степенями характеризуются соотношения отдельных компонентов белого щелока?

## 5 Лабораторная работа № 5

**Тема:** *Промывка целлюлозы*

**Цель:** – *произвести промывку целлюлозной массы;*

– *определить остаточную щелочность в черном щелоке и фильтрах;*

– *построить график изменения остаточной щелочности целлюлозной массы от числа промывок;*

– *выявить факторы, оказывающие влияние на качество промывки;*

– *сделать вывод о качестве произведенного процесса промывки.*

**Приборы, инструменты и реактивы:** водоструйный насос, воронка Бюхнера, мерная колба объемом 250 мл, пипетки (2мл, 5мл, 10 мл) стаканы измерительные объемом 100 мл (4 шт), стеклянная палочка, бюретка, соляная кислота (НСI) 0,1 Н раствор, индикатор - метиловый оранжевый, электрическая плитка.

### Методические указания

В процессе промывки целлюлозы происходит отделение отработанного черного щелока от сваренной целлюлозной массы, поэтому промывку следует считать первой стадией регенерации затраченной на варку щелочи, содержащейся в отработанном черном щелоке. Задачи промывки состоят в следующем: отделить целлюлозную массу от черного щелока и как можно меньше разбавить черный щелок и собрать его в виде концентрированного неразбавленного раствора (т.к. щелок в дальнейшем подвергается выпариванию, сжиганию и регенерации).

Процесс промывки целлюлозной массы осуществляется противоточно на барабанных фильтрах в несколько ступеней. Эффективность промывки зависит от концентрации массы и ее вида, температуры и расхода промывной жидкости. Масса, поступающая на промывку, должна иметь концентрацию 0,9 – 1,2 % (0,9 – 1,2 гр. воздушно - сухой целлюлозы в 100 гр. суспензии), температура промывной жидкости 70 – 80°C (при более высокой температуре возможен срыв вакуума, при более низкой усиливается пенообразование). Расход воды на промывку зависит от вида целлюлозы и принимается равным 10 – 12 м<sup>3</sup>/т.

Качественным показателем промывки является содержание остаточной щелочи в массе «О» г/дм<sup>3</sup> ед. Na<sub>2</sub>O. Теоретическое значение составляет 0,2 – 0,4 г/дм<sup>3</sup> ед. Na<sub>2</sub>O, практическое значение 0,6 – 0,8 г/дм<sup>3</sup> ед. Na<sub>2</sub>O.

## Ход работы

### 1. Определить остаточную щелочность «О» неразбавленного черного щелока

Суспензию целлюлозы в черном щелоке тщательно перемешать стеклянной палочкой и подогреть до температуры 70 – 80 °С, не прекращая перемешивания, (нагревание черного щелока следует вести с большой осторожностью, т.к. при нагревании щелок может выбросить из стакана, поэтому при первых признаках вскипания, необходимо отставить стакан и уменьшить нагревание электрической плитки).

Нагретую суспензию перенести на воронку Бюхнера и отфильтровать под вакуумом. Черный щелок отобрать в стакан, охладить до комнатной температуры и определить остаточную щелочность.

Отобрать пипеткой 5 мл остывшего неразбавленного черного щелока, перенести в мерную колбу объемом 250 мл и довести объем раствора дистиллированной водой до метки, закрыть резиновой пробкой и перемешать. Затем отобрать пипеткой 10 мл приготовленного раствора, перенести в коническую колбу на 250 мл, добавить цилиндром 50 мл воды, 2 – 3 капли индикатора метилового оранжевого и оттитровать раствором соляной кислоты (НСІ), до изменения окраски индикатора из желтой в золотисто – розовую. Содержание остаточной щелочности «О» в г/дм<sup>3</sup> ед. Na<sub>2</sub>O неразбавленного черного щелока определяют по формуле

$$O = \frac{A \cdot 0,0031 \cdot 1000}{0,2}, \quad (18)$$

где O - содержание остаточной щелочности, г/дм<sup>3</sup> ед.;

A – количество 0,1 Н раствора НСІ, пошедшей на титрование, мл;

0,2 – объем неразбавленного черного щелока, взятого для анализа, мл.

### 2. Провести промывку целлюлозы и определить остаточную щелочность фильтратов

Колбу Бюхнера ополоснуть водой, целлюлозную папку из воронки Бюхнера поместить в стакан, добавить горячей воды, тщательно перемешать и снова отфильтровать на воронке Бюхнера. Фильтрат из воронки собрать в стакан №1 (фильтрат № 1). Промывку целлюлозы повторить еще 2 раза. Каждый раз ополаскивая колбу и отбирая фильтраты, соответственно в стаканы № 2, № 3 (фильтрат № 2, № 3). После отбора трех фильтратов определить остаточную щелочность каждого.

Для определения остаточной щелочности необходимо пипеткой отобрать фильтрат и перенести в коническую колбу на 250 мл (фильтрат № 1 – отобрать 2 мл, фильтрат № 2 – 5 мл, фильтрат № 3 – 10 мл). Добавить цилиндром 50 мл дистиллированной воды, 2 – 3 капли индикатора метилового

оранжевого и титровать 0,1 Н раствором соляной кислоты до изменения окраски из желтой в золотисто – розовую.

Содержание остаточной щелочности «О», г/дм<sup>3</sup> ед. Na<sub>2</sub>O фильтрата определяют по формуле

$$O = \frac{A \cdot 0,0031 \cdot 1000}{V}, \quad (19)$$

где А – количество 0,1 Н раствора HCl, пошедшей на титрование, мл;

V – объем фильтрата, взятого для анализа, мл.

Определение и расчет остаточной щелочности фильтрата № 2 и фильтрата № 3 проводят аналогичным способом.

### **3. Построить график зависимости остаточной щелочности от числа промывок**

По результатам титрования строят график изменения остаточной щелочности черного щелока и фильтратов, откладывая на оси абсцисс номер фильтрата, на оси ординат – значение остаточной щелочности.

### **4. Сделать вывод и защитить лабораторную работу.**

#### **Контрольные вопросы**

1. Цели промывки целлюлозы.
2. Качественный показатель промывки.
3. Принцип многоступенчатой промывки на барабанных фильтрах.
4. Факторы, влияющие на процесс промывки.

## 6 Лабораторная работа № 6

**Тема:** *Определение основных показателей зеленых щелоков*

**Цель:** – *изучить качественные показатели зеленых щелоков;*

– *опытным путем определить значения основных показателей;*

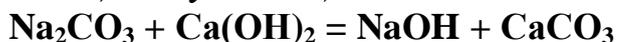
– *изучить и закрепить умения и навыки работы с лабораторным оборудованием и приборами.*

**Приборы, инструменты и реактивы:** хлористый барий ( $\text{BaCl}_2$ ) 20 % раствор, кислота соляная ( $\text{HCl}$ ) 0,2 Н и 0,5 Н раствор; индикаторы (фенолфталеин, метиловый оранжевый, хромоген черный); дистиллированная вода; трилон Б 0,1 Н раствор; аммиачно-буферный раствор; хлоридная смесь; конические колбы на 250 мл; мерная колба на 250 мл; пипетки разного объема; бюретка; стакан измерительный; груша; цилиндр.

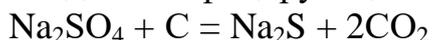
### Методические указания

После процесса варки целлюлоза отделяется от черного щелока посредством промывки. Целлюлоза направляется на промывку и последующие операции, а черный щелок в систему регенерации щелоков. Регенерация щелоков проводится для восстановления затраченных на варку химикатов. Процесс регенерации вкладывается из трех основных операций: выпарки, сжигания и каустизации щелоков. Во время сжигания сгущенных черных щелоков, содержащиеся в них органические вещества полностью сгорают, а минеральная часть, растворенная в слабом белом щелоке образует жидкий плав, основным компонентом которого является  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Раствор плава называют *зеленым щелоком*. Зеленый щелок подвергается каустизации известью с целью перевода неактивного  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в активный  $\text{NaOH}$ .

**Реакция каустизации** зеленого щелока:



Полученный после каустизации белый щелок возвращается в варочные котлы. Потери химикатов в цикле регенерации щелоков восполняются добавлением в топку содорегенерационного агрегата сульфата натрия –  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . В топке СРК сульфат натрия реагирует с образующимся при обугливание органических веществ коксом и восстанавливается до сульфида натрия  $\text{Na}_2\text{S}$  – активного делигнифицирующего реагента по реакции:



*Зеленый щелок* имеет сложный состав, основным компонентом которого являются  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , в нем также содержатся  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Так в состав зеленого щелока входят несколько компонентов, то для характеристики его состава вводится условная величина – единица  $\text{Na}_2\text{O}$  (эквивалент натриевых соединений).

Для характеристики зеленого щелока применяют следующие показатели:

1) **Общая щелочь (ОЩ)** – сумма всех солей натрия содержащаяся в белом щелоке, в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$



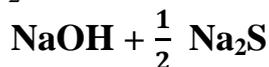
2) **Общая титруемая щелочь (ОТЩ)** – сумма едкого натра, сульфида натрия и карбоната натрия в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$



3) **Активная щелочь (АЩ)** – сумма едкого натра и сульфида натрия в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$



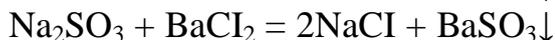
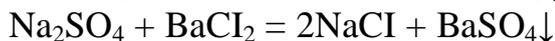
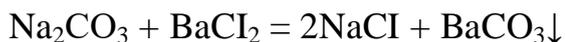
4) **Эффективная щелочь (ЭЩ)** – сумма едкого натра и половины сульфида натрия в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$



### Ход работы

#### 1. Определение активной и эффективной щелочи

Метод основан на осаждении хлористым барием ( $\text{BaCl}_2$ ) из белого щелока следующих компонентов



Оставшиеся компоненты  $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$  в водном растворе подвергаются гидролизу



В присутствии индикатора фенолфталеина оттитровывается  $\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{S}$  и весь  $\text{NaOH}$ , в присутствии метилового оранжевого весь  $\text{Na}_2\text{S}$  и весь  $\text{NaOH}$ .

В мерную колбу на 250 мл поместить 100 мл дистиллированной воды, 25 мл отстоявшего зеленого щелока и 40 мл раствора хлористого бария. Объем довести до метки и перемешать. Раствору дать отстояться.

В коническую колбу на 250 мл отобрать пипеткой 10 мл анализируемого раствора, прибавить 2 – 3 капли фенолфталеина и титровать раствором  $\text{HCl}$  до обесцвечивания. Отметить объем пошедший на титрование ( $V_1$  – соответствует содержанию  $\text{NaOH}$  и  $\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{S}$  в зеленом щелоке). Затем добавить 2 – 3 капли раствора метилового оранжевого и продолжить титрование 0,2 Н раствором  $\text{HCl}$  до перехода окраски в золотисто – розовую. Объем израсходованный на титрование ( $V_2$  – соответствует содержанию  $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$  в зеленом щелоке)

отметить. Расчет эффективной и активной щелочи ( $\text{г/дм}^3 \text{Na}_2\text{O}$ ) произвести по формулам

$$E = \frac{0,0062 \cdot 1000 \cdot 250 \cdot V_1}{250}, \quad (20)$$

$$A = \frac{0,0062 \cdot 1000 \cdot 250 \cdot V_2}{250}, \quad (21)$$

где  $V_1$  – объем 0,2 Н раствора  $\text{HCl}$ , израсходованный на титрование анализируемого раствора в присутствии фенолфталеина, мл;

$V_2$  – объем 0,2 Н раствора  $\text{HCl}$ , израсходованный на титрование анализируемого раствора в присутствии метилового оранжевого, мл;

0,0062 – количество  $\text{Na}_2\text{O}$ , соответствующее точно 1 мл 0,2 Н раствора  $\text{HCl}$ .

## 2. Определение массовой концентрации общей щелочи

При титровании пробы зеленого щелока  $\text{HCl}$  оттитровывается сумма следующих соединений  $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} + \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{Na}_2\text{SiO}_3$ .

В коническую колбу вместимостью 250 мл налить 50 мл дистиллированной воды и внести пипеткой, предварительно ополоснув ее анализируемым раствором, 2 мл зеленого щелока. Добавить 2 – 3 капли индикатора метилового оранжевого и титровать 0,5 Н раствором  $\text{HCl}$  при тщательном перемешивании. Титрование вести медленно, чтобы уловить момент, когда от одной капли соляной кислоты первоначально чисто – желтый раствор приобретет золотисто – розовый оттенок. Массовую концентрацию общей щелочи белого щелока в  $\text{г/дм}^3$  ед.  $\text{Na}_2\text{O}$  определяют по формуле

$$O = \frac{a \cdot 0,0155 \cdot 1000}{V}, \quad (22)$$

где  $a$  – количество 0,5 Н раствора  $\text{HCl}$ , пошедшее на титрование, мл;

0,0155 – количество  $\text{Na}_2\text{O}$ , соответствующее 1 мл точно 0,5 Н раствору, г;

$V$  – объем зеленого щелока, взятого на анализ, мл.

## 3. Расчет массовой концентрации компонентов зеленого щелока

На основании проведенных анализов по определению активной, эффективной и общей щелочи рассчитать следующие компоненты зеленого щелока:

а) массовая концентрация сульфида натрия ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) в зеленом щелоке:

$\text{Na}_2\text{S} = 2 (\langle A \rangle - \langle E \rangle)$ ,  $\text{г/дм}^3$  ед.  $\text{Na}_2\text{O}$ ;

б) массовая концентрация щелочи ( $\text{NaOH}$ ) в зеленом щелоке:

$\text{NaOH} = \langle A \rangle - \langle \text{Na}_2\text{S} \rangle$ ,  $\text{г/дм}^3$  ед.  $\text{Na}_2\text{O}$ ;

в) массовая концентрация соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) в зеленом щелоке:

$\text{Na}_2\text{CO}_3 = \langle O \rangle - \langle A \rangle$ ,  $\text{г/дм}^3$  ед.  $\text{Na}_2\text{O}$ .

#### 4. Определение массовой концентрации сульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) в зеленом щелоке

Метод основан на осаждении сульфата натрия смесью хлористого бария  $\text{BaCl}_2$  и титрованием избытка последней раствором трилона Б при  $\text{pH} = 10 - 12$ , в присутствии индикатора хрома темно-синего или хромогена черного.

В коническую колбу на 250 мл внести пипеткой 2 мл осветленного зеленого щелока, добавить из бюретки 0,5 Н раствор соляной кислоты  $\text{HCl}$ , в количестве пошедшем на титрование при определении общей щелочности зеленого щелока. Затем из другой бюретки добавить 15 мл хлоридной смеси, хорошо перемешать полученный раствор и кипятить его 3 – 5 минут. Содержимое колбы охладить до комнатной температуры, прилить цилиндром 5 мл аммиачного буфера и всыпать несколько кристаллов индикатора хромоген черного. Полученный раствор медленно оттитровать из бюретки 0,1 Н раствором трилона Б энергично взбалтывая до перехода окраски из фиолетовой в синюю без сиреневого оттенка. Параллельно в тех же условиях провести холостой опыт, но в холостую пробу **не добавлять**  $\text{HCl}$  и зеленый щелок.

Массовая концентрация сульфата натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в г/л ед.  $\text{Na}_2\text{O}$  вычисляется по формуле

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 = \frac{(a - b) \cdot 0,0031 \cdot 1000}{V}, \quad (23)$$

где  $a$  – объем 0,1 Н раствора трилона Б, израсходованного на титрование холостой пробы, мл;

$b$  – объем 0,1 Н раствора трилона Б, израсходованного на титрование рабочей пробы, мл;

$V$  – объем белого щелока, взятого для анализа, мл.

#### 5. Сделать вывод о проделанной работе

Сравнить результаты определения основных показателей белого щелока с данными ГОСТ, представленными в таблице 14.

Таблица 14 – Основные показатели зеленого щелока

Показатель	Состав	Норматив	Результаты определений	Соответствие данным ГОСТ
1. Общая щелочь	$\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3$	115 – 125 г/л ед. $\text{Na}_2\text{O}$		
2. Активная щелочь	$\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$	47 – 50 г/л ед. $\text{Na}_2\text{O}$		
3. Эффективная щелочь	$\text{NaOH} + \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{S}$	27 – 29 г/л ед. $\text{Na}_2\text{O}$		
4. $\text{Na}_2\text{CO}_3$		70 – 75 г/л ед. $\text{Na}_2\text{O}$		
5. $\text{Na}_2\text{S}$		40 – 43 г/л ед. $\text{Na}_2\text{O}$		
6. $\text{Na}_2\text{SO}_4$		3 – 4 г/л ед. $\text{Na}_2\text{O}$		
7. $\text{NaOH}$		7 – 8 г/л ед. $\text{Na}_2\text{O}$		

### Контрольные вопросы

1. Что представляет собой зеленый щелок? Где в системе регенерации он образуется?
2. Запишите реакцию каустизации.
3. Назовите основные компоненты зеленого щелока.
4. Какие показатели применяют для характеристики зеленого щелока?

## 7 Практическая работа № 1

**Тема:** *Расчет производительности окорочного барабана*

**Цели:** – закрепить теоретический материал по теме (классификация окорочных барабанов, маркировка, способы интенсификации окорки);

– выявить факторы, влияющие на производительность агрегата;

– развивать навыки работы со справочно – технической литературой.

**Литература:** 1. Мазарский С.М. Оборудование ЦБП;

2. Чичаев В.А. Оборудование ЦБП, т.1.

### Методические указания

При любом способе выработки волокнистых полуфабрикатов древесина должна быть предварительно освобождена от коры – подвергнута окорке, так как кора не проваривается, а содержащиеся в ней экстрактивные вещества ухудшают процесс делигнификации древесины, увеличивает костричность целлюлозы.

Толщина слоя коры изменяется в широких пределах и зависит, главным образом, от породы и возраста дерева. В среднем объемная доля коры по отношению к объему ствола у пихты и осины составляет 11...12 %, у сосны и березы 12...14 %, у лиственницы 18...22 %.

На спиленном дереве кора удерживается силами *адгезии*. Наиболее легко отделение коры происходит по слою камбия у свежеспиленного дерева, особенно в период с середины апреля до первой декады августа. У деревьев, спиленных в зимние месяцы, прочность связи коры с древесиной больше на 1...2 порядка. При промерзании и высыхании силы адгезии также увеличиваются, поэтому сухие и мерзлые балансы окоряются труднее. Продолжительное пребывание в воде или замачивание древесины в горячей воде облегчает окорку.

Требования к чистоте окорки диктуются ограничениями на содержание коры в щепе, которые устанавливаются стандартами. Необходимая степень окорки определяется по формуле

$$Y = \frac{K - K_0}{K} \cdot 100, \quad (24)$$

где  $Y$  – степень окорки, (%);

$K$  – предельная допускаемая стандартом объемная доля коры в щепе, %;

$K_0$  – объемная доля коры в древесине до окорки, %.

Существующие устройства для окорки можно сгруппировать по следующим признакам:

- аппараты фрикционного действия (корообдирки трения);
- ножевые (дисковые) корообдирки;
- роторные корообдирки;
- гидравлические установки.

**Корообдирки трения** – основной тип аппаратов для окорки больших количеств древесины на целлюлозно-бумажных предприятиях. Они делятся на три типа:

- окорочные барабаны;
- бункерные корообдирки;
- туннельные корообдирки.

Окорочный барабан представляет собой стальной полый цилиндр, расположенный горизонтально. Древесиной заполняют часть внутренней полости. При медленном вращении барабана вокруг горизонтальной оси балансы перекатываются внутри; кора разрушается и отделяется от древесины за счет трения и ударов балансов друг о друга и о стенки барабана. В свою очередь, окорочные барабаны классифицируют по конструктивным и функциональным признакам: барабаны для коротыя со свободным заполнением балансом и барабаны для длинника с параллельной укладкой.

По способу интенсификации окорки барабаны относят к одному из следующих типов:

- барабаны мокрой окорки;
- барабаны полусухой окорки;
- барабаны сухой окорки;
- комбинированные барабаны.

В барабанах **мокрой окорки** для интенсификации процесса используется горячая вода. Водой заполняется часть корпуса барабана. В некоторых конструкциях перфорированный барабан вращается в ванне, заполненной водой.

Барабаны **полусухой окорки** разделены на две примерно равные части. Первая по ходу балансов глухая секция имеет сплошные стенки. На поверхности стенок укреплены выступы с острыми кромками (окорники), назначение которых – наносить механические повреждения в виде надрезов коры. Внутри глухой секции подается горячая вода. Во вторую окорочную секцию вода не подается. Кора проваливается через щели между балками в желоб под барабаном или на транспортер. Каждая секция опирается бандажами на катки и приводится во вращение от электродвигателя через редуктор.

В барабанах **сухой окорки** для интенсификации механического разрушения коры применяются окорники, а также водяной пар или газообразный теплоноситель (например, горячий воздух).

В **комбинированных барабанах** в зависимости от влажности сырья можно производить как сухую окорку с использованием пара, так и полусухую окорку.

Типоразмеры и марки (в скобках) некоторых окорочных барабанов для коротья, выпускаемых отечественными машиностроительными заводами: для полусухой окорки КБ-415 (КБ-40К), КБ-420 (КБ-60) и КБ-425 (КБ-100-01); для сухой окорки с паром КБС-420 и КБС-425; для сухой окорки с механическими интенсификаторами КБС-304 (КБ-3), КБС-308 (КБ-6А) и КБС-315 (КБ-12); для комбинированной окорки КБ-530 (КБ-530М). Обозначения типоразмеров отражают: буква С – корообдирочные барабаны для сухой окорки; первая из трех цифр – диаметр барабана в целых метрах; остальные цифры – длина барабана также в целых метрах. Частота вращения барабанов от 6,3 до 9 мин<sup>-1</sup>. На предприятиях России применяются также окорочные барабаны фирм Раума-Репола, Ваплан и др.

### Ход работы

1. Выписать исходные данные для расчета. Исходные данные для расчета представлены в таблице 15.
2. Расшифровать марку агрегата (способ интенсификации, технические характеристики (2, с.13 – 14)).
3. Выписать из учебника и расшифровать формулу производительности окорочного барабана  $Q_T$ , м<sup>3</sup>/ч (2, с.11, ф. 1.2).
4. Выбрать значение базовой производительности  $Q_0$ , м<sup>3</sup>/(ч · м) в зависимости от способа интенсификации окорки, диаметра барабана и породы древесины (таблицы А.1 – А.2 Приложения А).

Таблица 15 – Исходные данные

№ варианта	Марка агрегата	Длина корпуса	Диаметр барабана	Частота вращения	Порода древесины
Условные обозначения		L	D	n	1 расчет
Единицы измерения		м	м	об/мин	2 расчет
1	2	3	4	5	6
1	КБ-40К	15	3,85	6,3	ель осина
2	КБ-60	20	3,85	6,3	пихта сосна
3	КБ-100-1	24	3,85	6,3	сосна лиственница
4	КБС-425	24	3,85	9	осина пихта
5	КБ-3	3,5	3,0	10,5	береза
6	КБ-6А	7,5	3,0	10,5	лиственница
7	КБ-12	15	3,0	10,5	ель
8	КБС-420	20,5	3,85	9	сосна береза
9	КБ-530-М	30	5,0	8	лиственница осина
10	КБ-3	3,5	3,0	10,5	береза

Продолжение таблицы 15

№ варианта	Диаметр баланса	Длина баланса	Способ интенсификации	Температура теплоносителя	Влажность древесины	Время заготовки		Желаемая степень окорки
						1 расчет	2 расчет	
1	7	8	9	10	11	12	13	
1	0,14	1,5	полусухая	20	35	лето	90	
2	0,30	1,5	полусухая	40	30	лето	90	
3	0,30	1,5	полусухая	60	40	осень	90	
4	0,22	1,5	сухая (пар)	140	50	зима	95	
5	0,22	1,0	сухая (механические интенсификаторы)	-	75	лето зима	80	
6	0,30	1,5	сухая (механические интенсификаторы)	-	75	осень зима	80	
7	0,14	1,0	сухая (механические интенсификаторы)	-	50	зима весна	80	
8	0,30	1,5	сухая (пар)	140	50	зима	95	
9	0,30	1,5	сухая (механические интенсификаторы + пар)	140	60	весна	95	
10	0,22	1,0	сухая (механические интенсификаторы)	-	70	лето зима	98	

5. Расчет коэффициента, учитывающего частоту вращения барабана.

5.1 Рассчитать критическую частоту вращения барабана по формуле

$$n_{кр} = \frac{42,5}{\sqrt{D}}, \quad (25)$$

где  $n_{кр}$  – критическая частота вращения барабана,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$D$  – диаметр барабана, м.

5.2 Рассчитать относительную частоту вращения барабана по формуле

$$\Psi = \frac{n}{n_{кр}}, \quad (26)$$

где  $\Psi$  – относительная частота вращения барабана,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n$  – частота вращения барабана,  $\text{мин}^{-1}$ .

5.3 Рассчитать коэффициент, учитывающий частоту вращения барабана коэффициент по формуле

$$K_n = \frac{\Psi}{\Psi_0}, \quad (27)$$

где  $K_n$  – коэффициент, учитывающий частоту вращения барабана;  
 $\Psi_0$  – базовая относительная частота вращения барабана,  
 $\Psi_0 = 0,3 \text{ мин}^{-1}$ .

6. Подобрать коэффициенты  $K_w$ ,  $K_l$ ,  $K_s$  (таблицы А.3 – А.5 Приложения А). Для значения коэффициента  $K_w$  температура коры принимается положительная – время заготовки лето и осень, отрицательная – время заготовки зима и весна.

7. Рассчитать технологическую производительность окорочного барабана по формуле

$$Q_T = K_w \cdot K_l \cdot K_s \cdot K_n \cdot Q_0 \cdot L, \quad (28)$$

где  $Q_T$  – технологическая производительность окорочного барабана,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $K_w$  – эмпирический коэффициент, учитывающий состояние древесины;  
 $K_l$  – эмпирический коэффициент, учитывающий размеры древесины;  
 $K_s$  – эмпирический коэффициент, учитывающий требуемую степень окорки;  
 $K_n$  – эмпирический коэффициент, учитывающий частоту вращения барабана;  
 $Q_0$  – базовая производительность в зависимости от способа интенсификации окорки, диаметра барабана и породы древесины,  $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м})$ ;  
 $L$  – длина барабана, м.

8. Выполнить второй вариант расчета (2 расчет) изменив: породу древесины для вариантов 1, 2, 3, 4, 8, 9; время заготовки для вариантов 5, 6, 7, 10.

9. Сравните полученные результаты, сделайте письменный вывод.

## **Контрольные вопросы**

1. Расшифруйте марку барабана по заданному варианту.
2. Назовите способы интенсификации окорки, укажите их достоинства и недостатки.
3. Сравните результаты расчета производительности с паспортными данными.
4. Перечислите факторы, влияющие на производительность окорочного барабана.
5. Обоснуйте вывод для барабана заданной конструкции.

## 8 Практическая работа № 2

**Тема:** *Расчет технологических параметров рубительной машины*

**Цели:** – повторить типы, маркировку и устройство дисковых рубительных машин;

– выполнить расчет мощности привода заданной рубительной машины;

– проанализировать полученные результаты расчетов.

**Литература:** 1. Чичаев В.А. Оборудование ЦБП, т.1.

### Методические указания

Измельчение древесины в щепу – один из важных этапов в производстве целлюлозы и древесной массы. Качество щепы, ее размеры и форма оказывают большое влияние на химические и механические свойства целлюлозы и древесной массы.

Технологическая щепка не должна иметь смятых торцов, так как пропитка варочными растворами главным образом происходит по торцам; в щепе не должно быть большого количества мелочи и крупной щепы, так мелочь засоряет сита аппаратов, затрудняет варку, а крупная щепка ведет к непровару.

Желательно, чтобы скалывание щепы в процессе рубки происходило под одинаковыми углами, а толщина щепы была в несколько раз меньше ее длины.

Оптимальными размерами щепы являются: при варке целлюлозы – (20-25) x 5 мм; в производстве химической древесной массы – 10 x 10 x 5 мм.

Для рубки баланса в щепу служат рубительные машины, которые, в зависимости от конструкции рабочего органа, бывают дисковые, барабанные и конические.

Рабочим органом дисковой рубительной машины является диск с радиально закрепленными на нем пластинами ножей. Диаметр диска 2 – 4 м, количество ножей (3 - 4) – (8 - 16), скорость вращения диска 250 – 740 мин<sup>-1</sup>.

Основными узлами дисковой рубительной машины являются стальной ножевой диск, корпус и кожух со звукоизоляцией, загрузочный патрон, контрнож, механизм присадки, привод.

Машины различаются:

- способом подачи баланса (с нижней принудительной и верхней свободной);
- способом выброса щепы (вверх в циклон и вниз в бункер);
- числом ножей на диске (4 - 5 – малоножевые, 8 - 16 – многоножевые);
- расположением патрона (правое или левое);
- конструкцией диска (гладкий или геликоидальный).

Маркировка машин означает ее конструктивные особенности и производительность, например:

- МРН - 300 – машина рубительная с наклонным патроном (верхняя подача баланса), выбросом щепы вверх, производительностью 300 м<sup>3</sup>/час;
- МРГ - 40 – машина рубительная с горизонтальным патроном (нижняя подача баланса), выбросом щепы вверх, производительностью 40 м<sup>3</sup>/час;
- МРНП - 30Н – машина рубительная с правым наклонным патроном (верхняя подача баланса) производительностью 30 м<sup>3</sup>/час и нижним выбросом щепы;

Нож МР – это пластина из высокопрочной износостойкой стали марки 55Х7ВСФМ. Нож крепится к ножевому диску пластинами и болтами и снабжается винтом для регулировки выступа над диском. Ножи затачиваются по геликоиду, т.е. угол заточки плавно изменяется от центра к периферии диска в пределах от 29°2' до 34°42'.

Принцип действия машины заключается в следующем: баланс подается к ножевому диску (по направлению диагонали куба), опирается на контрнож и при вращении диска каждый нож отрубает от баланса шайбу. Под действием ударных нагрузок возникает усилие скалывания, шайба разделяется на щепу, которая отводится через окно под ножом на приводную сторону диска. Далее щепка либо падает вниз в бункер, либо центробежным потоком воздуха, создаваемым гонными лопатками, выбрасывается вверх в циклон.

Зазор между контрножом, установленным в основании патрона и ножами диска регулируется механизмом присадки.

Длина щепы зависит от высоты выступа ножа над диском и углов наклона патрона. Толщина щепы зависит от ее длины и механических свойств древесины, так как нож сжимает волокна и скалывает их и принимается 15 – 20% от длины щепы.

Время резания составляет:  $\tau = 0,085 - 0,075$  сек – на тихоходных машинах;  $\tau = 0,015 - 0,02$  сек – на быстроходных машинах;

На процесс рубки влияют следующие факторы:

- порода древесины и ее физические свойства, с увеличением твердости растет потребляемая мощность, с увеличением влажности мощность уменьшается; наиболее эффективная рубка при  $W = 20\%$ ;
- скорость подачи баланса  $V_n$  малон. < 0,5 м/с;  $V_{пмногон.} = 1,1 - 3,3$  м/с;
- скорость резания  $U_{рмалон.} = 15 - 18$  м/с;  $U_{рмногон.} = 20 - 25$  м/с;
- выступ ножа; при  $h = 14$  мм длина щепы  $L_{щ} = 25$  мм;
- заточка и материал ножа, летом ножи перезатачиваются 1 раз в смену, зимой – 2 раза в смену.

### Ход работы

1. Расшифровать марку заданной рубительной машины.
2. Выписать исходные данные для расчета из таблиц 16, 17.

Таблица 16 – Исходные данные

№ варианта	Марка агрегата	Число ножей на диске	Частота вращения ножевого диска	Угол наклона пагона в вертикальной плоскости	Угол наклона пагона в вертикальной плоскости	Масса ротора рубительной машины	Количество гонных лопаток на ободке диска
Условные обозначения		Z	n	$\alpha_1$	$\alpha_2$	G	Z <sub>л</sub>
Единицы измерения		шт	об/мин	град	град	Н	шт
1	2	3	4	5	6	7	8
1	МРН-10	16	590	52	18	4000	15
2	МРН-30	16	740	52	18	4000	15
3	МРН-100	10	365	52	18	20000	9
4	МРГ-20Н	12	740	0	52	3800	11
5	МРГ-40	10	590	0	49	11000	9
6	МРН-50	10	365	52	18	28000	9
7	МРГ-40Н	10	590	0	49	10500	9
8	МРН-300	16	250	53	0	30000	15
9	МРН-150	12	375	52	15	35000	11
10	МРГ-100Н	10	365	0	52	20000	9

Продолжение таблицы 16

№ варианта	Максимальный диаметр балансов	Удельное усилие рубки	Диаметр окружности катания роликов	Площадь одной лопатки	Диаметр центра лопаток
Условные обозначения	d <sub>б</sub>	p	d <sub>к</sub>	F <sub>л</sub>	D <sub>л</sub>
Единицы измерения	м	Н/м	м	м <sup>2</sup>	м
1	9	10	11	12	13
1	0,22	130000	0,11	0,06	0,34
2	0,22	140000	0,11	0,06	0,34
3	0,5	90000	0,150	0,08	0,58
4	0,2	100000	0,10	0,06	0,28
5	0,3	110000	0,12	0,07	0,38

Продолжение таблицы 16

1	9	10	11	12	13
6	0,35	120000	0,13	0,07	0,43
7	0,3	140000	0,12	0,07	0,38
8	0,7	150000	0,13	0,09	0,78
9	0,7	160000	0,16	0,09	0,78
10	0,5	90000	0,15	0,08	0,58

Таблица 17 – Таблица постоянных величин

№ п/п	Наименование постоянной величины	Условное обозначение	Значение
1	Коэффициент, учитывающий верхний выброс щепы	X	0,7
2	Плотность щепы, кг/м <sup>3</sup>	ρ	1450
3	Коэффициент трения качения в подшипниках	f	0.022

### 3. Расчетное задание.

#### 3.1 Расчет производительности рубительной машины.

##### 3.1.1 Рассчитать длину щепы по формуле

$$L_{щ} = \frac{h}{\cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2}, \quad (29)$$

где  $L_{щ}$  – длина щепы, м;

$h$  – высота выступа ножа над поверхностью диска,  $h = 0,01 - 0,014$  м;

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – углы наклона загрузочного патрона в вертикальной и горизонтальной плоскости, град.

##### 3.1.2 Рассчитать производительность машины по формуле

$$Q_{расч} = 4,71 \cdot d_б^2 \cdot L_{щ} \cdot Z \cdot n, \quad (30)$$

где  $Q_{расч}$  – производительность рубительной машины, м<sup>3</sup>/час;

$d_б$  – расчетный диаметр баланса, м;

$Z$  – количество ножей на диске, шт;

$n$  – частота вращения ножевого диска, об/мин.

#### 3.2 Расчет мощности привода рубительной машины.

##### 3.2.1 Мощность привода рубительной машины определяется по формуле

$$P = \frac{M_c \cdot n}{9554}, \quad (31)$$

где  $P$  – мощность привода рубительной машины, кВт;

$M_c$  – полный момент сил сопротивления, Н · м.

##### 3.2.2 Полный момент сил сопротивления рассчитывается по формулам

(хх – холостой ход, пол – полезная работа)

*для машин с верхним выбросом щепы в циклон*

$$M_c = M_{xx} + M_{пол} = (M_{тр} + M_v) + (M_r + M_m), \quad (32)$$

*для машин с нижним выбросом щепы в бункер*

$$M_c = M_{xx} + M_{пол} = M_{тр} + M_r, \quad (33)$$

где  $M_c$  – полный момент сил сопротивления, Н · м;

$M_{тр}$  – крутящий момент на преодоление сил трения в подшипниках, Н · м;

$M_v$  – крутящий момент на создание вентиляционного напора, Н · м;

$M_r$  – крутящий момент на преодоление сил сопротивления резанию, Н · м;

$M_m$  – крутящий момент, затрачиваемый на механический выброс щепы, Н · м.

3.2.3 Крутящий момент на преодоление сил трения в подшипниках рассчитывается по формуле

$$M_{тр} = f \cdot G \cdot \frac{d_p}{2}, \quad (34)$$

где  $M_{тр}$  – крутящий момент на преодоление сил трения в подшипниках Н · м;

$f$  – коэффициент трения качения в подшипниках;

$G$  – масса ротора (ножевого диска), Н;

$d_p$  – диаметр окружности катания ролика, м.

3.2.3 Крутящий момент на создание вентиляционного напора рассчитывается по формуле

$$M_v = 1,8 \cdot Z_l \cdot F_l \cdot D_l^3 \cdot \left(\frac{n}{100}\right)^2 \cdot X, \quad (35)$$

где  $M_v$  – крутящий момент на создание вентиляционного напора, Н · м;

$Z_l$  – количество лопаток на ободу диска, шт;

$F_l$  – площадь одной лопатки, м<sup>2</sup>;

$D_l$  – диаметр центра лопаток, м;

$X$  – коэффициент, учитывающий верхний выброс щепы (таблица 17).

3.2.4 Крутящий момент на преодоление сил сопротивления резанию рассчитывается по формуле

$$M_p = \frac{d_6^2 \cdot z \cdot p}{8 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2}, \quad (36)$$

где  $M_p$  – крутящий момент на преодоление сил сопротивления резанию, Н · м;  
 $p$  – удельное усилие рубки, Н/м.

3.2.5 Крутящий момент, затрачиваемый на механический выброс щепы рассчитывается по формуле

$$M_m = 0,00027 \cdot d_6^2 \cdot L_{щ} \cdot Z_l \cdot \rho_{щ} \cdot D_l^2 \cdot n^2 \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2}, \quad (37)$$

где  $M_m$  – крутящий момент, затрачиваемый на механический выброс щепы, Н · м  
 $\rho_{щ}$  – плотность щепы, кг/м<sup>3</sup>.

### Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия заданной рубительной машины.
2. Сверьте расчетную производительность с паспортной (1, с.31, Т1.11) и контрольной таблицей.
3. Назовите способы повышения производительности рубительной машины.
4. От каких факторов зависит размер щепы?
5. Сверьте результаты расчета мощности привода рубительной машины с контрольной таблицей.
6. Поясните, на что тратится мощность привода рубительной машины.

## 9 Практическая работа № 3

**Тема:** *Расчет технико-экономических показателей сульфитной варки*

**Цели:** – *изучить ТЭП сфи варки и методику их расчета;*  
– *выявить факторы, влияющие на продолжительность и качество варки;*  
– *развивать навыки точного расчета и логики мышления;*  
– *проанализировать полученные результаты расчетов.*

**Литература:** 1. Непенин Н.Н., Технология целлюлозы, Т2, § 2,6;  
2. Лаптев В.Н., Практикум по оборудованию и технологии ЦБП

### Методические указания

Термин **«сульфитные способы»** объединяет большую группу промышленных способов делигнификации, при которых основными реагентами служат диоксид серы (сернистый ангидрид)  $\text{SO}_2$ , сернистая кислота  $\text{H}_2\text{SO}_3$ , её кислые соли (бисульфиты)  $\text{M}(\text{HSO})_n$  и средние соли (сульфиты)  $\text{M}_n\text{SO}_3$ . Здесь М означает катион основания – металла или аммония. На практике используют катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  и  $\text{NH}_4^+$ ; их называют соответственно кальциевым, магниевым, натриевым и аммониевым основанием (например,  $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ). Индекс n равен 1 или 2, в зависимости от валентности катиона.

Как и при других способах производства, древесина складировается на лесной бирже и превращается в щепу в древесно-подготовительном цехе. Операции подготовки включают **раскряжевку, окорку, рубку древесины, сортирование и аккумулялирование щепы.**

Варочный раствор готовится в кислотном цехе и в регенерационном отделе варочного цеха.

Сера сжигается в серных печах в потоке воздуха:  $\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$ .

Горячий печной газ состоит в основном из диоксида серы, азота и водяного пара. После его охлаждения и очистки диоксид серы извлекается в абсорбере водным раствором щелочных реагентов. При этом диоксид серы растворяется в воде и частично гидролизуется. Часть образовавшейся сернистой кислоты нейтрализуется катионами и превращается в бисульфит. Полученный таким путем раствор называется **сырой сульфитной кислотой.**

Сырая сульфитная кислота обычно содержит до 4 % всего  $\text{SO}_2$  и 0,8...1,5 % связанного  $\text{SO}_2$ . В регенерационной установке сырая сульфитная кислота укрепляется за счет газовых сдувок из варочного котла до концентрации всего  $\text{SO}_2$  7...9 %. Там же кислота смешивается с отбираемой из варочного котла горячей жидкостью (оттяжкой) и нагревается до температуры 40...80 °С. Полученный раствор называется **варочной сульфитной кислотой.**

Варка сульфитной целлюлозы проводится преимущественно в стационарных варочных котлах периодического действия. Далее сваренная целлюлоза

последовательно проходит те же операции, что и сульфатная целлюлоза: *промывку на вакуум-фильтрах или других устройствах, очистку, сортирование, отбелку и сушку.*

В ходе варки все основные компоненты древесины и варочного раствора претерпевают изменения.

**Лигнин** древесины при сульфитной варке участвует в реакциях *сульфирования, гидролитической деструкции и конденсации.*

**Сульфирование** лигнина начинается в твердой фазе с образованием твердой лигносульфоновой кислоты. Во второй стадии варки в результате гидролитической деструкции лигносульфовая кислота превращается в растворимую форму и переходит в раствор в виде солей – лигносульфонатов.

Сульфирование осуществляется сернистой кислотой и ее солями и заключается во введении сульфогрупп  $-SO_3H$  в структурные звенья макромолекулы лигнина.

**Гидролитическая деструкция** необходима для возможности перевода в раствор твердой лигносульфоновой кислоты.

При повышении температуры в кислой среде происходит гидролиз связей. При этом макромолекулы твердой лигносульфоновой кислоты и лигносульфонатов расщепляются на фрагменты, растворимые в варочной жидкости.

**Конденсация** лигнина приводит к образованию новых углерод-углеродных связей между фенилпропановыми единицами макромолекулы лигнина.

**Углеводы** древесины в условиях сульфитной варки частично разрушаются. При гидролизе гемицеллюлоз они обнаруживаются в щелоче в виде простых сахаров.

древесины при сульфитной варке ведут себя не так, как при щелочных способах варки.

**Экстрактивные вещества** – древесные терпены окисляются под действием бисульфита с образованием цимола. Одновременно с цимолом из терпенов образуются в небольшом количестве борнеол и некоторые другие продукты.

Кроме этого к побочным реакциям относятся **разложение бисульфита**, образование метилового спирта, уксусной и муравьиной кислоты, углекислого газа, фурфурола.

**Основные факторы сульфитной варки** можно объединить в три группы: *свойства древесного сырья, состав и характеристики варочного раствора; температурно-временной график варки.*

В качестве сырья в сульфитцеллюлозном производстве применяют преимущественно малосмолистые хвойные породы – ель, пихту.

Крепость кислоты (концентрация свободного  $SO_2$ ) является одним из важнейших факторов варки. Повышение содержания свободного  $SO_2$  в кислоте ускоряет пропитку и реакции сульфирования и гидролитические реакции, в результате чего значительно ускоряется варочный процесс в целом

Повышение температуры ускоряет все реакции и процессы, сопровождающие варку. Температура собственно варки находится в интервале 130...150 °С. При повышении температуры варки одновременно с сокращением ее продолжительности снижается выход целлюлозы одинаковой степени провара. Прочностные свойства целлюлозы при высокотемпературной варке несколько ухудшаются.

Сульфитную варку можно осуществить в котлах как периодического, так и

непрерывного действия, однако подавляющее количество сульфитной целлюлозы варится периодическим способом.

Варочная установка периодического действия состоит из собственно варочного котла, теплообменника, конденсатоотводчика, циркуляционного насоса, системы трубопроводов, запорной и регулирующей арматуры. На российских предприятиях установлены и работают котлы вместимостью до 340 м<sup>3</sup>.

До 1960 года варочные котлы изготавливались клепаной конструкции. Защита корпуса котла от коррозии осуществлялась кислотостойким бетоном с облицовкой кислотостойкими керамическими плитками (футеровка). Переход на сварную конструкцию с применением биметалла позволил значительно сократить массу котла, увеличить его вместимость и исключить возможность загрязнения волокнистой массы кусочками бетона и облицовочных плит. Биметалл (двухслойную сталь) получают путем совместной горячей прокатки основного листа углеродистой стали и тонкого (3...6 мм) листа нержавеющей стали, содержащей в своем составе хром, никель, молибден, титан (марки X18H12M2T, OX17H16M3T и др.).

При определении объема котла различают объем брутто (полный внутренний объем, включающий защитный антикоррозионный слой) и нетто (полезный объем). Маркировка котлов показывает способ варки, номинальный (брутто) объем котла в кубометрах, технологические особенности варки. Например, КВСи – 160 означает: котел варочный для сульфитной варки объемом 160 м<sup>3</sup>.

Варочный котел состоит из следующих основных узлов: корпуса, крышки, выдувного или вымывного колена, сдувочного сита, циркуляционного сита, сита нижней горловины, вымывных сопел (при опорожнении котла вымывкой), парового уплотнителя и коллектора для промывки котла.

Угол при вершине верхнего конуса равен 90°, что соответствует углу естественного откоса щепы. Верхняя горловина имеет штуцера для предохранительного клапана, для отбора сдувок и подачи пара на прочистку сдувочного сита. В верхней части котла расположены штуцера для подачи пара в паровой уплотнитель, подвода жидкости в промывной коллектор и два штуцера для подачи в процессе варки циркулирующей жидкости.

Снизу к цилиндрической части корпуса примыкает нижнее днище с углом при вершине 60°, что обеспечивает оптимальные условия опорожнения котла. На отбортовке нижнего днища с наружной стороны приварены опоры для установки котла на колонны. К колоннам жестко крепится только одна опора, три других остаются свободными (для обеспечения беспрепятственного перемещения котла относительно опорной поверхности колонн при температурных расширениях).

Корпус котла изготавливается из углеродистой стали 20к. Толщина стенки зависит от диаметра котла и рассчитывается по рабочему избыточному давлению, которое принимается равным 1,2 МПа. Обычно толщина стенки корпуса составляет 30...40 мм. Внутренний защитный слой состоит из стали, стойкой к кислой среде, марок 08X17H15M3T и 10X17H13M3T.

Крышки варочных котлов по принципу действия делятся на ручные и механизированные.

Сдувочное сито предназначено для предотвращения попадания волокна во

время сдувок в трубопровод.

Циркуляционное сито выполнено в виде набранного из секций цилиндра.

Сито нижней горловины имеет ту же конструкцию и характеристику, что и сдувочное сито. Оно предназначено для отделения отбираемой жидкости от целлюлозы.

Из устройств для уплотнения щепы наибольшее распространение получили стационарные паровые уплотнители (паровой уплотнитель типа Свенсона), располагающиеся под верхней горловиной котла. Наполнение котла щепой в случае применения парового уплотнителя увеличивается по сравнению с естественным наполнением на 25...30 %.

Теплообменник устанавливается на линии внешней циркуляции щелока. В настоящее время большинство отечественных котлов для варки сульфитной целлюлозы оснащены двухходовыми кожухотрубчатыми теплообменниками.

Устройства для принудительной циркуляции варочного раствора в котле могут быть разделены на две основные группы: с прямым обогревом – пар вводится непосредственно в котел и с непрямым обогревом – циркулирующий варочный раствор нагревается в поверхностных подогревателях (система Эско, система Монтеруда).

Порядок операций при сульфитной варке мало отличается от других способов варки. Котел загружают щепой, заливают варочной кислотой и закрывают. Содержимое котла нагревают до температуры 105...110 °С и выдерживают при этой температуре для завершения пропитки щепы кислотой (стоянка). Далее нагрев продолжают до конечной температуры варки (заварка). В зависимости от условий продолжительность варки колеблется в широких пределах – от 5 до 12 часов. В процессе варки из котла периодически или непрерывно производят сдувки, то есть удаляют из верхней части котла водяной пар и сернистый газ в систему регенерации, где они смешиваются с сырой сульфитной кислотой, образуя варочную кислоту. По окончании варки котел опоражнивают в ссезу или другой приемный резервуар способом выдувки или вымывки.

Наполнение котла щепой проводится так же, как при сульфатной варке. После того, как котел заполнен щепой, закачивают варочную кислоту из запасных баков или цистерн. Кислоту вводят снизу через предусмотренные для этой цели нижние штуцера. Верхнюю крышку котла во время закачки кислоты закрывают, а вытесняемый из котла воздух, содержащий некоторое количество SO<sub>2</sub>, отводят через воздушные или сдувочные штуцера в поглотительные аппараты кислотного отдела.

При непрямом обогреве котел закачивается кислотой «под крышку», без свободного воздушного пространства в верхней части котла. В случае применения прямого обогрева оставляют свободное пространство в 5...10 м<sup>3</sup>, учитывая необходимость размещения конденсата пара в первые часы варки.

Заклученный в щепе воздух оказывает противодействие проникновению кислоты в древесину. К практическим методам удаления воздуха из щепы относятся: пропарка, вакуумирование, гидронадавливание, прокачка варочного раствора.

Варка условно делится на два периода: заварку, совпадающую с периодом пропитки и сульфирования лигнина в твердой фазе и охватывающую подъем температуры до 105...115 °С и стоянку на этой температуре, и собственно варку, охватывающую остальной период варки от температуры 105...115 °С до окончания

варочного процесса.

Продолжительность заварки составляет от 2 до 6 часов, в зависимости от влажности щепы, крепости и температуры кислоты.

Одновременно с ростом температуры в котле увеличивается давление. Первая сдувка проводится часто еще до достижения предельного рабочего давления при температуре 60...70 °С для удаления воздуха. Дальнейшие сдувки ведут непрерывно.

По окончании варки открываются сдувочные вентили для удаления из котла избытка SO<sub>2</sub> и снижения давления в котле перед его опорожнением.

При опорожнении котла по способу выдувки давление снижают до 0,15...0,3 МПа, после чего открывают выдувной шибер, выпуская содержимое котла под остаточным давлением в закрытую ссезу или выдувной резервуар в течении 10...15 минут. Вследствие резкого падения давления при выдувке происходит сильное парообразование, и целлюлозная масса разрывается на отдельные волокна или пучки волокон.

При опорожнении вымывкой давление в котле снижают до 0,25...0,35 МПа и под этим давлением через циркуляционные или нижние штуцера отбирают из котла крепкий щелок на переработку. В котел дают слабый щелок через верхние штуцера и масса из котла вместе с оставшимся слабым щелоком самотеком вымывается в ссезу или откачивается насосами в вымывной резервуар. Вымываемая масса сохраняет форму щепы.

Более совершенными устройствами для приема массы из котла являются выдувные резервуары вместимостью до 1600 м<sup>3</sup>, устанавливаемые на четыре – шесть варочных котлов.

К числу наиболее важных *технико-экономических показателей* варочного процесса относятся *удельный расход древесины, серы и основания на 1 т воздушно-сухой целлюлозы, получаемой из варочного котла, выход целлюлозы из 1 м<sup>3</sup> котла, оборот котла и производительность варочного котла.*

**Оборот котла** складывается из времени, необходимого на проведение собственно процесса варки начиная от момента пуска пара и до момента открытия сдувочного вентиля давления перед опорожнением котла, и так называемого «мертвого» времени, затрачиваемого на все вспомогательные операции, включая мелкий текущий ремонт.

## Ход работы

1. Условные обозначения и единицы измерения представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Условные обозначения и единицы измерения

Параметры	Условные обозначения	Единицы измерения
Влажность древесины	W	%
Плотности древесины в абсолютно сухом состоянии	$\rho_0$	г/см <sup>3</sup>
Плотность древесины при влажности 12%	$\rho_{12}$	г/см <sup>3</sup>
Условная плотность древесины (т.е. при заданной влажности)	$\rho_w$	кг/м <sup>3</sup>
Объемная степень заполнения котла древесиной	a	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>
Степень провара целлюлозы по перманганатному числу	ж	-
Содержание в сырой кислоте всего SO <sub>2</sub>	C <sub>SO<sub>2</sub></sub>	%
Содержание в сырой кислоте связанного SO <sub>2</sub>	C <sub>B<sub>SO<sub>2</sub></sub></sub>	%

2. Выписать исходные данные из таблицы 19.

Таблица 19 – Исходные данные

№ варианта	Тип котла	Защита от коррозии	Порода древесины	W, %	a	$\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>
1	КВСи-160	футеровка	ель	35	0,35	0,42
2	КВСи-200	биметалл	сосна	40	0,33	0,46
3	КВСи-250	футеровка	пихта	20	0,4	0,36
4	КВСи-320	футеровка	ель	30	0,43	0,43
5	КВСи-400	биметалл	осина	40	0,47	0,46
6	КВСи-250	биметалл	пихта	25	0,45	0,37
7	КВСи-140	биметалл	осина	20	0,35	0,46
8	КВСи-320	биметалл	сосна	35	0,33	0,46
9	КВСи-200	футеровка	ель	40	0,42	0,43
10	КВСи-160	биметалл	кедр	30	0,43	0,41

Продолжение таблицы 19

№ варианта	Вид основания	Время t <sub>xx</sub>	Время варки t <sub>в</sub>	ж	C <sub>SO<sub>2</sub></sub> , %	C <sub>B<sub>SO<sub>2</sub></sub></sub> , %
1	натриевое	1,5	4,5	30	3,5	1,2
2	натриевое	2,5	5	29	3,5	1,3
3	натриевое	2,5	3	35	3,4	1,3
4	натриевое	3	4	32	3,45	1,2
5	натриевое	3,5	4,5	30	3,45	1,2
6	кальциевое	2,5	2,5	110	4,5	0,35
7	кальциевое	1,5	2	128	4,8	0,48
8	кальциевое	2,5	5	42	2	0,38
9	кальциевое	2	4,5	45	1,8	0,35
10	кальциевое	1,5	5	42	2	0,36

3. Расшифровать маркировку заданного агрегата и записать состав кислоты.

4. Определить полезный объем котла (нетто) с учетом способа защиты от коррозии,

*при футерованном котле*

$$V_{н/ф} = 0,75 V, \quad (38)$$

*при биметаллическом котле*

$$V_{н/б} = 0,9 V, \quad (39)$$

где  $V_{н/ф}$  – полезный объем футерованного котла (нетто),  $m^3$ ;

$V_{н/б}$  – полезный объем биметаллического котла (нетто),  $m^3$ ;

$V$  – полный объем котла (брутто),  $m^3$ .

5. Определить условную плотность древесины (плотность при заданной влажности)  $\rho_w$ ,  $кг/м^3$  по таблице А6 Приложения А.

6. В зависимости от степени провара рассчитать жесткость целлюлозы по формуле

$$x = 1 + \frac{ж-35}{10}, \quad (40)$$

где  $x$  – жесткость целлюлозы, %;

$ж$  – степень провара целлюлозы по перманганатному числу.

7. Рассчитать выход целлюлозы из древесины по формуле

$$B = 43,27 + 1,909 \cdot x - 0,199 \cdot x^2 + 0,01 \cdot x^3, \quad (41)$$

где  $B$  – выход целлюлозы из древесины, %.

8. Рассчитать удельный расход плотной древесины на 1 тонну воздушно – сухой целлюлозы по формуле

$$P = \frac{880 \cdot 100}{\rho_w \cdot B}, \quad (42)$$

где  $P$  – удельный расход плотной древесины на 1 тонну воздушно – сухой целлюлозы,  $m^3/т$ ;

$\rho_w$  – условная плотность древесины,  $кг/м^3$ .

9. Определить удельный расход серы на 1 тонну воздушно – сухой целлюлозы по формуле

$$C_S = V_{\text{сыр}} \cdot \frac{C_{SO_2}}{100} \cdot \frac{32}{64}, \quad (43)$$

где  $C_S$  – удельный расход серы на 1 тонну воздушно – сухой целлюлозы,  $\text{дм}^3$ ;

$V_{\text{сыр}}$  – количество сырой кислоты, необходимое для производства 1 т. воздушно – сухой целлюлозы, принять  $V_{\text{сыр}} = 6000 \text{ дм}^3$ ;

$C_{SO_2}$  – содержание в сырой кислоте всего  $SO_2$ , %.

10. Рассчитать удельный расход основания на 1 т. воздушно – сухой целлюлозы по формуле

$$B = V_{\text{сыр}} \cdot \frac{C_{BSO_2}}{100}, \quad (44)$$

где  $B$  – удельный расход основания на 1 т. воздушно – сухой целлюлозы,  $\text{дм}^3$

$C_{BSO_2}$  – содержание в сырой кислоте связанного  $SO_2$ , %.

11. Рассчитать выход целлюлозы с 1 м<sup>3</sup> котла по формуле

$$b = \frac{a \cdot \rho_0 \cdot B}{88}, \quad (45)$$

где  $b$  – выход целлюлозы с 1 м<sup>3</sup> котла, кг;

$a$  – объемная степень заполнения котла древесиной,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;

$\rho_0$  – плотности древесины в абсолютно сухом состоянии,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$B$  – выход целлюлозы из древесины, %.

12. Определить оборот котла по формуле

$$t = t_{\text{xx}} + t_{\text{в}}, \quad (46)$$

где  $t$  – оборот котла, час

$t_{\text{xx}}$  – время, затрачиваемое на загрузку, заливку, опорожнение, осмотр и промывку котла, час;

$t_{\text{в}}$  – время собственно варки, час.

13. Найти суточную производительность котла по формуле

$$Q_{\text{сут}} = \frac{b \cdot V_{\text{нетто}} \cdot 24}{1000 \cdot t}, \quad (47)$$

где  $Q_{\text{сут}}$  – суточную производительность котла воздушно – сухой целлюлозы в сутки (т.в.с.ц/сут), т;

$b$  – выход целлюлозы с 1 м<sup>3</sup> котла, кг;

$V_{\text{нетто}}$  – полезный объем котла ( $V_{\text{н/ф}}$  или  $V_{\text{н/б}}$ ), м<sup>3</sup>;

$t$  – оборот котла, час.

14. Рассчитать годовую производительность котла по формуле

$$Q_{\text{год}} = \frac{Q_{\text{сут}}}{K} \cdot 350, \quad (48)$$

где  $Q_{\text{год}}$  – годовая производительность котла, т/год;

$K$  – коэффициент годовых простоев котла,  $K = 1,03 - 1,08$ .

### Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику заданному процессу (способ варки, тип варочной жидкости, порода древесины и ее физические параметры, маркировка котла).
2. Перечислите технико – экономические показатели варки.
3. Дайте понятие «оборот котла».
4. Определите зависимость между плотностью и влажностью древесины.
5. Определите зависимость между степенью провара, временем варки и выходом целлюлозы из древесины.
6. Теория и факторы сульфитной варки.
7. Назовите факторы, влияющие на производительность котла.

## 10 Практическая работа № 4

**Тема:** *Расчет обезвоживающих элементов сеточной части*

**Цели:** – закрепить теоретический материал по теме;

– освоить правила подбора обезвоживающих элементов для заданной БДМ;

– изучить методику расчета мощности привода, расходуемую на преодоление трения сетки об отсасывающие ящики.

**Литература:** 1. Чичаев В.А. Оборудование ЦБП, т.2.

2. Лаптев В.Н., Практикум по оборудованию и технологии ЦБП.

### Методические указания

Бумагоделательная машина – головной агрегат ЦБП, представляющий собой непрерывно действующую поточную линию, на которой происходит превращение жидкой или воздушной суспензии в непрерывное полотно бумаги.

В соответствии с технологическим назначением отдельные части потока объединяются в *сеточную, прессовую, сушильную части, каландр и накат*. Сеточная часть БДМ предназначена для обезвоживания массы до сухости 12 – 28% и формования бумажного полотна и является основной частью, т.к. она обеспечивает свойства выпускаемой продукции. В зависимости от вида сеточной части БДМ разделяются на *плоскосеточные, круглосеточные и комбинированные*. Другими важнейшими параметрами БДМ являются ассортимент выпускаемой продукции, характеризующийся *весом 1 м<sup>2</sup> бумаги; ширина бумажного полотна в метрах и скорость БДМ по приводу в м/мин*. Ширина БДМ находится в пределах 2520 – 6730 мм, скорость – до 1000 м/мин.

Конструктивно **сеточная часть** состоит из *сеточного стола, сетки, обезвоживающих элементов, валов и механизмов*. Сеточный стол БДМ состоит из балок, образующих рамную конструкцию, на которой крепятся узлы сеточной части. Длина сеточного стола зависит от вида выпускаемой продукции.

В начале сеточного стола устанавливается грудной вал, в конце – приводной гауч, на них натягивается бесконечная движущаяся сетка. Под верхней рабочей ветвью сетки располагаются обезвоживающие элементы, под нижней – сетководущие валики, сеткоправильные и сетконатяжные валики с механизмами правки и натяжки.

**Сетки** ткются на станках и в зависимости от назначения бумаги различаются по материалу изготовления, номеру и способу плетения. Сетки бывают *металлические* (фосфористая бронза, полутомпак) и *синтетические* (капрон, нейлон, перлон и др.).

Продольная нить сетки называется **основой**, поперечная – **утком**. Нити образуют ячейки, величина которых характеризуется номером (№26 – №40).

**Номер сетки** показывает количество нитей основы на 1 см ширины сетки. Чем мельче волокнистая масса, тем выше должен быть номер сетки, чтобы мелкие волокна не уходили сквозь сетку. По способу плетения сетки бывают простые, двойные, тройные, крученые, полусаржевые.

Длина сетки ( $L_c$ ) зависит от скорости, производительности машины и свойств выпускаемой продукции и колеблется в пределах 12 – 54 метра. Ширина сетки ( $B_c$ ) зависит скорости БДМ, формата бумаги на накате и степени усадки бумаги при ее прессовании и сушке. Для тихоходных машин  $B_c = 2,5 - 3,6$  м; для средних –  $B_c = 3,6 - 4,7$  м; для быстроходных  $B_c = 4,7 - 7,2$  м. Площадь сеточного стола определяется как произведение длины сеточного стола на его ширину,  $m^2$ .

С технологической точки зрения сеточную часть можно условно разделить на *регистровую и отсасывающую*. В регистровой части происходит формирование бумажного полотна из разбавленной волокнистой суспензии и удаление из нее большей части воды под действием свободного стекания и отсасывающего действия регистровых валиков или элементов, заменяющих регистровые валики.

В отсасывающей части обезвоживание бумаги продолжается за счет искусственно созданного вакуума мокрых отсасывающих ящиков, отсасывающих ящиков обычного типа и отсасывающих ящиков типа Ротабелт.

**Формующий ящик** (рисунок 3а) устанавливается за грудным валом, предназначается для регулирования процесса обезвоживания и формирования полотна. Обычно используют сплошные формующие ящики или ящики, состоящие из отдельных планок. Переднюю кромку покрытия ящика заостряют, чтобы приблизить ее к грудному валу. На скоростных машинах иногда устанавливают гидропланки с рабочим углом  $0,5^\circ$ . Благодаря гидропланкам создается разрежение, которое прижимает сетку к формующему ящику и предохраняет ее от вибрации в районе грудного вала.

Планки формующего ящика изготавливают из высокомолекулярного полиэтилена или оксидной керамики, корпус – из нержавеющей стали. При сходе с грудного вала сетка несколько провисает, поэтому для уменьшения износа планок формующего ящика переднюю кромку ящика устанавливают ниже сетки на 1,5 – 3 мм, а заднюю кромку – на 0,5 – 1 мм.

При работе машины между сеткой и формующим ящиком не должно быть зазора, в который попадает вода и нарушается стабильность формирования. Во избежание захватывания воздуха ячейками сетки верхнюю губу напорного ящика устанавливают в таком положении, чтобы небольшая часть струи, выходящей из напорного ящика, попадала на сетку между грудным валом и формующим ящиком, а основная часть струи – на переднюю (широкую) планку формующего ящика.

Долгое время основными обезвоживающими элементами сеточного стола были **регистровые валики**, удаление воды на которых происходит под действием вакуума, возникающего в клиновом зазоре между валиком и сеткой на сбегавшей стороне (рисунок 1). Регистровые валики поддерживают сетку и способствуют обезвоживанию массы. Регистровые валики трубчатые из латуни или алюминия, или стальные с облицовкой медью или резиной. Диаметр регистрового валика  $D_p = 80 - 400$  мм, длина  $L_p$  на 130 – 150 мм больше ширины сетки, количество валиков зависит от их диаметра и длины сеточного стола.

При работе валиков часть удаленной из массы воды попадает в зазор между валиком и набегавшей стороной сетки и снова поступает через сетку в массу, создавая при этом кратковременный импульс давления. Следовательно, при использовании регистровых валиков обезвоживание массы протекает под воздействием чередующихся давления и разрежения. С повышением скорости машины резко увеличивается вакуум и давление, создаваемые регистровыми валиками, что приводит к ухудшению условий формования бумажного полотна.

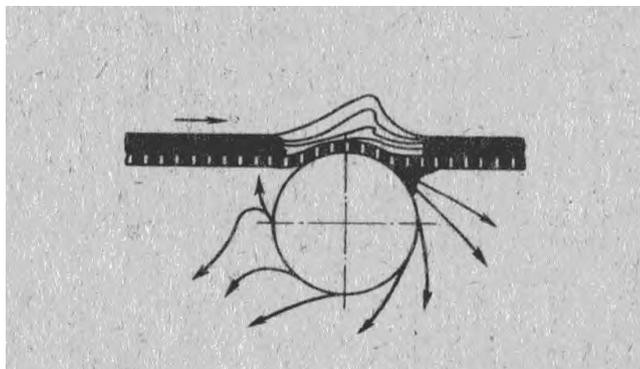


Рисунок 1 – Схема работы регистрового валика

В настоящее время на большинстве современных машин в качестве основных обезвоживающих элементов вместо регистровых валиков используют **гидропланки**, которые представляют собой разновидность шабера, устанавливаемого под углом  $1 - 4^\circ$  к сетке. Гидропланка передней своей кромкой, имеющей угол около  $30^\circ$ , снимает пленку воды, удерживаемую под сеткой силами поверхностного натяжения, и удаляет часть воды из волокнистого слоя вследствие небольшого разрежения, возникающего в клине между сеткой и наклонной поверхностью гидропланки (рисунок 2).

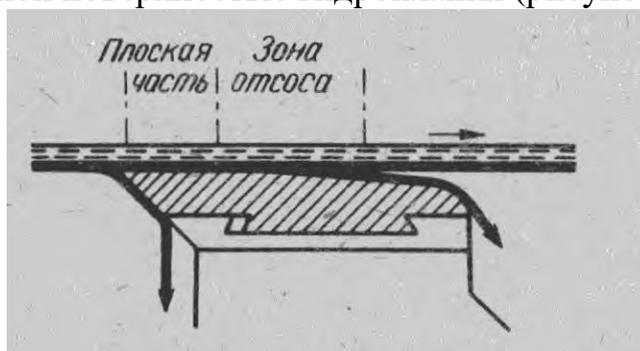


Рисунок 2 – Схема работы гидропланки

Величина вакуума, создаваемого гидропланками, в 2 – 5 раз меньше, чем создаваемого регистровыми валиками, а усилие от давления меньше в 20 – 25 раз. Вследствие этого гидропланки обеспечивают более лучшие условия для формования качественного бумажного полотна, и, кроме того, при их работе с удаляемой водой меньше уходит мелкое волокно, наполнитель и другие добавки, что имеет немаловажное значение для качества бумаги и экономики ее производства. Разрежение, создаваемое гидропланками, можно регулировать, изменяя угол ее наклона к сетке; оно возрастает по ходу бумажного полотна.

Обезвоживающее действие одной гидропланки значительно меньше, чем регистравого валика, однако из-за того, что вместо регистровых валиков на том же участке сеточного стола можно разместить большее число гидропланок, обезвоживающая способность сеточного стола в целом возрастает. Обычно общая ширина гидропланки составляет 50 – 120 мм, расстояние между гидропланками 150 – 400 мм. Обычно в начале сеточного стола гидропланки устанавливают с меньшим шагом. Их часто компонуют в отдельные ящики, по 3 – 6 отдельных гидропланок (рисунок 3б), благодаря чему получается более жесткая конструкция.

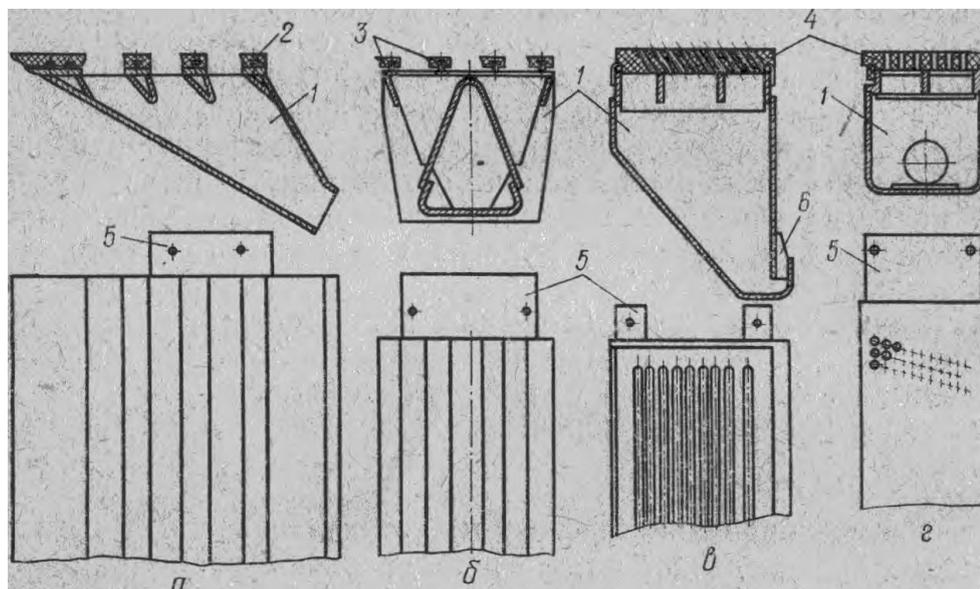


Рисунок 3 – Обезвоживающие элементы

а – формирующий ящик; б – ящик с гидропланками; в – мокрый отсасывающий ящик; г – отсасывающий ящик; 1 – корпус; 2 – планки; 3 – гидропланки; 4 – покрытие; 5 – устройства для крепления; 6 – гидрозатвор.

Гидропланки изготавливаются из высокомолекулярного полиэтилена с износостойкими вставками (шириной 10 – 12 мм) из нержавеющей стали с покрытием из карбида вольфрама. Находят применение гидропланки, изготовленные из оксидной керамики и отличающиеся высокой износостойкостью. Корпус гидропланки изготавливают сварным из нержавеющей стали.

За гидропланками в конце зоны формования в качестве обезвоживающих элементов сейчас широко используют **мокрые отсасывающие ящики** (рисунок 3в), в которых создается небольшой и легко регулируемый вакуум (2 – 7 кПа) за счет сифона удаляемой воды, а также подключения их в вакуумной системе обычных отсасывающих ящичков. Для удаления воды используются обычные гидрозатворы, располагаемые по всей длине ящика, или отдельные трубы, нижние концы которых опущены в подсеточное корыто, где поддерживается постоянный уровень воды.

Мокрый отсасывающий ящик (рисунок 3) представляет собой сварной нержавеющей корпус, сверху которого установлена плита из высокомолекулярного полиэтилена. Плита изготавливается с узкими щелями шириной 15 – 20 мм, направленными поперек машины. Живое сечение плиты около 50%. Ящики выпускаются шириной 240; 420 и 700 мм.

В конце сеточного стола, после достижения сухости бумажного полотна 2,5 – 3,0 % дальнейшее обезвоживание осуществляется на **отсасывающих ящиках** (рисунок 3г) под воздействием вакуума, создаваемого вакуумными насосами или турбовоздуходувками, который постепенно повышается от первого к последующим ящикам и составляет от 2 до 30 кПа. С увеличением вакуума интенсивность обезвоживания повышается, однако при этом увеличивается маркировка бумаги, повышается промой мелкого волокна и наполнителя, из-за чего качество бумаги ухудшается. Кроме того, повышение вакуума в отсасывающих ящиках резко сокращает срок службы сетки, так как сила трения сетки о крышки отсасывающих ящиков находится в прямой зависимости от величины вакуума. Для удаления воды используются гидрозатворы, монтируемые с приводной стороны машины.

Отсасывающие ящики обычно изготавливают сварными из нержавеющей стали, крышки – из полимерных или керамических материалов. Толщина крышек из полимерных материалов 50 мм, из керамических 20 – 30 мм. Отсасывающие ящики выпускаются шириной 220; 290 и 430 мм с живым сечением, составляющим 30 – 36 % от площади поверхности ящиков.

### Ход работы

1. Выписать исходные данные из таблицы 20.

Таблица 20 – Исходные данные

№ варианта	Ассортимент бумаги	Вес	Ширина БДМ	Скорость БДМ
У.О.		g	В <sub>БДМ</sub>	V <sub>БДМ</sub>
Е.И.		г/м <sup>2</sup>	мм	м/мин
1	копировальная	16	2520	300
2	оберточная	60	4200	600
3	конденсаторная	20	2520	150
4	мешочная	70	6300	750
5	газетная	45	6720	1000
6	упаковочная	40	4200	400
7	писчая	65	4200	450
8	для ЭВМ	40	4200	450
9	фильтровальная	100	2520	60
10	перфокарточная	170	4200	450

2. Расчет параметров сеточного стола.
  - 2.1 Определить ширину сетки по формуле

$$B_c = B + 100, \quad (49)$$

где  $B_c$  – ширина сетки, мм;

$B$  – ширина налива волокнистой суспензии, мм.

Ширина налива волокнистой суспензии определяется по формуле

$$B = \frac{B_{\text{БДМ}} \cdot 100}{100 - e} + 2a, \quad (50)$$

где  $B_{\text{БДМ}}$  – ширина машины на накате, мм;

$e$  – усадка полотна,  $e = 1 - 3\%$ ;

$a$  – ширина отсекаемой кромки на накате,  $a = 30 - 100$  мм.

2.2 Выбрать количество обезвоживающих элементов для заданной машины, т.е. формующих ящиков, гидропланок, мокрых и обычных отсасывающих ящиков, выписать их габариты (таблица А.7 Приложения А). При отсутствии заданной машины элементы выбираются по наиболее близким параметрам ( $g$ ,  $V$ ) или по графикам (рисунки Б.1 – Б.2 Приложения Б).

2.3 Определить длину сеточного стола по формуле

$$L = 0,8 \cdot n \cdot t + L_1 + L_2, \quad (51)$$

где  $L$  – длина сеточного стола, мм;

$n$  – число гидропланок, шт.;

$t$  – шаг между гидропланками, мм;

$L_1$  – длина стола, занимаемая мокрыми и обычными отсасывающими ящиками, мм;

$L_2$  – длина стола, занимаемая формующим ящиком, мм.

Полученный результат округлить до стандарта: 13, 17, 19, 22, 24 м.

3. Выбор и расчет отсасывающих ящиков обычного типа.

3.1 Вычертить в двух проекциях отсасывающий ящик обычного типа, обозначить узлы.

3.2 Выбрать материал изготовления и размеры корпуса и крышки, проставить на эскизе (таблица А.8 Приложения А; 1., с. 91, § 6.4.5; Справочник механика Т1.13).

3.3 Зная, что величина вакуума от ящика к ящику увеличивается, распределить вакуум в ящиках и рассчитать средний (таблица 21).

Таблица 21 – Величина вакуума в отсасывающих ящиках

Вид бумаги	Величина вакуума в	Величина вакуума в
------------	--------------------	--------------------

	первом ящике	последнем ящике
У.О.	$Ph_{НАЧ}$	$Ph_{КОН}$
Е.И.	$кг/см^2$	$кг/см^2$
Тонкая (до $g = 51 \text{ г/м}^2$ )	0,005	0,05
Толстая ( $g = 51 \text{ г/м}^2$ и более)	0,02	0,3

Средний вакуум в ящиках определяется по формуле

$$Ph_{СР} = \frac{Ph_1 + Ph_2 + \dots + Ph_n}{n}, \quad (52)$$

где  $Ph_{СР}$  – средний вакуум в ящиках,  $кг/см^2$ ;  
 $n$  – количество ящиков, шт.

3.4 Определить площадь живого сечения всех ящиков, приняв живое сечение одного ящика  $m_{я} = 36 \%$  по формуле

$$F = F_{бок} \cdot 0,36 \cdot n, \quad (53)$$

$$F_{бок} = V_{ящ} \cdot L_{ящ}, \quad (54)$$

где  $F$  – площадь живого сечения всех ящиков,  $см^2$ ;  
 $F_{бок}$  – площадь боковой поверхности одного ящика,  $см^2$ ;  
 $n$  – число отсасывающих ящиков, шт;  
 $V_{ящ}$  – ширина крышки ящика, см;  
 $L_{ящ}$  – длина крышки ящика, см.

4. Расчет мощности на преодоление трения между сеткой и ящиками.

4.1 Рассчитать силу трения между сеткой и отсасывающими ящиками по формуле

$$T = f_c \cdot F \cdot Ph_{СР}, \quad (55)$$

где  $T$  – сила трения между сеткой и отсасывающими ящиками, кгс;  
 $f_c$  – коэффициент трения сетки по крышкам ящиков, принять  $f_c = 0,12$  –  $0,15$  для полимерных материалов,  $f_c = 0,03$  –  $0,035$  для керамических материалов.

4.2 Рассчитать мощность по формуле

$$N = \frac{T \cdot V_c}{60 \cdot 102}, \quad (56)$$

$$V_c = 0,93 \cdot V_{\text{БДМ}}, \quad (57)$$

где  $N$  – мощность на преодоление трения между сеткой и ящиками, квч;  
 $V_c$  – скорость сетки.

### Контрольные вопросы

1. Основные параметры заданной БДМ.
2. Назначение сеточной части, правила выбора типа сетки и ее ширины.
3. Перечень обезвоживающих элементов в технологической последовательности.
4. Принцип обезвоживания массы на гидропланках и регистровых валиках.
5. Типы отсасывающих ящиков, принцип их работы.
6. Понятие живого сечения ящика.
7. Факторы, влияющие на срок службы сетки.

## **Заключение**

В данном методическом пособии приведены содержание и методика выполнения анализов и расчетов лабораторных и практических работ по курсу общепрофессиональной дисциплины «Технология отрасли». В приложения включены таблицы и рисунки для нахождения физических величин, необходимых для технологических расчетов.

### Список использованных источников

- 1 Гаузе А.А., Гончаров В.Н., Кугушев И.Д. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3-х т. Т.1. Сырьё и производство полуфабрикатов. – СПб., Политехника, 2004, С. 316.
- 2 Пен Р.З. Технология целлюлозы. В 2-х т. Т.1. Подготовка древесины. Производство сульфатной целлюлозы. 3-изд. Перераб. – Красноярск, СибГТУ, 2006, С. 344.
- 3 Пен Р.З. Технология целлюлозы. В 2-х т. Т.2. Производство сульфитной целлюлозы. Очистка, отбелка, сушка целлюлозы. 3-изд. Перераб. – Красноярск, СибГТУ, 2006, С. 350.
- 4 Чичаев В.А. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. Т. I. – М., Лесная промышленность, 1981, С. 369.
- 5 Чичаев В.А. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. Т. II. – М., Лесная промышленность, 1981, С. 264.
- 6 Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. – М., Академия, 2004, С. 272.
- 7 Непенин Н.Н. Производство целлюлозы. Т. I. Производство сульфитной целлюлозы. – М., Лесная промышленность, 1976, С. 624.
- 8 Непенин Н.Н. Производство целлюлозы. Т. II. Производство сульфатной целлюлозы. – М., Лесная промышленность, 1990, С. 600.
- 9 Поляков Ю.А., Рошин В.И. Технология сульфатной целлюлозы. – М., Лесная промышленность, 1987, С. 312.
- 10 Калинин М.И. Справочник механика целлюлозно-бумажного предприятия. – М., Лесная промышленность, 1983, С. 552.
- 11 Долгалева А.А. Методы контроля сульфат – целлюлозного производства. – М., Лесная промышленность, 1971, С. 344.
- 12 Лаптев В.Н., Ванчаков М.В. Практикум по технологии и оборудованию целлюлозно – бумажного производства. – М., Лесная промышленность, 1991, С. 208.
- 13 Оболенская А.В. Практические работы по химии древесины и целлюлозы. – М., Лесная промышленность, 1965, С. 412.
- 14 Правилова Т.А. Химический контроль производства сульфатной целлюлозы. – М., Лесная промышленность, 1984, С. 256.
- 15 <http://www.lesopromyshlennik.ru>

## Приложение А

Таблица А.1 – Удельная базовая производительность  $Q_0$  барабанов с механическими интенсификаторами окорки,  $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м})$

Диаметр барабана, м	Порода древесины	Период заготовки древесины		
		весна, лето	осень	зима
3	Ель, сосна, осина	1,5	1,1	0,3
3	Береза, лиственница	1,4	1,1	0,5
4	Ель, сосна, осина	2,0	1,4	0,4
4	Береза, лиственница	1,8	1,5	0,7

Таблица А.2 – Удельная базовая производительность  $Q_0$  барабанов с интенсификацией окорки водой и паром,  $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м})$

Диаметр барабана, м	Вид теплоносителя	Температура теплоносителя	Порода древесины		
			ель, пихта	сосна, осина	береза, лиственница
4	Вода	20	3,5	3,6	2,3
4	Вода	40	3,8	4,1	2,5
4	Вода	60	4,1	4,4	2,8
4	Пар	140	3,6	4,0	2,4
5	Вода	20	6,7	6,8	4,4
5	Вода	40	7,2	7,8	4,8
5	Вода	60	7,8	8,4	5,3
5	Пар	140	7,0	8,0	5,0

Таблица А.3 – Значения коэффициента  $K_w$

Температура коры	Относительная влажность, %		
	75 – 90	45 – 70	30 – 40
Положительная (лето, осень)	1,3	1,1	0,6 (для сухой окорки)
Отрицательная (весна, зима)	0,7	1,0	0,5 (для сухой окорки)

Таблица А.4 – Значение коэффициента  $K_1$

Средний диаметр балансов, м	Диаметр барабана, м		$K_1$	Средний диаметр балансов, м	Диаметр барабана, м		$K_1$
	4	5			4	5	
	Средняя длина балансов, м				Средняя длина балансов, м		
0,14	1,0	1,5	1,07	0,22	2,0	2,5	0,86
0,14	1,5	2,0	0,86	0,30	1,0	1,5	1,14
0,14	2,0	2,5	0,81	0,30	1,5	2,0	1,00
0,22	1,0	1,5	1,10	0,30	2,0	2,5	0,95
0,22	1,5	2,0	0,93				

Таблица А.5 – Значение коэффициента  $K_s$

Степень окорки, %	Порода древесины			Степень окорки, %	Порода древесины		
	ель, пихта	сосна, осина	береза, лиственница		ель, пихта	сосна, осина	береза, лиственница
98	0,88	0,80	0,85	90	1,12	1,15	1,2
95	1,0	1,00	1,00	80	1,25	1,25	1,53

Таблица А.6 – Условная плотность древесины

Абсолютная влажность $W_{абс}$ , %	Условная плотность древесины, $кг/м^3$ при плотности в абсолютно сухом состоянии, $г/см^3$										
	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36
0	460	450	440	430	420	410	400	390	380	370	360
5	446	437	427	418	408	399	389	380	371	361	351
10	435	426	417	407	398	389	380	370	362	352	343
15	427	418	410	401	391	382	373	365	356	347	337
20	421	412	403	394	386	379	369	360	351	343	334
25	418	409	400	391	383	374	366	357	348	340	331
30	416	407	398	389	381	372	364	355	346	338	329
35	416	407	398	389	381	372	364	355	346	338	329
40	416	407	398	389	381	372	364	355	346	338	329

Таблица А.7 – Обезвоживающие элементы

Основной вид бумаги	Скорость рабочая, м/мин	Длина сеточного стола, мм	Формующие ящики	
			количество, шт	ширина, мм
1. Бумага газетная 51 г/м <sup>2</sup>	800	19	1	675
2. Бумага писчая №1 45 – 80 г/м <sup>2</sup>	500	22	1	675
3. Бумага писчая №2 60 – 70 г/м <sup>2</sup>	700	22	1	675
4. Бумага для гофрирования 100 – 150 г/м <sup>2</sup>	550	24	1	675
5. Бумага мешочная 70 – 105 г/м <sup>2</sup>	600	24	1	675
6. Бумага оберточная односторонней гладкости 20 – 60 г/м <sup>2</sup>	450	13	1	675
7. Картон тарный 125 – 400 г/м <sup>2</sup>	550	24	1	675
8. Картон тарный 125 – 400 г/м <sup>2</sup>	400	17	1	675

Продолжение таблицы А.7

Основной вид бумаги	Ящики гидропланок				Общее количество планок	Мокрые отсасывающие ящики		Отсасывающие ящики	
	ширина, мм	количество ящиков	количество планок	шаг, мм		ширина, мм	количество, шт	ширина, мм	количество, шт
1. Бумага газетная 51 г/м <sup>2</sup>	750	5	3	375	40	420	4	305	9
	750	5	5	187,5					
2. Бумага писчая №1 45 – 80 г/м <sup>2</sup>	750	7	4	250	52	420	4	305	9
	750	4	6	150					
3. Бумага писчая №2 60 – 70 г/м <sup>2</sup>	1000	4	4	333	46	420	4	305	9
	1000	6	5	250					
4. Бумага для гофрирования 100 – 150 г/м <sup>2</sup>	750	6	4	250	60	420	6	305	11
	750	6	6	150					
5. Бумага мешочная 70 – 105	600	9	3	300	55	420	6	305	11
	600	7	4	200					

г /м <sup>2</sup>									
6. Бумага оберточная односторонней гладкости 20 – 60 г/м <sup>2</sup>	1000 1000	3 2	5 6	250 200	27	420	2	305	5
7. Картон тарный 125 – 400 г/м <sup>2</sup>	750 750	6 6	4 6	250 150	60	420	6	305	11
8. Картон тарный 125 – 400 г/м <sup>2</sup>	400 400	7 5	3 4	200 130	41	420	4	305	11

Таблица А.8 – Отсасывающие ящики

Обрезная ширина полотна, мм	Длина ящика, мм	Ширина покрытия, мм		Ширина корпуса ящика, мм	Высота ящика (до покрытия), мм
		Покрытие из высокомолекулярного полиэтилена, капролона	Покрытие из карбида кремния, керамики, полиуретана		
1680	2200	225	200	220	180
2100	2700	225	200	220	180
2520	3300	225	200	220	180
4200	5080	305	270	290	300
6300	7500	305	270	290	400
6300	7500	450	410	430	400
6720	7900	305	270	290	400
6720	7900	450	410	430	400

## Приложение Б

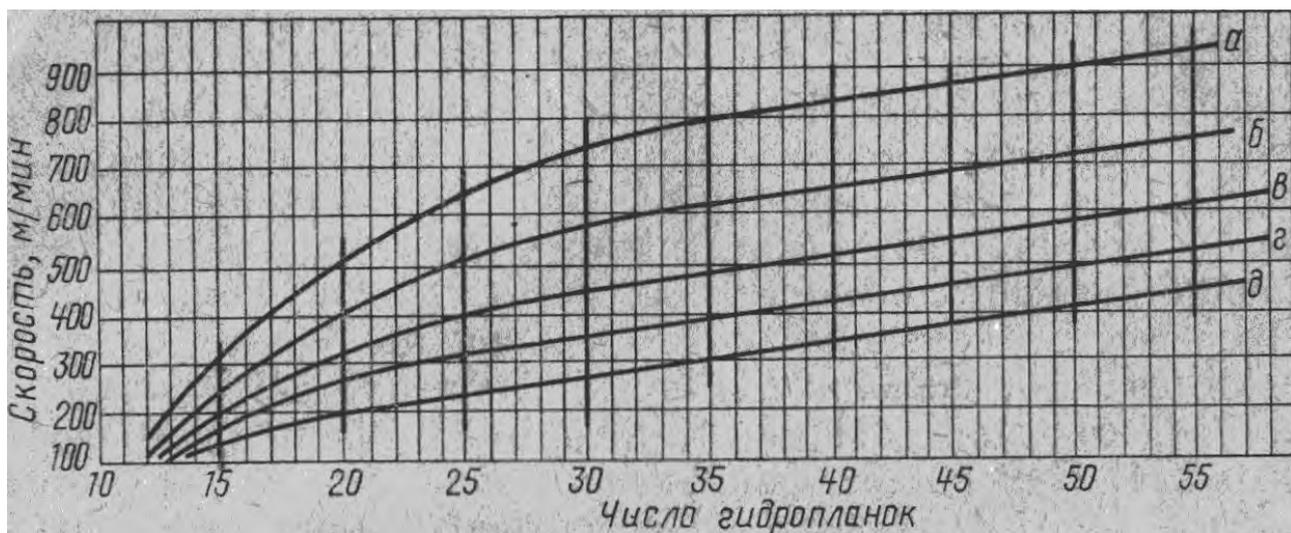


Рисунок Б.1 – График зависимости между скоростью машины и числом гидропланок

а – бумага газетная; б – бумага писчая, типографская №3; в – бумага мешочная; г – бумага типографская, писчая (№1 и 2), основа для покрытия, для гофрирования, картон; д – бумага тонкая, высокосортная.

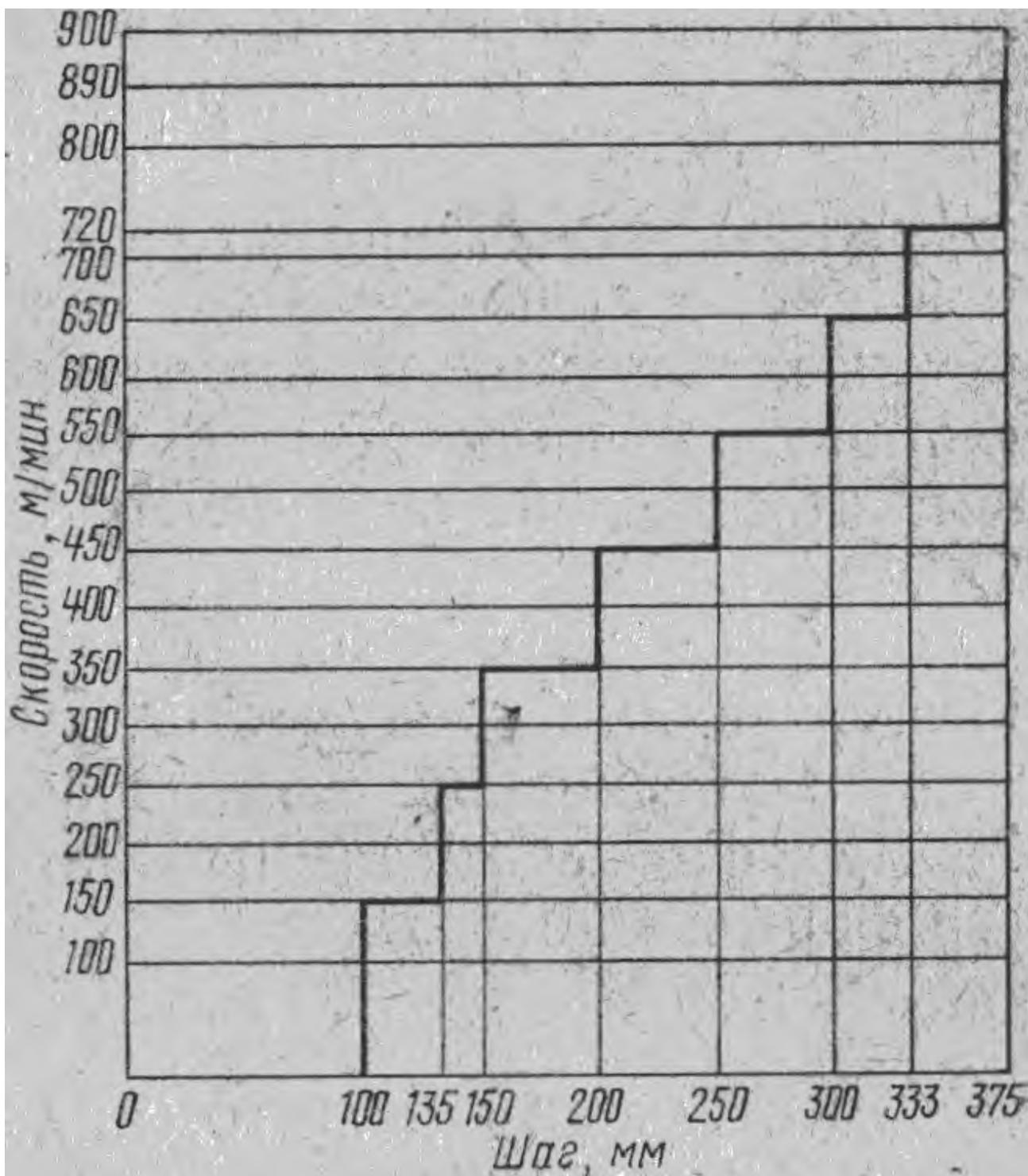


Рисунок Б.2 – График зависимости шага между гидропланками (в начале стола) от скорости машины