

ТЕХНОЛОГИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, БУМАГИ, КАРТОНА И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПО МАССОПОДГОТОВИТЕЛЬНОМУ ОТДЕЛУ И ЗАЛУ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

Методические указания к курсовой работе



Санкт-Петербург

2020

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Кафедра технологии бумаги и картона

ТЕХНОЛОГИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, БУМАГИ, КАРТОНА И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ
ПО МАССОПОДГОТОВИТЕЛЬНОМУ ОТДЕЛУ И ЗАЛУ
БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН**

Методические указания к курсовой работе

Санкт-Петербург

2020

УДК 676.024/056(07)

Технология целлюлозы, бумаги, картона и композиционных материалов. Основные технологические расчеты по массоподготовительному отделу и залу бумагоделательных машин: методические указания к курсовой работе/ сост. Л.Л. Парамонова, Д.И. Малютина; ВШТЭ СПбГУПТД.- СПб., 2020.- 62 с.

Цель данной работы - произвести расчет массоподготовительного отдела и зала бумагоделательных машин.

С учетом специфики заданной темы структура работы позволяет последовательно произвести расчет производительности бумагоделательной машины, расчет расхода полуфабрикатов, размалывающего оборудования, емкости бассейнов, оборудования для переработки оборотного брака.

Предназначены для студентов Института технологии направлений подготовки 18.03.01 «Химическая технология»; 18.04.01 «Химическая технология»; 15.03.02 «Технологические машины и оборудование».

Рецензент: д.т.н, профессор, зав.кафедры машин автоматизированных систем ВШТЭ СПбГУПТД А.В. Александров.

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой технологии бумаги и картона ВШТЭ СПбГУПТД. (протокол №1 от 31.08.20)

Утверждены к изданию методической комиссией Института технологии ВШТЭ СПбГУПТД. (протокол №1 от 31.08.20)

© Высшая школа технологии и энергетики
СПбГУПТД, 2020

© Парамонова Л.Л., Малютина Д.И., 2020

Редактор и корректор Т.А. Смирнова

Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2020 г., поз.41

Подп. к печати 8.06.2020.

Формат 60x84/16.

Бумага тип. № 1.

Печать офсетная.

Объем 4,0 печ.л; 4,0 уч.-изд.л.

Тираж 100 экз.

Изд. №41.

Цена "С" .

Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095,
Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д.4

Содержание

Введение.....	4
1. Технические условия на исходное сырье, химикаты и готовую продукцию	5
2. Технологическая схема и описание технологического процесса.....	24
2.1. Расчеты по массоподготовительному отделу.....	30
2.1.1. Расчёт производительности бумагоделательной машины и фабрики	30
2.1.2. Расчёт расхода свежих полуфабрикатов.....	32
2.1.3. Проверка расчёта размалывающего оборудования	34
2.1.4. Проверочный расчёт ёмкости бассейнов	35
2.1.5. Расчёт массных насосов.....	36
2.1.6. Расчет оборудования для переработки оборотного брака	37
2.2. Основные расчеты по цеху подготовки химикатов	38
2.2.1. Характеристика расхода проклеивающих и наполняющих веществ.....	38
2.2.2. Приготовление мела.....	40
2.3. Расчеты по залу бумагоделательной машины.....	42
2.3.1. Величина напора бумажной массы в напускном устройстве	42
2.3.2. Высота открытия щели напускного устройства.....	43
2.3.3. Основные параметры сеточного стола.....	43
2.3.4. Сухость бумажного полотна после прессов	45
2.3.5. Проверочный расчет производительности вакуум - насосов	46
2.3.6. Расчет количества бумагосушительных цилиндров	47
2.3.7. Расчет потребляемой мощности привода бумагоделательной машины	48
2.3.8. Проверка расчета оборудования для очистки и сортирования бумажной массы	49
2.3.8.1. Вихревые очистители	49
2.3.8.2. Узлоловители.....	50
2.3.9. Расчет оборудования для переработки мокрого брака.....	51
2.3.10. Расчет и подбор оборудования для отделки бумаги.....	52
2.3.11. Расчет производительности и мощности софт - каландра.....	52
2.3.11.1. Расчет продольно-резательного станка.....	52
2.3.11.2. Характеристика рулоно - упаковочного станка	53
2.3.12. Расчет площади склада готовой продукции	53
2.3.13. Конструктивный тепловой расчет бумагоделательной машины	54
Библиографический список.....	61

Введение

Производство бумаги всегда являлось сложным и энергоемким процессом, в современном мире складывающимся из следующих стадий:

- приготовление бумажной массы (размол и смешение компонентов, проклейка, наполнение и окраска бумажной массы);
- выработка бумажной массы на бумагоделательной машине (разбавление водой и очистка массы от загрязнений, отлив, прессование и сушка, а также первичная отделка);
- окончательная отделка (каландирование, резка);
- сортировка и упаковка.

При размолу древесным волокнам придают необходимые толщину и физические свойства. Размол производится в аппаратах периодического и непрерывного действия (роллах, конических и дисковых мельницах, рафинерах и др.). Чтобы сделать бумагу пригодной для письма и придать ей гидрофобные свойства, в бумажную массу вводят канифольный клей или парафиновую эмульсию, способствующие слипанию вещества (так называемая проклейка); для повышения связи между волокнами и увеличения механической прочности и жёсткости добавляют крахмал. Для повышения белизны, гладкости, мягкости и непрозрачности, а также улучшения печатных свойств бумаги вводят минеральные наполнители (каолин, мел, тальк); для придания цвета и повышения белизны - анилиновые (реже минеральные) красители. Все эти операции производятся в массоподготовительном отделе бумажной фабрики.

Цель данной работы - произвести расчет по массоподготовительному отделу изалу бумагоделательных машин.

С учетом специфики заданной темы структура работы позволяет последовательно произвести расчет производительности бумагоделательной машины, расчет расхода полуфабрикатов, размалывающего оборудования, емкости бассейнов, параметров БДМ, оборудования для переработки оборотного брака и расчет площади склада готовой продукции.

1. Технические условия на исходное сырье, химикаты и готовую продукцию

Показатели качества бумаги

Таблица 1. Показатели качества бумаги, выпускаемой в соответствии с ТУ 47-01-214-94

Показатель	Норма	Метод испытания
1	2	3
1. Масса бумаги, площадью 1 м ² , г	70±3,0 80±3,0 90±3,5 100±4,0 120±5,0 160±7,0 180±7,0 200±8,0	По ГОСТ 13199
2. Разрывная длина в машинном направлении, м, не менее: • для бумаги массой 1 м ² до 100 г • для бумаги массой 1 м ² свыше 100 г	3000 3500	По ГОСТ ИСО 1924-1
3. Поверхностная впитываемость воды при одностороннем смачивании (Кобб ₆₀), г/м ² , не более	30	По ГОСТ 12605
4. Белизна каждой стороны, %, не менее: • с оптическим отбеливателем • без оптического отбеливателя	93 82	По ГОСТ 30113 (ИСО 2470)
5. Гладкость каждой стороны, с, не менее: • бумаги машинной гладкости • бумаги каландрированной	20 80	По ГОСТ 12795
6. Стойкость поверхности к выщипыванию каждой стороны, м/с, не менее	2,0	По ГОСТ 24356
7. Массовая доля золы, %	5÷15	По ГОСТ 7629 (ИСО 2144)
8. Сорность (число соринки на 1 м ²) площадью: • от 0,1 до 0,5 мм ² , не более • св. 0,5 мм ²	130 не допускается	По ГОСТ 13525.4

1	2	3
9. Влажность, %	4,5÷7,0	По ГОСТ13525.19
10. Деформация, %, не более	+2,5	По ГОСТ12057.1

Таблица 2. Показатели качества бумаги, выпускаемой в соответствии с ГОСТ 9094-89

Показатель	Норма (первый сорт)	Метод испытания
1	2	3
1. Масса бумаги, площадью 1 м ² , г	65±2,5 +2,0 70 -3,0 +2,0 80 -4,0 +2,0 100 -6,0 +2,0 120 -6,0 +3,0 160 -7,0 220±7,0 240±7,0	По ГОСТ 13199
2. Разрывная длина м, не менее: в среднем по двум направлениям бумаги, предназначенной для листовой печати • для бумаги массой 1 м ² до 160 г • для бумаги массой 1 м ² свыше 160 г	2300 2500	По ГОСТ ИСО 1924-1
3. Прочность на излом при многократных перегибах в поперечном направлении, число двойных перегибов, не менее: для массы бумаги площадью 1 м ² 65, 70 г для массы бумаги площадью 1 м ² от 80 до 160 г для массы бумаги площадью 1 м ² 160 г и свыше	7 8 10	По ГОСТ 13525.2
4. Степень проклейки, мм	1,2÷1,8	По ГОСТ 8049
5. Белизна каждой стороны, %, не менее: • с оптическим отбеливателем • без оптического отбеливателя	83,0÷86,0 78,0÷82,0	По ГОСТ 7690

1	2	3
6. Гладкость, бумаги, с : • машинной гладкости • каландрированной	30÷80 80÷150	По ГОСТ 12795
7. Массовая доля золы, %	10÷14	ГОСТ 7629 (ИСО 2144)
8. Линейная деформация бумаги для листовой печати, %, не более в несколько листопрогонов в один листопрогон.	+2,2 +2,6	По ГОСТ 12057.1
9. Сорность (число соринок на 1 м ²) площадью: • от 0,1 до 0,5 мм ² , не более • св. 0,5 мм ²	100 не допускается	По ГОСТ 13525.4
10. Влажность бумаги, предназначенной для листовой печати, %	6,0±1,0	По ГОСТ 13525.19

Полуфабрикаты и основные химикаты, применяемые для производства заданной бумаги, должны соответствовать параметрам, установленным соответствующими ГОСТами и указанным в табл. 3.

Таблица 3. Показатели качества полуфабрикатов и основных химикатов

Наименование сырья, материалов, полуфабрикатов и энергоресурсов, нормативная документация	Показатели по нормативной документации	Показатели, обязательные для проверки перед использованием в производстве
1	2	3
1. Волокнистые полуфабрикаты		
Целлюлоза сульфатная беленая из смеси лиственных пород древесины ТУ ОП 5411-055-05711131-2000	Механическая прочность при размоле в мельнице ЦРА до 60 °ШР, разрывная длина, км, не менее: для марки «Стандарт» 7,0, для марки - «Экстра» - 8,0	Разрывная длина Сопротивление раздиранию Прочность на излом при многократных перегибах Белизна, Сорность

1	2	3
	<p>Белизна, %, не менее «Стандарт» - 87, «Экстра» - 89</p> <p>Сорность, мм²/кг, не более «Стандарт» - 4,0, «Экстра» - 3,0</p> <p>Влажность, %, не более - «Стандарт» - 20, «Экстра» - 20</p>	<p>Влажность рН водной вытяжки Присутствие оптического отбеливателя Яркость люминесценции</p>
<p>Целлюлоза сульфатная беленая из смеси лиственных пород древесины ГОСТ 28172-89</p>	<p>Механическая прочность при размоле в мельнице ЦРА до 60⁰ШР разрывная длина, км, не менее для марки ЛС-0 высший сорт – 7,5; ЛС-0 первый сорт – 6,8; ЛС- 1 высший сорт – 8,0; ЛС-1 первый сорт – 7,1; ЛС- 2 – 7,2; ЛС-3 – 7,0; ЛС-4 – 6,0</p> <p>Абсолютное сопротивление раздиранию, сН (гс), не менее для марки ЛС-0 высший сорт – 47 (48); ЛС-0 первый сорт – 47 (48); ЛС-1 высший сорт – 44 (45); ЛС-1 первый сорт – 44 (45); ЛС-2 – 45 (46); ЛС-3 – 41 (42);</p>	<p>Целлюлоза сульфатная беленая из смеси лиственных пород древесины ГОСТ 28172-89</p>

1	2	3
	<p>ЛС-4 – 35 (36)</p> <p>Прочность на излом, число двойных перегибов, не менее для марки ЛС-0 высший сорт, ЛС-0 первый сорт, ЛС-1 высший сорт, ЛС-1 первый сорт – 300;</p> <p>Белизна, %, не менее для марки ЛС-0 высший сорт – 89; ЛС-0 первый сорт – 89; ЛС-1 высший сорт – 87; ЛС-1 первый сорт – 87; ЛС-2 – 85; ЛС-3 – 82; ЛС-4 – 80</p> <p>Сорность, шт, соринок, площадью св 0,1 до 1,0 мм² включ., не более, для марки ЛС-0 высший сорт – 30; ЛС-0 первый сорт – 34; ЛС-1 высший сорт – 45; ЛС-1 первый сорт – 50; ЛС-2 – 60; ЛС-3 – 100; ЛС-4 – 150; св 1,0 до 2,0 мм²включ., не более, для марки ЛС-0 высший сорт – 1; ЛС-0 первый сорт – 2; ЛС-1 высший сорт – 2; ЛС-1 первый сорт – 3; ЛС-2 – 5; ЛС-3 – 10; ЛС-4 – 16; св. 2,0 мм² - не допускается</p> <p>рН водной вытяжки – 5,0÷7,0</p> <p>Влажность, %, не более 20</p>	

1	2	3
<p>Целлюлоза сульфатная беленая из хвойной древесины</p> <p>ГОСТ 9571-89</p>	<p>Механическая прочность при размоле в мельнице ЦРА до 60 °ШР разрывная длина, км, не менее: для марки ХБ-0 - 9,0, ХБ-1 - 7,8, ХБ-2 - 7,8, ХБ-4 - 7,4, ХБ-5 - 8,5, ХБ-6 - 8,7, ХБ-7 - 7,4</p> <p>Прочность на излом при многократных перегибах, число двойных перегибов, не менее: ХБ-0 – 1300, ХБ-1 – 1100, ХБ-2 – 800, ХБ-4 – 700, ХБ-5 – 1000, ХБ-6 – 1300, ХБ-7 - 800</p> <p>Белизна, %, не менее ХБ-0 – 90, ХБ-1 – 88, ХБ-2 – 86, ХБ- 4 – 87, ХБ-5 – 82, ХБ-6 – 80, ХБ-7 - 81</p> <p>Сорность, шт., для соринок</p> <ul style="list-style-type: none"> • площадью от 0,1 до 1,0 мм² включительно, не более: ХБ-0 – 25, ХБ-1 – 70, ХБ-2 – 70, ХБ-4 – 60, ХБ-5 – 90, ХБ-6 – 150, ХБ-7 – 120 • площадью свыше 1,0 до 2,0 мм² включительно, не более: ХБ-0, ХБ-1 – 0; ХБ-2, ХБ-4 – 2; ХБ-5 – 5; ХБ-6 – 15; ХБ-7 – 10 	<p>Разрывная длина</p> <p>Сопротивление раздиранию</p> <p>Прочность на излом при многократных перегибах</p> <p>Белизна</p> <p>Сорность</p> <p>рН водной вытяжки</p> <p>Влажность</p> <p>Присутствие оптического отбеливателя</p> <p>Яркость люминесценции</p>

1	2	3
	<p>• площадью свыше 2,0 до 3,0 мм² включительно, не более: ХБ-0 - 0, ХБ-1- 1, ХБ-2 - 2, ХБ-4- 4, ХБ-5 – 0;ХБ-6 – 5; ХБ-7 - 10</p> <p>площадью свыше 3,0 мм² - 0</p> <p>рН водной вытяжки 5,5÷7,0</p> <p>Влажность, %, не более 20</p>	
<p>Целлюлоза сульфатная беленая из хвойных пород древесины</p> <p>ТУ 5411- 003051501169-2002</p>	<p>Механическая прочность при размоле в мельнице ЦРА до 60⁰ШР или Јосго до 60⁰ШР разрывная длина, км, не менее: для марки ХБ-0 – 9,0, ХБ-1 – 8,5, ХБ-2 - 7,8</p> <p>Индекс раздирания, мН м²/г, не менее для марки ХБ-0 – 9,0, ХБ-1 – 8,3, ХБ-2 - 7,5</p> <p>Прочность на излом при многократных перегибах, число двойных перегибов, не менее для марки ХБ-0 – 1300, ХБ-1 – 1100, ХБ-2 – 800</p> <p>Белизна, %, не менее для марки ХБ-0 – 90, ХБ-1 – 89, ХБ-2 – 87</p>	<p>Разрывная длина</p> <p>Сопротивление раздиранию</p> <p>Прочность на излом при многократных перегибах</p> <p>Белизна</p> <p>Сорность</p> <p>рН водной вытяжки</p> <p>Влажность</p> <p>Присутствие оптического отбеливателя</p>

1	2	3
	Сорность, шт., не более для марки ХБ-0 – 10, ХБ-1 – 15, ХБ-2 – 25 рН водной вытяжки – 5,5÷7,0 Влажность, %, не более 20	Яркость люминесценции
2.Наполнители		
Мел природный тонкодисперсный Марки МПНБ-2 ТУ 21-16232-01-91	Массовая доля углекислого кальция и углекислого магния в пересчете на углекислый кальций, %, не менее 97,0 Белизна (коэффициент отражения), %, не менее: 84 Остаток на сите, %, не более: <ul style="list-style-type: none"> • на сите с сеткой № 02 - 0,05 • на сите с сеткой № 009 - 0,40 Массовая доля водорастворимых веществ, %, не более 0,1 Массовая доля влаги, %, не более 10	Белизна Остаток на сите сеткой № 02 и №009 Массовая доля влаги
Каолин фракционированный обогащенный марки КНФ - 84 ТУ У 21.133-97	Белизна (коэффициент отражения), %, не менее 84 Остаток на сите с сеткой № 0045, %, не более 0,05 рН водной вытяжки 5,0÷7,0 Массовая доля влаги, %, не более 15	Белизна Остаток на сите с рН водной вытяжки Массовая доля влаги

1	2	3
3.Клей для внутримассной проклейки		
Нейтральный клей «Hydrores 350 M»	Тип продукта: димералкилкетена (АКД) Внешний вид: эмульсия молочно-белого цвета Содержание сухого вещества, %15,6÷17,4 Плотность (25 °С), кг/м ³ 1000 Вязкость, мПа·с (25 °С), не более 50 рН: 3,2÷4,2 Активный ингредиент АКД- wax, %:14,7÷15,3 Характер зарядакатионный	Внешний вид Содержание сухого вещества Плотность при t=20 °С Вязкость рН
Нейтральный клей «Vazoplast 860 D»	Тип продукта: димералкилкетена (АКД) Внешний вид: эмульсия молочно-белого цвета Плотность (20 °С), г/см ³ 1,02 рН (20 °С) ~3,5 Вязкость по Брукфильду (20 °С), мПа·с, не более 600	Внешний вид Плотность t=20 °С рН Вязкость Содержание сухого вещества
Нейтральный клей «Keidime C222»	Тип продукта: димералкилкетена (АКД) Внешний вид: эмульсия молочно-белого цвета Содержание сухого вещества, %18,5±1,0 Плотность (20 °С), кг/м ³ 1010±10 Вязкость по Брукфильду (20 °С), мПа·с, не более: 150 рН2,5÷4,5 Характер заряда катионный	Внешний вид Содержание сухого вещества Плотность t=20 °С Вязкость рН

1	2	3
Нейтральный клей «Aquarel J215»	Тип продукта: димералкилкетена (АКД) Внешний вид: эмульсия молочно-белого цвета Содержание сухого вещества, % 17,4±0,5 Плотность (20°C), кг/м ³ 1020 Вязкость по Брукфильду (25 °C), мПа·с, не более 100 рН 2,5±0,5 Характер заряда катионный	Внешний вид Содержание сухого вещества Плотность t=20 °C Вязкость рН Степень агломерации
Нейтральный клей «Aquarel 320»	Тип продукта: димералкилкетена (АКД) Внешний вид: эмульсия молочно-белого цвета Содержание сухого вещества, % 21,8±0,5 Плотность (20°C), кг/м ³ 1020 Вязкость по Брукфильду (25 °C), мПа·с, не более 50 рН 2,0÷3,5 Характер заряда катионный	Внешний вид Содержание сухого вещества Плотность t=20 °C Вязкость рН Степень агломерации
Крахмал картофельный «EmcatCF/T»	Внешний вид: белый порошок Влажность, % 19,5 Содержание азота, % 0,38 рН (раствор 1:1,5) 7,5 Степень замещения 0,044 Характер заряда катионный	Внешний вид Влажность рН 2 % и 40 % раствора Вязкость 2 % раствора Степень клейстеризации Кислотность 0,1 NNaOH

1	2	3
Крахмал «С-Bond» 35804, 35806	Внешний вид: белый порошок Влажность, % 35804 - 17,5, 35806 – 16,5÷18,5 рН (30 % раствор) 35804 - 4,0, 35806 – 5,7 Степень замещения 35804 – 0,034, 35806 – 0,056 Вязкость (3 % раствор, 50 °С), мПа·с, 35804 – не более 200, 35806 – 100÷300	Внешний вид Влажность рН 2 % и 30 % раствора Вязкость 2 % раствор Степень клейстеризации Кислотность 0,1 NNaOH
Крахмал «RAYSAMYL 135 ВР»	Внешний вид: белый порошок Влажность, % 18,0±2,0 Содержание азота, %: 0,29±0,02 рН 6,0÷8,0 Вязкость (5 % раствор, 60 °С), мПа·с, не менее 1000 Характер заряда катионный	Внешний вид Влажность рН 2 % и 40 % раствора Вязкость 2 % раствора Степень клейстеризации Кислотность 0,1NNaOH
Крахмал «RAYSAMYL® 145»	Внешний вид: белый порошок Влажность, % 18,0±2,0 Содержание азота, % 0,29±0,02 рН 6,5÷7,5 Степень замещения 0,045 Характер заряда катионный	Внешний вид Влажность рН 2 % и 40 % раствора Вязкость 2 % раствора Степень клейстеризации Кислотность 0,1NNaOH

1	2	3
Крахмал «Empresol NE 25E»	Внешний вид: белые гранулы Влажность, %, не более 16,0 Содержание азота, %, не более 0,30 рН (5 % раствор), не более 9,0 Степень замещения, не более 0,035 Характер заряда катионный	Внешний вид Влажность рН 2 % и 40 % раствора Вязкость 2 % раствора Степень клейстеризации Кислотность 0,1N NaOH
4.Клей для поверхностной проклейки		
Крахмал картофельный окисленный «ЕмохТSC»	Внешний вид: белый кристаллический порошок Влажность, %: 20 рН (40 % раствор) 7,0 Температура клейстеризации, °С 55÷60 Характер заряда: анионный	Внешний вид Влажность рН 2 % и 40 % раствора Вязкость 2 % раствора Степень клейстеризации Кислотность 0,1N NaOH
Крахмал картофельный окисленный «ЕмохТО 2540»	Внешний вид: белый кристаллический порошок Влажность, % ≤14,0 рН (раствор 1:1,5) 5,5÷7,0 Вязкость по Брукфильду (20% суспензия, 50°С), мПа·с ≤80 Температура клейстеризации, °С: 55÷60 Характер заряда анионный	Внешний вид Влажность рН 2 % и 40 % раствора Вязкость 2 % раствора Степень клейстеризации Кислотность 0,1N NaOH

1	2	3
<p>Натрий-карбоксиметилцеллюлоза ТУ 2231-002-50277563-2000 марки «Камцел-300»</p>	<p>Внешний вид: мелкозернистый сыпучий материал от светло-желтого до бежевого цвета Остаток на сите №1,25К, %, не более 2 Влажность, % 10 Степень замещения по карбоксиметильным группам 60÷75 Массовая доля основного вещества в абсолютно сухом продукте, %, не менее - 50 Степень полимеризации 450 Растворимость в воде в пересчете на абсолютно-сухой продукт, %, не менее 97 рН суспензии концентрацией 2 % 6,5÷11,0 Вязкость по Брукфильду (2 % раствор, 20 °С), мПа·с 20÷1500</p>	<p>Внешний вид Влажность Растворимость в воде рН Вязкость</p>
5. Удерживающие агенты		
<p>Флокулянт «Праестол 851 ВС» ТУ 2216-001-40910172-98</p>	<p>Внешний вид: белый сыпучий порошок Насыпная плотность, кг/м³ 550÷650 Объемная доля геля, см³/1000 см³ менее 30 Динамическая вязкость 1% р-ра в 10% р-ре NaCl, мПа·с не менее 550 Массовая доля остаточного акриламида, % не более 0,1</p>	<p>Внешний вид Динамическая вязкость</p>

1	2	3
Силиказоль «ВМА-780»	Тип продукта – водная дисперсия, содержащая 7,1÷7,9 % SiO ₂ Внешний вид: легкоподвижная, почти прозрачная жидкость Плотность, кг/м ³ : 1047÷1052 рН 8,2÷9,2	Внешний вид Плотность рН
6. Красители		
Краситель прямой фиолетовый С ТУ 6-36-0204187-460-89	Внешний вид: порошок темно-фиолетового цвета Концентрация по отношению к стандартному образцу, 100% Оттенок Растворимость в воде, балл, не менее 4	Внешний вид Оттенок
Краситель Pergazol VIOLET BN-Z	Внешний вид: жидкость темно-фиолетового цвета Плотность, кг/м ³ 1,00÷1,20 рН 5,5÷7,5 Вязкость (по Брукфильду) при 25 °С, мПа·с: ≤100	Внешний вид Плотность рН Вязкость Оттенок
7. Оптические отбеливатели		
Оптический отбеливатель «TinopalABP»	Тип продукта: производное стильбен-дисульфоновой кислоты Внешний вид: жидкость желтого цвета Плотность (25 °С), кг/м ³ ~ 1150 рН 8,5÷9,5 Вязкость (25 °С), мПа с, не более: 50 Характер заряда: анионный	Внешний вид Плотность рН Вязкость Белизна

1	2	3
8. Вспомогательные материалы		
<p>Натрий двууглекислый (NaHCO₃) ГОСТ 2156-76</p> <p>Внешний вид: кристаллический порошок белого цвета без запаха</p> <p>Массовая доля двууглекислого натрия, %, не менее 1 сорт – 99,5, 2 сорт - 99,0</p>	<p>Массовая доля углекислого натрия, %, не более 1 сорт – 0,4, 2 сорт -0,7</p> <p>Массовая доля хлоридов в пересчете на NaCl, %, не более 1 сорт – 0,02, 2 сорт -0,04</p> <p>Массовая доля железа (Fe), %, не более 1 сорт – 0,001, 2 сорт -0,005</p> <p>Массовая доля Ca, %, не более 1 сорт – 0,04, 2 сорт - 0,05</p> <p>Массовая доля сульфатов в пересчете на SO₄⁻², %, не более 1 сорт – 0,02, 2 сорт - 0,02</p> <p>Массовая доля влаги, %, не более 1 сорт – 0,1, 2 сорт - 0,2</p> <p>Внешний вид</p>	<p>Массовая доля двууглекислого натрия</p> <p>Массовая доля углекислого натрия</p> <p>Массовая доля влаги</p>
<p>Натр едкий технический ГОСТ 2263-79 1 сорт Марка-ТД– твердый диафрагменный марка РД – раствор диафрагменный</p>	<p>Внешний вид: ТД – плавленная масса белого цвета, допускается слабая окраска, РД - бесцветная или окрашенная жидкость, допускается выкристаллизованный осадок</p> <p>Массовая доля гидроксида натрия, %, не менее: ТД - 94,0, РД-44,0</p>	<p>Внешний вид</p> <p>Массовая доля гидроксида натрия</p>

1	2	3
	<p>Массовая доля углекислого натрия, %, не более ТД –1,0, РД-0,8</p> <p>Массовая доля хлористого натрия, %, не более ТД –3,5, РД-3,8</p> <p>Массовая доля железа в пересчете на Fe₂O₃, %, не более ТД–0,03, РД - 0,02</p>	
<p>Стекло натриево-жидкое, марка Б ГОСТ 13078-81</p>	<p>Внешний вид: густая жидкость желтого или серого цвета</p> <p>Содержание окиси натрия, %: 8,7÷12,2</p> <p>Содержание кремнезема, % 24,3÷31,9</p> <p>Силикатный модуль 2,6÷3,0</p> <p>Плотность, г/см³ 1,36÷1,45</p> <p>Массовая доля окиси железа и окиси алюминия, % не более 0,25</p> <p>Массовая доля окиси кальция, %, не более 0,20</p>	<p>Внешний вид:</p> <p>Содержание окиси натрия</p> <p>Содержание кремнезема</p> <p>Силикатный модуль</p> <p>Плотность</p> <p>Вязкость</p>
<p>Картон прокладочный хром-эрзац «Ладога» ТУОП 5453-011 04766356- 00</p>	<p>Масса картона площадью 1 м², г: 420±15</p> <p>Толщина, мм: 0,60</p> <p>Удельный объем, см³/г 1,42^{+0,04} - 0,07</p> <p>Жесткость при статическом изгибе, Н ·см</p>	<p>Масса 1 м²</p> <p>Толщина</p> <p>Жесткость при статическом изгибе</p>

1	2	3
	<ul style="list-style-type: none"> • поперечное направление – 1,40±0,20 • продольное направление – 4,20±0,20 Жесткость по LorentzenWettre, мН <ul style="list-style-type: none"> • поперечное направление – 250±50 • продольное направление – 750±150 Энергия связей по Скотт-Бонду, Дж/м ² , не менее 90 Поверхностная впитываемость воды при одностороннем смачивании картона площадью 1 м ² , г <ul style="list-style-type: none"> • со стороны покровного слоя – 50 • со стороны нижнего слоя -60 Белизна со стороны покровного слоя, %, не менее: 82 Влажность, %: 8,0 ^{+1,5} _{-1,0}	Поверхностная впитываемость воды при одностороннем смачивании Влажность
Картон хром-эрзац ламинированный полиэтиленом ТУОП 5453-005-04766356-98	Масса полиэтиленового покрытия площадью 1 м ² , г: 20±4 Степень адгезии полиэтиленового покрытия к картону, балл: 1	Масса полиэтиленового покрытия площадью 1 м ² Степень адгезии полиэтиленового покрытия к картону Поверхностная впитываемость воды при одностороннем смачивании
Оберточная бумага марки «Ж» ГОСТ 8273-75	Масса 1 м ² , г 100 ⁺⁴⁻⁵	Масса 1 м ² Разрывная длина

1	2	3
	<p>Разрывная длина, м, не менее 3200</p> <p>Проклейка, мм, не менее 1,4</p> <p>Влажность, %, не более 10,0</p>	<p>Проклейка</p> <p>Влажность</p> <p>Композиция</p> <p>Сопротивление продавливанию</p> <p>Сопротивление раздиранию</p>
<p>Пленка полиэтиленовая марки Н ГОСТ 10354-82</p>	<p>Размеры полотна, мм</p> <p>- ширина – 1000, 1100, 1250, 1350, 1500</p> <p>- толщина – 0,060</p> <p>Внешний вид: пленка не должна иметь трещин, запрессованных складок, разрывов и отверстий</p> <p>Прочность при растяжении, МПа, (кгс/см²), не менее</p> <p>- в продольном направлении – 14,7 (150),</p> <p>- в поперечном направлении – 13,7 (140)</p> <p>Относительное удлинение при разрыве, %, не менее</p> <p>- в продольном направлении – 250</p> <p>- в поперечном направлении - 350</p>	<p>Ширина</p> <p>Толщина</p> <p>Внешний вид</p> <p>Качество намотки</p>

Таблица 4. Размеры одежды БДМ №4

ОДЕЖДА БДМ №4		
Сетка «Россет №60»	Размеры, мм: 29750x2850	Размеры
Нижняя сетка 1 пресса «Гешмай»	Размеры, мм: 18000x2700	Размеры
Верхняя сетка 1 пресса «М-10»	Размеры, мм: 18000x2700	Размеры

Сетка 2 пресса «ВumTechno»	Размеры, мм: 13500x2700	Размеры
Сетка 3 пресса «Олбани»	Размеры, мм: 13500x2700	Размеры
Сетка 4 пресса «Гешмай»	Размеры, мм: 13500x2700	Размеры
Сушильная сетка 1 группы нижняя «АП-8»	Размеры, мм: 20000x2800	Размеры
Сушильная сетка 1 группы верхняя «АП-8»	Размеры, мм: 20000x2800	Размеры
Сушильная сетка 2 группы нижняя «АП-12»	Размеры, мм: 20000x2800	Размеры
Сушильная сетка 2 группы верхняя «АП-12»	Размеры, мм: 20000x2800	Размеры
Сушильная сетка 3 группы нижняя «АТЛ-35»	Размеры, мм: 20000x2800	Размеры
Сушильная сетка 3 группы верхняя «АП-8»	Размеры, мм: 20000x2800	Размеры
Сушильная сетка 4 группы нижняя «АТ-35»	Размеры, мм: 20000x2800	Размеры
Сушильная сетка 4 группы верхняя «АЭРО-2000»	Размеры, мм: 20000x2800	Размеры
Сушильная сетка 5 группы нижняя «АП-12»	Размеры, мм: 20000x2800	Размеры
Сушильная сетка 5 группы верхняя «АП»	Размеры, мм: 20000x2800	Размеры
Сушильная сетка 6 группы нижняя «М-10»	Размеры, мм: 20000x2800	Размеры
Сушильная сетка 6 группы верхняя «М10»	Размеры, мм: 20000x2800	Размеры
Вода производственная	рН: 6,1÷6,4 Цветность, градусы (х), не более: 10	рН Цветность

	Содержание взвешенных веществ, мг/л, не более: 2,0 Перманганатная окисляемость, мг O ₂ /л, не более: 25 Щелочность, мг/л: 0,14÷0,20 Остаточный Сl ⁻ , мг/л, не менее: • в зимнее время - 0,3 • в летнее время - 0,5 Содержание Fe ³⁺ , мг/л, не более: 0,1 Содержание Al ³⁺ , мг/л, не более: 0,1	Перманганатная окисляемость Щелочность Остаточный Сl ⁻ Жесткость общая
Пар	Давление, мПа (кг/см ²): 0,4÷0,6 (4-6) Температура, °С: 150÷170	Давление Температура
Сжатый воздух	Давление, мПа (кгс/см ²): 0,5 (5,0)	Давление

2. Технологическая схема и описание технологического процесса

Приготовление дисперсии наполнителя и растворов химических реагентов

Приготовление дисперсии мела

Гидроразбиватель объемом 4,1 м³ заполняют водой и при работающем перемешивающем устройстве из бункера объемом 10 м³ цепным транспортером подают мел.

После перемешивания в течение 1÷2 минут дисперсию через клапан опорожнения перекачивают центробежным насосом в бак-аккумулятор, оснащенный вертикальной мешалкой. Из бака-аккумулятора дисперсия мела центробежным насосом подается в вибросортировки со сменным ситом. Отсортированная дисперсия через клапан поступает в бак-аккумулятор, оснащенный уровнемером. Отходы сортирования поступают в сборник отходов объемом 40 л, а затем направляются в капроновый мешок.

Дисперсия мела центробежным насосом производительностью 18 м³/ч подается в расходный бак бумагоделательной машины №4.

Приготовление раствора крахмала для поверхностной проклейки

Раствор крахмала для поверхностной проклейки готовится в соответствии с временной инструкцией. В миксер, оснащенный спиралевидной мешалкой и

паровой рубашкой, заливают $2,0 \div 2,5$ м³ производственной воды. При работающей мешалке осуществляют загрузку в миксер 75кг порошка крахмала, добавляют воду до объема 3,5 м³. Концентрация готового крахмала должна быть $(2,0 \pm 0,1)$ %. Полученную суспензию перемешивают, поднимая температуру до $90 \div 92$ °С, и при этой температуре продолжают перемешивание в течение $15 \div 20$ минут до получения прозрачного раствора. Готовый раствор шнековым насосом подают в расходный бак.

Подача нейтрального клея

Нейтральный клей поступает в контейнер емкостью 1 м³. Подача клея в линию осуществляется дозирующим насосом через расходомер. Для разбавления клея в его линию подается производственная вода, расход которой контролируется по месту ротаметром.

Подача удерживающего реагента

Удерживающий реагент поступает в контейнер емкостью 1 м³. Подача удерживающего реагента в линию осуществляется дозирующим насосом через расходомер. Для разбавления клея в его линию подается производственная вода, расход которой контролируется по месту ротаметром.

Приготовление раствора красителя

Приготовление раствора красителя осуществляется в соответствии с инструкцией ТИ 1.25101.00013. Нагревают воду в баке объемом 4,5 м³ до $85 \div 90$ °С, горячую воду сливают в бак-растворитель красителя на $\frac{3}{4}$ его объема (1,0 м³) и включают пропеллерную мешалку. На электронных весах взвешивают расчетное количество красителя и засыпают в бак-растворитель, перемешивают раствор красителя в течение $50 \div 60$ минут. Готовый раствор сливают в приемный контейнер-аккумулятор, фильтруя через капроновый мешок, добавляют горячую воду для доведения раствора до заданной концентрации.

Поток целлюлозной массы

Кипы сульфатной беленой хвойной целлюлозы и сульфатной беленой лиственной целлюлозы подающим транспортером направляются в гидроразбиватель, куда подается также осветленная вода из бака оборотной воды объемом 7м³, подпитка которого осуществляется производственной водой, поступающей из магистрали.

Одновременно с подачей оборотной воды дозируются раствор красителя и отбеливателя. Целлюлозная масса после роспуска подается насосом производительностью 4000 л/мин в бассейн №2 неразмолотой целлюлозы объемом 50м³, оснащенный циркуляционными устройствами, и далее насосом ТНН производительностью 1200 л/мин подается на размол. Уровень в бассейне №2 контролируется уровнемером.

Размол осуществляется последовательно в мельницах: конических и дисковых. Концентрация массы перед размолом поддерживается регулятором

концентрации подачи оборотной воды из напорного бака. Давление в массопроводе поступающей на размол массы управляется регулятором давления массы, а поступающей в дисковые и конические мельницы и на выходе из них контролируется манометрами.

Управление процессом размола и подачей размолотой массы в технологический поток осуществляется с использованием автоматизированной системы управления на базе комплекса технических и программных средств фирмы. Размолотая целлюлоза подается в бассейн №5 размолотой целлюлозы, снабженный циркуляционным устройством, а далее насосом производительностью 1200 л/мин подается в составитель композиции. Уровень в бассейне №5 контролируется уровнемером. Концентрация массы перед составителем композиции поддерживается регулятором концентрации подачи оборотной воды из напорного бака, а расход целлюлозы регулируется расходомером, установленным на массопроводе.

Поток оборотного брака

В гидроразбиватель сухого брака подаются:

- технические отходы (некондиционная продукция предыдущих партий бумаги),
- сухой оборотный брак БДМ,
- обрезная кромка с ПРС.

Количество сухого брака определяется следующими факторами:

•для отбора на лабораторный анализ необходимо 70 погонных метров бумаги (два прогона сетки),
кромка на ПРС – 50 мм,

•сухой оборотный брак, образующийся при резке бумаги на продольно-резательном станке, составляет: срывы с тамбура - 1 % от первоначальной массы тамбура, срывы до резки и после резки второго съема – 0,5 % от первоначальной массы тамбура.

Поток бумажной массы

Из машинных бассейнов бумажная масса насосом производительностью 1500 л/мин подается в домалывающий рафинер. Поддерживание концентрации бумажной массы на заданном уровне осуществляется регулятором управляющим подачей в линию оборотной воды из напорного бака.

Бумажная масса подается в ящик постоянного напора, оснащенный автоматическим регулятором уровня и переливом в машинные бассейны. Из ящика постоянного напора бумажная масса под постоянным давлением поступает во всасывающий патрубок 1-го смесительного насоса производительностью 8000 л/мин.

Во всасывающий патрубок 1-го смесительного насоса также поступает:

- перелив из бака-деаэратора
- регистровая вода из бассейна регистровой воды
- отходы сортирования II ступени вихревой очистки
- крахмальный клей из расходного бака

Бумажная масса поступает в трехступенчатую установку вихревых очистителей:

- I ступень – 12 очистителей производительностью 450 м³/ч
- II ступень -6 очистителей производительностью 132 м³/ч
- III ступень – 3 очистителя производительностью 60 м³/ч

Отсортированная бумажная масса поступает в напорный ящик закрытого типа, а отходы сортирования и деаэрационный поток – в сборник отходов. Из напорного ящика бумажная масса поступает на сеточную часть. Размер сетки: 29750x2850 мм

Сеточная часть включает:

- механизм тряски, оснащенный электродвигателем, обеспечивающим тряску с амплитудой 0÷22 мм, частотой колебаний 75÷ 225 кол./мин.

- двухрубашечный грудной вал
- четыре регистровых валика (108÷112)
- девять комплектов гидропланок по три в каждом
- десять отсасывающих ящиков с поверхностью перфорации, равной 40 % общей поверхности

- мокрый отсасывающий ящик
- двухкамерный отсасывающий гауч-вал с приводом от электродвигателя
- сеткоповоротный валик с приводом от электродвигателя
- двасетконаправляющих валика
- сетконатяжной валик
- два сетководущих валика с приводом от электродвигателя

Прессование бумажного полотна

После гауч-вала бумажное полотно поступает в прессовую часть, которая включает четыре прессы:

- I пресс с двумя сетками, нижний вал (115) – отсасывающий с приводом от электродвигателя
- II пресс, нижний вал (117) с приводом от электродвигателя
- III пресс, нижний вал (119) с приводом от электродвигателя
- IV пресс (может быть использован как офсет-пресс) нижний вал (121) с приводом от электродвигателя
- башмачный

Промывка сеток осуществляется спреями высокого и низкого давления теплой водой. Удаление промывной воды из верхней сетки осуществляется отжимным прессом

- Удаление промывной воды из нижней сетки осуществляется отжимным прессом.

Сушка бумажного полотна

Сушильная часть по приводу разбита на следующие группы:

№ группы по приводу	№ бумагосушильного цилиндра
I	1, 2, 3, 4
II	5, 6, 7, 8
III	9, 10, 11, 12
IV	13, 14, 15, 16
V	18, 19, 20, 21
VI	22, 23, 24

Каждая группа сушильных цилиндров имеет свой привод от электродвигателя, что дает возможность регулировать ее скорость с пульта управления.

Все бумагосушильные цилиндры оснащены:

- регулировочными кранами на входе пара и на выходе конденсата
- манометрами измерения давления в цилиндрах
- смотровыми окнами на конденсатной линии

Сушильная часть также включает:

- бумагонаправляющие валы
- сеткосушильные валы
- сетконаправляющие валы $\varnothing=262$ мм
- сетконаправляющие валы $\varnothing=272$ мм
- сетководущие валы
- прижимные валы

Для сушки бумаги из котельной через главную паровую задвижку с дистанционным управлением острый пар давлением $4,0\div 4,5$ кгс/см², расход которого контролируется и регистрируется расходомером, подается в сушильную часть бумагоделательной машины. В каждую сушильную группу пар подается по паропроводу с автоматическим регулятором давления.

I сушильная группа может работать как на сдувном паре из бака конденсата №1, так и на остром из паропровода; 18 и 19 цилиндры работают только на сдувном паре, который поступает из III и IV сушильных групп цилиндров, II, III и IV группы работают на остром паре.

Конденсат I, III, IV сушильных групп отводится в конденсатный бак №1, уровень в котором поддерживается регулятором. Сдувной пар этого конденсатного бака подается в теплообменник для нагрева теплой воды из бассейна. Конденсат из конденсатного бака №1 насосами направляется в котельную. Конденсат II сушильной группы поступает в конденсатный бак №2, имеющий перелив в бак №1. Сдувной пар из бака №2 поступает в I сушильную

группу, а при повышении уровня конденсата в этом баке- автоматически открывается шаровой клапан на линии перелива бака №1.

Между II и III сушильными группами находится двухвальный клеильный пресс, который осуществляет поверхностную проклейку бумаги. Клей для поверхностной обработки поступает из химического цеха в бак, а из него насосом в расходный бак с паровой рубашкой.

Температура клея регулируется подачей пара или воды в паровую рубашку объемом 0,163 м³ расходного бака.

Подача клея в клеильный пресс осуществляется системой задвижек, направляющих клей в спрысковую трубу клеильного пресса или в линию циркуляции. При необходимости возможно разбавление клея подачей теплой водой. Из ванны клеильного пресса клей через систему задвижек поступает в линию циркуляции, где осуществляется его очистка от посторонних включений в вибросортировке. После клеильного пресса бумажное полотно проходит через ребристый цилиндр и поступает последовательно в III и IV сушильные группы.

- После сушильной части бумажное полотно проходит холодильный цилиндр, охлаждаемый производственной водой из магистрали и машинный каландр.

После прохождения каландра бумажное полотно поступает на барабанный накат с водяным охлаждением, где наматывается на металлический тамбурный вал.

Резка бумаги на продольно-резательном станке

Тамбур бумаги снимается с наката кран-балкой грузоподъемностью 5 т и устанавливается на раскат продольно-резательного станка (ПРС), где после отбора бумаги на лабораторный анализ осуществляется резка бумаги на рулоны.

Упаковка бумаги на рулонно-упаковочном станке

Упаковка и маркировка бумаги осуществляются по ГОСТ 1641. Упаковка рулонов бумаги осуществляется на рулонно-упаковочном станке, включающем:

- узел размотки и проклейки оберточной бумаги марки «Ж» ГОСТ 8273-75,
- узел размотки полиэтиленовой пленки марки Н ГОСТ 10354-82,
- узел проклейки жидким стеклом торцевых кругов из картона прокладочного и этикеток,
- пресс торцевой упаковки с обогревом,
- пульт управления.

Рулон оберточной бумаги и полиэтиленовой пленки устанавливаются на раскатах в верхней части станка, и при помощи двух тяговых прессов производится упаковка рулона: двумя слоями оберточной бумаги, двумя слоями полиэтиленовой пленки и, наконец, шестью слоями оберточной бумаги,

причем полотно оберточной бумаги пропускается через клеевую ванну с жидким стеклом.

На каждый торец рулона бумаги под обертку укладывается по одному кругу из прокладочного картона и производится ручное обминание рулона (края оберточной бумаги шириной не менее 100 мм загибаются на торец).

Рулон подается в пресс торцевой упаковки, в плитах которого создается разрежение и нагрев до 70 °С. На торец рулона укладываются по одному кругу из ламинированного полиэтиленом картона с наклеенной на него этикеткой. При срабатывании прессы плиты прижимаются к торцам рулона, и происходит окончательная упаковка.

Упакованные рулоны отправляют на склад готовой продукции.

Резка бумаги на резательно-сортировочной машине №9и упаковка листовой бумаги

Резка рулонной бумаги на листы осуществляется на резательно-сортировочной машине №9, включающей:

- 1- раскат, состоящий из двух безосевых размоточных станков для установки двух рулонов бумаги,
- 2- сортировальную станцию, состоящую из двух одинаковых узлов (верхней и нижней сортировок) обнаружения дефектов: датчики складок и оптическое устройство для одновременного контроля двух обрабатываемых бумажных полотен в отдельности,
- 3- устройство для регулирования натяжения бумажного полотна,
- 4- узел выравнивания ролевого закругления (выгибная планка),
- 5- узел резки бумажного полотна на листы,
- 6- листоприемный узел,
- 7- укладчик для сбора листов,
- 8- гидроагрегат для опускания площадок укладчиков качественных и бракованных листов,
- 9- устройство для счета листов, состоящее из импульсного датчика, счетчика стоп или листов и аппарата для ввода маркировочных лент,
- 10- электропривод.

Бумага комплектуется в пачки по 250 ± 2 % и 500 ± 1 % листов. Упаковка и маркировка листовой бумаги осуществляются в соответствии с ГОСТ 1641.

2.1. Расчеты по массоподготовительному отделу

2.1.1. Расчёт производительности бумагоделательной машины и фабрики

При определении производительности бумагоделательной машины рассчитываем:

$Q_{ч.бр}$ - максимальная часовая производительность брутто при безобрывной работе машины

$Q_{с.бр}$ - максимальная производительность брутто при безобрывной работе машины в течение суток

$Q_{с.н.}$ - среднесуточная производительность машины нетто

$Q_{н.ф.}$ - среднесуточная производительность машины нетто по фабрике

$Q_{год}$ - выработка бумаги на машине в год

$Q_{год.ф.}$ - выработка бумаги в год по фабрике

$$Q_{ч.бр} = 0,06 \cdot B_n \cdot V \cdot q, \text{ кг/ч}$$

$$Q_{с.бр} = \frac{Q_{ч.бр}}{1000} \cdot 24, \text{ т/сут}$$

$$Q_{с.н.} = Q_{с.бр} \cdot K_{эфф}, \text{ т/сут}$$

$$Q_{год} = Q_{с.н.} \cdot Z, \text{ тыс.т/год},$$

где

B_n - ширина полотна на накате, $B_n = 2,48$ м;

V - средняя рабочая расчётная скорость, $V = 190$ м/мин; после модернизации БДМ № 4 $V = 218,5$ м/мин;

q - 80 г/м² ;

$0,06$ - коэффициент, учитывающий перевод граммов в килограммы, минуты в часы;

Z - количество дней работы машины в год , равно 345;

$K_{эфф}$ - коэффициент эффективности использования бумагоделательной машины принимаем равным 0,8.

Производительность по фабрике рассчитываем, исходя из производительности и количества установленных машин.

$$Q_{ч.бр} = 0,06 \cdot 2,48 \cdot 190 \cdot 80 = 2261,76 \text{ кг/ч},$$

$$Q_{ч.бр} \cdot 1,15 = 2261,76 \cdot 1,15 = 2601,024 \text{ кг/ч}, \text{ после модернизации БДМ № 4.}$$

Скорость после модернизации:

$$2601,024 = 0,06 \cdot 2,48 \cdot 80 \cdot V$$

$$V = \frac{2601,024}{0,06 \cdot 2,48 \cdot 80} = 218,5 \text{ м/мин},$$

$$Q_{ч.бр} = 0,06 \cdot 2,48 \cdot 218,5 \cdot 80 = 2601,024 \text{ кг/ч},$$

$$Q_{с.бр} = \frac{2601,024}{1000} \cdot 24 = 62,425 \text{ т/сут},$$

$$Q_{с.н.} = 62,425 \cdot 0,8 = 49,94 \text{ т/сут},$$

$$Q_{н.ф.} = 49,94 \cdot 1 = 49,94 \text{ т/сут},$$

$$Q_{год} = 49,94 \cdot 345 = 17,229 \text{ тыс.т/год},$$

$$Q_{\text{год,ф}} = 17,229 \cdot 1 = 17,229 \text{ тыс.т/год.}$$

2.1.2. Расчёт расхода свежих полуфабрикатов

Офсетная бумага вырабатывается в соответствии с ГОСТ 7500-75 из 30 % белёной СФА хвойной целлюлозы и 70 % белёной СФА из лиственной целлюлозы.

Расход свежих полуфабрикатов для производства бумаги рассчитывается по формуле:

$$P_c = P_c = \frac{100 - B - \left(\frac{1000 - B}{100}\right) \cdot Z - 0,75 \cdot K - 0,6 \cdot K_p - 1,0 \cdot K_{\text{пов}}}{0,88} + \Pi \text{ т, кг/ т,}$$

где

P_c - расход свежего воздушно-сухого полуфабриката на 1 т бумаги, кг/т;

B - влага, содержащаяся в 1 т бумаги, кг/т;

Z - зольность бумаги, % ;

K - расход клея на 1 т бумаги, кг/т;

Π - безвозвратные потери (промой) волокна 12%-й влажности на 1 т бумаги, кг;

O_t - отход волокна 12%-й влажности на другие виды продукции на 1 т бумаги, кг/т;

0,75 - коэффициент, учитывающий удержание клея в бумаге, %;

0,88 – коэффициент, учитывающий влажность целлюлозы;

K_p – расход крахмала для внутримассной проклейки на 1т бумаги , кг;

$K_{\text{пов}}$ - расход крахмала для поверхностной проклейки на 1т бумаги, кг.

Принимаем: $B=6\%=60$ кг, $Z=14\%$, $K=5,06$ кг, $\Pi=1\%=10$ кг, $K_p=4,05$, $K_{\text{пов}}=2,97$.

На основании данных предприятия, вырабатывающих указанную бумагу

$$P_c = \frac{1000 - 60 - \frac{1000 - 60}{100} \cdot 14 - 0,75 \cdot 5,06 - 0,6 \cdot 4,05 - 1,0 \cdot 2,97}{0,88} + 10 = 918,18 \text{ г/ т.}$$

Расход белёной СФА хвойной целлюлозы для изготовления 1 т бумаги:

$$918,18 \cdot 0,30 = 275,45 \text{ кг/т.}$$

Расход белёной СФА лиственной целлюлозы для изготовления 1 т бумаги:

$$918,18 \cdot 0,70 = 642,73 \text{ кг/т.}$$

Для обеспечения максимальной суточной производительности бумагоделательной машины расход полуфабрикатов составляет:

белёная СФА хвойная целлюлоза: $0,27545 \cdot 62,425 = 17,194$ т/сут,

белёная СФА лиственная целлюлоза: $0,64273 \cdot 62,425 = 40,122$ т/сут.

Для обеспечения среднесуточной производительности бумагоделательной машины расход полуфабрикатов составляет:

белёная СФА хвойная целлюлоза: $0,27545 \cdot 49,94 = 13,7559$ т/сут,

белёная СФА лиственная целлюлоза: $0,64273 \cdot 49,94 = 30,098$ т/сут.

Для обеспечения годовой производительности бумагоделательной машины и фабрики расход полуфабрикатов составляет:

белёная СФА хвойная целлюлоза: $0,27545 \cdot 17,229 = 4,7457$ тыс.т/год,

$0,27545 \cdot 17,229 = 4,7457$ тыс.т/год;

белёная СФА лиственная целлюлоза: $0,64273 \cdot 17,229 = 11,0736$ тыс.т/год,

$0,64273 \cdot 17,229 = 11,0736$ тыс.т/год.

Сводные данные производства бумаги и расхода полуфабрикатов при выработке офсетной бумаги марки представлены в табл.5.

Таблица 5. Сводные данные производства бумаги и расхода полуфабрикатов

Виды полуфабрикатов и бумаги	Единицы измерения	Удельный расход на 1т бумаги	Буммашина				Бумфабрика	
			сутки				сутки	год
			час	при безобрывной работе	с учетом коэффициентов	год		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Офсетная бумага	тыс.тонн		2,601	62,425	49,94	17,2	49,94	17,22
Беленая СФА хвойная целлюлоза	тыс.тонн	0,275	0,716	17,194	13,755	4,745	13,755	4,745
Беленая СФА лиственная целлюлоза	тыс.тонн	0,642	1,671	40,122	30,098	11,073	30,098	11,07

2.1.3. Проверка расчёта размалывающего оборудования

При расчёте количества мельниц исходят из положения, что эффект размола примерно пропорционален расходу электроэнергии.

Максимальный расход воздушно-сухого волокна составляет 57,316 т/сут, из них 17,194 т белой СФА хвойной и 40,122 т белой СФА лиственной целлюлозы. Размол полуфабрикатов производится совместно.

Расход электроэнергии на размол целлюлозы рассчитывается по формуле:

$$E = e \cdot P_c \cdot (v - a), \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{сут},$$

где

e – удельный расход электроэнергии, кВт·ч/(1 т·1 °ШР);

P_c – количество воздушно-сухого полуфабриката, подлежащего размолу, т;

a – степень помола полуфабриката до размола, °ШР;

v – степень помола полуфабриката после размола, °ШР.

Процесс размола полуфабрикатов осуществляется при $C=4$ %.

Расход электроэнергии на размол целлюлозы составляет:

белой СФА целлюлозы:

$$E = 15 \cdot 57,316 \cdot (31 - 14) = 14615,58 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{сут}.$$

Суммарная мощность электродвигателей размалывающих мельниц рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{E}{Z \cdot \eta}, \text{ кВт},$$

где

η – коэффициент загрузки электродвигателей, $\eta=0,85$;

$Z = 24$ ч.

Белая СФА целлюлоза:

$$N = \frac{14615,58}{0,85 \cdot 24} = 716,45 \text{ кВт}.$$

Мощность электродвигателей мельниц по ступеням размола рассчитывается следующим образом:

$$N_1 = N \cdot \frac{X_1}{100}, \text{ кВт},$$

$$N_2 = N \cdot \frac{X_2}{100}, \text{ кВт},$$

где

N_1, N_2 – первая и вторая ступень размола.

Так как размол ведётся в две ступени, то распределение энергии (X_1, X_2) по ступеням размола составит: $X_1=50$ %, $X_2=50$ %.

I – ступень белёная СФА целлюлоза: $N_1=N_2=716,45 \cdot 0,5=358,25$ кВт;
 $358,225:200=1,79=2$

II – ступень белёная СФА целлюлоза: $N_i=N_2=716,45 \cdot 0,5=358,25$ кВт
 $358,225:150=2,3881=3$

Используем к установке мельницы:

МД-14-01

Таблица 6. Сводные данные по расчёту размалывающего оборудования

Типоразмер	Количество	п,об/мин	N, кВт	Q, т/сут
Клафлин-101	2	750	200	50-200
МД-14-01	3	750	1500	50-200

2.1.4. Проверочный расчёт ёмкости бассейнов

Расчёт ёмкости бассейнов производят, исходя из максимального количества массы, подлежащей хранению и необходимого времени хранения массы в бассейне.

Расчёт ёмкости бассейнов производят по формуле:

$$V = \frac{P \cdot (100 - n)}{z \cdot C} \cdot K, \text{ м}^3$$

Расчетное время, на которое рассчитан запас массы в бассейне, ч:

$$t = \frac{V \cdot z \cdot C}{P \cdot (100 - n) \cdot K}, \text{ ч},$$

где

P – количество воздушно – сухого волокнистого материала, т/сут;

n – влажность воздушно – сухого волокнистого материала, % (для полуфабриката n=12%, для бумаги n=5-8%);

t – время хранения массы, ч;

z – количество рабочих часов в сутки, равно 24 ч;

C – концентрация волокнистой суспензии в бассейне, %;

K – коэффициент, учитывающий неполноту заполнения бассейна, принимаем равным 1,2.

1. Бассейн композиционный

$$V = \frac{62,425 \cdot (100 - 6) \cdot 0,5}{24 \cdot 3,2} \cdot 1,2 = 46 \text{ м}^3$$

2. Бассейн машинный

$$V = \frac{62,425 \cdot (100 - 6) \cdot 0,5}{24 \cdot 3} \cdot 1,2 = 49 \text{ м}^3$$

Таблица 7. Характеристика бассейнов

Наименование бассейнов	По расчету		После унификации		Тип циркуляционного устройства	N _{эл.дв} ЦУ, кВт
	t, ч	V, м ³	V, м ³	t, ч		
Бассейн композиционный	0,5	46	50	0,37	ЦУ 10-02	50
Бассейн машинный	0,5	49	50	0,51	ЦУ 10-02	50
Бассейн неразмолотого брака	0,5	31	30	0,49	ЦУ 10-02	50
Бассейн размолотого брака	0,5	35	30	0,42	ЦУ 10-02	50

2.1.5. Расчёт массных насосов

Выбор насосов производится исходя из полного напора массы, который должен создавать насос, а также его производительности. Производительность насоса рассчитывается по формуле:

$$Q_H = Q_M \cdot 1,3, \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q_M = \frac{P \cdot (100 - n)}{z \cdot C}, \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где

P - количество воздушно-сухого волокнистого материала, т/сут;

n - влажность воздушно-сухого волокнистого материала, %;

z - количество рабочих часов в сутки (принимается 24 ч);

C' - концентрация волокнистой суспензии на нагнетающей линии насоса %;

1,3 - коэффициент, учитывающий запас производительности насоса.

1. Насос, подающий размолотую целлюлозу из бассейна гидроразбивателя в бассейн первой ступени размола:

$$Q_H = \frac{57,316 (100 - 12)}{24 \cdot 4} \cdot 1,3 = 68 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Используем насос марки 105М-7-11, Q=127 м³/ч.

2. Насос, подающий волокнистую суспензию в композиционный бассейн из бассейна размолотой целлюлозы:

$$Q_{\text{н}} = \frac{57,316 \cdot (100 - 12)}{24 \cdot 2,8} \cdot 1,3 = 98 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Используем насос марки 105М-7-11, $Q=127 \text{ м}^3/\text{ч}$.

3. Насос, подающий бумажную массу в машинный бассейн:

$$Q_{\text{н}} = \frac{62,425 \cdot (100 - 6)}{24 \cdot 3,2} \cdot 1,3 = 99 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Используем насос марки 105М-7-11, $Q=127 \text{ м}^3/\text{ч}$.

4. Насос, перекачивающий бумажную массу из машинного бассейна в рафинирующую мельницу:

$$Q_{\text{н}} = \frac{62,425 \cdot (100 - 6)}{24 \cdot 3} \cdot 1,3 = 106 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Используем насос марки 105М-7-11, $Q=127 \text{ м}^3/\text{ч}$.

2.1.6. Расчет оборудования для переработки оборотного брака

Количество оборотного брака при выработке офсетной бумаги составляет на бумагоделательной машине - 5%, на продольно-резательном станке – 1 всего - 6% от $Q_{\text{ч.бр}}$

Количество оборотного брака в сутки составляет:

$$Q_{\text{брака}} = 62,425 \cdot 0,06 = 3,745 \text{ т}.$$

Кроме того, при расчёте, оборудования для переработки оборотного брака учитываем отсечки на сетке машины *а* и кромки, отсекаемые на продольно-резательном станке *в*.

По отношению к полной производительности машины отсечки и кромки составляют:

$$\frac{(a+b) \cdot 100}{V_{\text{н}} \cdot 1000}, \%$$

Принимаем: $a=40 \text{ мм}$, $b=50 \text{ мм}$, $V_{\text{н}}=2,48$

$$\frac{(40 + 50) \cdot 100}{2,48 \cdot 1000} = 3,63\% \text{ или } 62,425 \cdot 0,036 = 2,247 \text{ т}.$$

Общее количество волокнистого материала, поступающего на переработку, составляет:

$$3,745 + 2,247 = 5,992 \text{ т}.$$

Для рафинирования оборотного брака предусмотрена к установке пульсационная мельница типа МП-190 ($Q=10-35$ т/сут, $N=22$ кВт).

Расчёт ёмкостей для хранения оборотного брака

Ёмкость бассейнов для оборотного брака рассчитывается на общий запас хранения – 0,5 ч.

1. Ёмкость бассейна для сгущённого брака (неразмолотого):

$$V = \frac{62,425 \cdot (100 - 6) \cdot 0,5}{24 \cdot 4} = 31 \text{ м}^3.$$

2. Ёмкость бассейна для рафинированного брака (размолотого):

$$V = \frac{62,425 \cdot (100 - 6) \cdot 0,5}{24 \cdot 3,5} = 35 \text{ м}^3.$$

Характеристика бассейнов (см. табл.6).

Производительность насосов для перекачивания оборотного брака рассчитывается, исходя из количества брака:

1. Насос, подающий оборотный брак в бассейн неразмолотого брака:

$$Q_{\text{н}} = \frac{5,992 \cdot (100 - 6) \cdot 1,3}{24 \cdot 4} = 7,63 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Используем насос марки 5М 40-16, $Q=40$ м³/ч

2. Насос, подающий оборотный брак на пульсационную мельницу:

$$Q_{\text{н}} = \frac{5,992 \cdot (100 - 6) \cdot 1,3}{24 \cdot 3,5} = 8,72 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Используем насос марки 5М 40-16, $Q=40$ м³/ч

3. Насос, подающий оборотный брак в композиционный бассейн:

$$Q_{\text{н}} = \frac{5,992 \cdot (100 - 6) \cdot 1,3}{24 \cdot 2,5} = 12 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Используем насос марки 5М 40-16, $Q=40$ м³/ч

2.2. Основные расчеты по цеху подготовки химикатов

2.2.1. Характеристика расхода проклеивающих и наполняющих веществ

В расчете принято, что цех (отдел) работает в две смены, т.е. 16 ч/сут. Основные необходимые для расчета показатели выпускаемой продукции приведены в табл.8 и 9.

Таблица 8. Показатели офсетной бумаги

№ п/п	Показатели	Согласно ТУ	Принято в проекте
1	Состав по волокну, %: целлюлоза беленая СФА хвойная марок ХБ-2, ХБ-7 по ГОСТ 9571-89	30	30
	целлюлоза беленая СФА лиственная марок ЛС-1- ЛС-4 по ГОСТ 28172-89	70	70
2	Поверхностная впитываемость воды при одностороннем смачивании (Кобб ₆₀), г/м ² , не более	не менее 30	30
3	Зольность, %, не менее	5-15	14
4	Влажность, %	4,5-7,0	6

Таблица 9. Расход химикатов в кг на 1 т бумаги

№ п/п	Химикаты	Принято в проекте	ГОСТ
1	2	3	4
1	Нейтральный клей “Hydrores350 M”	5,06	
2	Мел МПНБ-2	176	ТУ 21-16232-01-91
3	Крахмал «С-Bond»(внутримассный)	4,05	
4	Крахмал окисленный (для поверхностной проклейки) ЕмохГО 2540	2,97	
5	Краситель прямой фиолетовый	0,012	ТУ 6-36-0204187-
6	Силиказоль	1,80	
7	Тинопал АПБ	1,2	

Расход химикатов по бумагоделательной машине

Указанные химикаты будут поступать в готовом виде и разводиться по существующим режимам приготовления химикатов. Учитывая, что расход выбран на тонну в соответствии с рекомендуемыми нормами, дополнительных расчетов по клейно-минеральному отделу не требуется, кроме приготовления суспензии мела.

Таблица 10. Расход химикатов по производству в сутки и в год.

№ п/п	Химикаты	Расход химикатов	
		по производству в сутки ,кг	в год, т
1	Нейтральный клей "Hydrores350 M"	$5,06 \cdot 62,425 = 315,87$	108,9
2	Мел МПНБ-2	$176 \cdot 62,425 = 10986,8$	3790,445
3	Крахмал «С-Bond»	$4,05 \cdot 62,425 = 252,82$	87,22
4	Крахмал окисленный (для поверхностной проклейки) Емох ТО 2540	$2,97 \cdot 62,425 = 185,40$	63,96
5	Краситель прямой фиолетовый	$0,012 \cdot 62,425 = 0,75$	0,26
6	Тинопал АПБ	$1,2 \cdot 62,425 = 74,91$	25,84
7	Силиказоль	$1,80 \cdot 62,425 = 112,37$	38,77

2.2.2. Приготовление мела

Рассматривается технологическая линия производительностью 200 т/сут. для непрерывного приготовления суспензии мела концентрацией 12 %. Цех работает в 2 смены.

Часовой расход мела составляет (табл.10):

$$\frac{10986,8}{24} \approx 457,78 \text{ кг/ч.}$$

Количество мелового молока при концентрации 12% составляет:

$$\frac{457,78 \cdot 0,88}{100} = 4,03 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Бак для суспензии мела рассчитывается, исходя из 60-минутного пребывания в нём мела, с учётом 20%-го запаса ёмкости и влажности мела 10%:

$$\frac{457,78 \cdot 0,88 \cdot 1,2}{300} = 1,61 \approx 2 \text{ м}^3.$$

Вибрационная сортировка для отчистки меловой суспензии выбирается, исходя из необходимой производительности:

$$\frac{457,78 \cdot 0,88}{300} = 1,34 \text{ м}^3.$$

Бак железобетонный для суспензии мела после вибрационной сортировки рассчитывается на 2-часовой запас мела:

$$\frac{457,78 \cdot 0,88 \cdot 1,2 \cdot 2}{300} = 3,22 \text{ м}^3.$$

Баки хранения суспензии мела рассчитываются на 24-часовой запас:

$$\frac{10986,8 \cdot 0,88 \cdot 1,2}{300} = 38,67 \text{ м}^3.$$

Центробежный насос для подачи меловой суспензии на вибрационные сортировки производительностью:

$$\frac{457,78 \cdot 0,88}{300} = 1,34 \text{ м}^3.$$

Расчёт количества воды

Количество воды, необходимое для приготовления 1 м суспензии мела:

$$\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 - \rho_3} \text{ и } \frac{\rho_2 - \rho_4}{\rho_2 - \rho_3},$$

где

ρ_1 - плотность, г/м³;

ρ_2 и ρ_4 - плотность суспензии мела соответственной концентрацией, г/м³;

ρ_3 - плотность воды, г/м³.

Количество воды для приготовления 1 м³ меловой суспензии концентрацией 120 г/л составляет:

$$\frac{2,63 - 1,6}{2,63 - 1} = 0,63 \text{ м}^3$$

Часовой расход воды составляет:

$$0,63 \cdot \frac{457,78}{300} = 0,96 \text{ м}^3$$

Суточный расход воды составляет:

$$0,96 \cdot 24 = 23,04 \text{ м}^3$$

Количество воды, необходимое для разбавления 1 м³ суспензии мела от 120 до 300 г/л, составляет

$$\frac{1,6 - 1,42}{1,6 - 1} = 0,3 \text{ м}^3.$$

Часовой расход воды составляет:

$$0,3 \cdot \frac{457,78}{100} = 1,37 \text{ м}^3$$

Суточный расход воды составит:

$$24 \cdot 1,37 = 32,88 \text{ м}^3.$$

Общий расход воды составит:

$$32,88 + 23,04 = 55,92 \text{ м}^3$$

Расход воды на приготовление 100кг мела составляет:

$$\frac{55,92 \cdot 100}{10,9868 \cdot 1000} = 0,51 \text{ м}^3.$$

Следовательно, расход воды на 1 т бумаги составит:

$$\frac{q_{\text{общ}}}{Q_{\text{с.бр}}} = \frac{55,92}{62,425} = 0,89 \text{ м}^3,$$

где

$q_{\text{общ}}$ - общий расход воды, $\text{м}^3/\text{сут}$;

$Q_{\text{с.бр}}$ - суточная производительность бумаги брутто, $\text{т}/\text{сут}$.

2.3. Расчеты по залу бумагоделательной машины

2.3.1. Величина напора бумажной массы в напускном устройстве

Расчет величины напора массы позволяет выбрать тип напорного ящика.

Необходимый напор массы в напускном устройстве рассчитываем на основании зависимостей:

$$V_M = 60 \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \text{ м},$$

$$V_M = K_M \cdot K_C \cdot V, \text{ м}$$

↓

$$H = \left(\frac{K_M \cdot K_C}{60 \cdot \mu} \right)^2 \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}, \text{ м},$$

где

V_M - скорость вытекания массы на сетку, $\text{м}/\text{мин}$;

V - скорость бумажного полотна на накате, $\text{м}/\text{мин}$;

K_M - коэффициент отставания скорости массы от скорости сетки (0,9-1,0);

K_C - коэффициент отставания скорости сетки от скорости бумаги на накате (0,85-0,95);

$g = 9,8 \text{ м}/\text{с}^2$;

μ - коэффициент истечения массы.

Принимаем: $V = 218,5 \text{ м}/\text{мин}$, $K_M = 0,95$, $K_C = 0,95$, $\eta = 0,97$.

$$H = \left(\frac{0,95 \cdot 0,90}{60 \cdot 0,97} \right)^2 \cdot \frac{218,5^2}{2 \cdot 9,8} = 0,53 \text{ м.}$$

Напорный ящик на БДМ установлен закрытого типа фирмы «Ahlström».

2.3.2. Высота открытия щели напускного устройства

Высоту открытия щели напускного устройства рассчитываем на основании выражений:

$$P = l \cdot h_m \cdot \mu = l \cdot h_m \cdot \mu^2 \cdot 60 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = l \cdot \mu \cdot K_m \cdot K_c \cdot V, \text{ мм;}$$

$$h = \frac{P}{60 \cdot l \cdot \mu^2 + \sqrt{2 \cdot g \cdot H}} = \frac{P}{1 \cdot \mu \cdot K_m \cdot K_c \cdot V};$$

$$P = \frac{P_i \cdot Q_{ч.бр.}}{60 \cdot 1000}, \text{ м}^3/\text{мин};$$

$$l = \left(\frac{B_n}{100 - E} \right) \cdot 100 + 2 \cdot a, \text{ м,}$$

где

h- высоту открытия щели напускного, м;

P_i - количество бумажной массы, вытекающей из щели напускного устройства для выработки 1т бумаги, $\text{м}^3/\text{мин}$;

l-длина напускной щели, м;

E-усадка бумаги в сушильной части, %;

a - ширина кромок бумаги, отсекаемых на гауч - вале, мм.

Принимаем: $B_n = 2,48 \text{ м}$, $E = 3,6 \%$, $Q_{ч.бр.} = 2,601024 \text{ т/ч}$,

$V = 218,5 \text{ м/мин}$, $2a = 0,05$, $P_i = 132660,0 \text{ м}^3/\text{мин}$, $K_m = 0,95$, $K_c = 0,90$

$$P = \frac{132660,0 \cdot 2,601024}{60 \cdot 1000} = 5,751 \text{ м}^3/\text{мин};$$

$$l = \left(\frac{2,48}{100 - 3,6} \right) \cdot 100 + 2 \cdot 0,020 = 2,61 \approx 2,7 \text{ м};$$

$$h = \frac{5,751}{2,7 \cdot 0,97 \cdot 0,95 \cdot 0,90 \cdot 218,5} = 0,012 \text{ м.}$$

2.3.3. Основные параметры сеточного стола

Ширина сетки бумагоделательной машины рассчитывается по формуле:

$$B_c = \frac{B_o + 2 \cdot c}{100 - E} \cdot 100 + 2 \cdot (a + d + e), \text{ м,}$$

где

c-ширина кромок бумаги обрезанных на ПРС, м;

d-ширина устройств для ограничения разлива массы по ширине сетки при ограничительных линейках, м;

ширина сетки обычно больше обрезной ширины на 300...500 мм.

Принимаем: $B_o=2,43$ м, $a=0,020$ м, $c=0,025$, $d=0,030$ м, $E=3,6\%$, $e=0,075$;

$$B_c = \frac{2,43 + 2 \cdot 0,025}{100 - 3,6} \cdot 100 + 2 \cdot (0,02 + 0,03 + 0,075) = 2,82 \text{ м.}$$

Принимаем к установке сетку шириной $B_c=2,8$ м.

Длину сетки определяем расчетным путем, исходя из площади сеточного стола ($F_{ст}$) и удельного съема продукции (q_1):

$$F_{ст} = L_{ст} \cdot B_H, \text{ м}^2$$

$$F_{ст} = \frac{Q_{ч.бр}}{q_1}, \text{ м}^2$$

$$L_{ст} = \frac{Q_{ч.бр}}{q_1 * B_H}, \text{ м,}$$

где

$L_{ст}$ - длина сеточного стола, м;

L_c -длина сетки, м;

q_1 - удельный объем бумаги с сеточного стола, кг/(ч·м²).

Длина рабочей части грудного, регистровых и сетководущих валов больше ширины сетки на 0,1-0,15 м.

Диаметр грудного вала (D_1) и регистровых валиков (D_2) рассчитываем по эмпирическим формулам

$$D_1 = 0,008 \cdot B_H + 0,275 \text{ м,}$$

$$D_2 = 0,047 \cdot B_H, \text{ м.}$$

Принимаем: $q_1=87$ кг/(ч·м²), $L_c=2,25 \cdot L_{ст}+2,25$ м.

$$L_{ст} = \frac{2601,024}{87 \cdot 2,48} = 12,05 \text{ м,}$$

$$L_c = (2,25 \cdot 12,05) + 2,25 = 29,36 \text{ м,}$$

$$D_1 = 0,008 \cdot 2,8 + 0,275 = 0,499 \text{ м,}$$

$$D_2 = 0,047 \cdot 2,8 = 0,132 \text{ м.}$$

Принимаем: $L_c=30000$ мм, $D_1=500$ мм, $D_2=200$ мм

Количество отсасывающих ящиков

Количество отсасывающих ящиков на сеточном столе рассчитываем на основании зависимостей:

$$F_{о.я.} = \frac{Q_{ч.бр}}{q_2}, \text{ м}^2$$

$$f_{o.я.} = B_{o.я.} \cdot B_H, \text{ м}^2;$$

$$n = \frac{Q_{ч.бр}}{q_2 - B_{o.я.} \cdot B_H}, \text{ ШТ},$$

где

$F_{o.я.}$ - общая площадь отсасывающих ящиков на сеточного стола, м^2 ;

$F_{o.я.}$ - площадь одного отсасывающего ящика, м^2 ;

$B_{o.я.}$ - ширина отсасывающего ящика, м;

q_2 - удельный съём бумаги с общей поверхности отсасывающих ящиков, $\text{кг}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$.

Принимаем $B_H=2,48$ м, $B_{o.я.}=0,29$ м, $q_2=350$ $\text{кг}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$, $Q_{ч.бр}=2601,024$,

$$n = \frac{2601,024}{365 \cdot 0,29 \cdot 2,48} = 9,9 \text{ ШТ}.$$

На БДМ 10 отсасывающих ящиков.

2.3.4. Сухость бумажного полотна после прессов

Сухость бумажного полотна после прессов рассчитывается по формуле:

$$C_k = \frac{A \cdot a_0 \cdot m_0 \cdot P_{cp}^\gamma \cdot C_c \cdot C_H^\omega \cdot g^\beta}{V^\varepsilon \cdot \text{ШР}^\sigma}, \%$$

где

C_k -сухость бумаги после прессов, %;

A -коэффициент, характеризующий конструкцию пресса;

m_0 - коэффициент, зависящий от марки сукна, 1 м^2 бумаги и рабочей скорости машины;

P_{cp} -среднее удельное давление между валами, $\text{кгс}/\text{м}^2$;

C_c - сухость сукна перед прессом, %;

C_H - сухость бумаги перед прессом, %;

g - масса 1 м^2 бумаги, $\text{г}/\text{м}^2$;

a_0 - коэффициент вида бумаги;

β - коэффициент массы бумаги;

$\gamma, \theta, \omega, \varepsilon, \sigma$ - опытные коэффициенты;

ШР- степень помола массы, °ШР.

Принимаем $A=1$, $a_0=0,94$, $m_0=9,07$, $V=218,5$ м/мин, $\text{ШР}=40^\circ\text{ШР}$, $C_c=55\%$,

$C_H=36\%$, $g=80$ г/м², $\beta=0,037$, $\gamma=0,091$, $\theta=0,291$, $\varepsilon=0,059$,

$\sigma=0,145$, $\omega=0,25$, $P_{cp}=12,32$ кгс/см²,

$$C_k = \frac{1 \cdot 0,94 \cdot 9,07 \cdot 12,32^{0,091} \cdot 55^{0,291} \cdot 36^{0,25} \cdot 80^{0,037}}{218,5^{0,059} \cdot 40^{0,145}} = 49\% .$$

2.3.5. Проверочный расчет производительности вакуум - насосов

Расчет производительности вакуум – насосов определяется по методу удельной производительности, приходящей на 1м ширины и 1м скорости БДМ.

Производительность вакуум – насосов рассчитывается по формуле:

$$Q_H = \frac{K \cdot B \cdot V}{1000} \text{ м}^3/\text{мин} ,$$

где

K -удельная производительности, л/мин;

B -ширина машины, м;

V -скорость машины, м/мин.

Используем $V=218,5$ м/мин, $B=4,0$ м.

1) Вакуум-насос отсасывающих ящиков:

$$Q_H = \frac{18 \cdot 4 \cdot 218,5}{1000} = 15,73 \text{ м}^3/\text{мин}$$

Используем вакуум-насос УНВ-02, $Q=17$ м³/мин,

$N=40$ кВт.

2) Вакуум-насос первой камеры гауч – вала:

$$Q_H = \frac{35 \cdot 4 \cdot 218,5}{1000} = 30,6 \text{ м}^3/\text{мин}$$

Используем 2-й вакуум-насос УНВ-03, $Q=28$ м³/мин,

$N=55$ кВт.

3) Вакуум-насос второй камеры гауч – вала:

$$Q_H = \frac{40 \cdot 4 \cdot 218,5}{1000} = 35 \text{ м}^3/\text{мин}$$

Используем вакуум-насос УНВ-04, $Q=40$ м³/мин,

$N=75$ кВт.

4) Вакуум-насос пересасывающего устройства:

$$Q_H = \frac{30 \cdot 4 \cdot 218,5}{1000} = 26,2 \text{ м}^3/\text{мин}$$

Используем вакуум-насос УНВ-02, $Q=28 \text{ м}^3/\text{мин}$,

$$N=55 \text{ кВт.}$$

5) Вакуум-насос первого отсасывающего прессы:

$$Q_H = \frac{35 \cdot 4 \cdot 218,5}{1000} = 30,6 \text{ м}^3/\text{мин}$$

Используем вакуум-насос УНВ-04, $Q=40 \text{ м}^3/\text{мин}$:

$$N=75 \text{ кВт.}$$

Таблица 11. Характеристика вакуум-насосов

Наименование	УНВ-02	УНВ-03	УНВ-04
Производительность $\text{м}^3/\text{мин}$	17	28	40
Установленная мощность, кВт	40	55	75
Максимальное разряжение, %	не менее 70%		
Габаритные раз- меры, мм	2360×755×885	2910×950×1114	3140×1000×1114

2.3.6. Расчет количества бумагосушильных цилиндров

Количество бумагосушильных цилиндров определяем расчётным путём методом удельных съёмов воды с 1 м^2 рабочей или полезной поверхности:

$$n_{б.с.} = \frac{w}{F_p \cdot q_3}, \text{ шт} \quad W = \frac{S_k - S_H}{S_H} \cdot Q_{ч.бр.}, \text{ кг}$$

$$f_0 = \pi \cdot D \cdot L, \text{ м}^2$$

$$F_0 = \pi \cdot D \cdot L \cdot n, \text{ м}^2;$$

$$f_p = \alpha \cdot \pi \cdot D \cdot L, \text{ м}^2$$

$$F_p = \alpha \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot n, \text{ м}^2;$$

⇓

$$n = \frac{(S_k - S_H) \cdot Q_{ч.бр.}}{S_H \cdot q_3 \cdot \alpha \cdot \pi \cdot D \cdot B_H}, \text{ шт.}$$

где

f_0 - боковая поверхность сушильного цилиндра, м^2 ;

F_0 - общая боковая поверхность сушильных цилиндров, м^2 ;

f_p - рабочая поверхность сушильного цилиндра, м^2 ;

F_p - общая рабочая поверхность сушильных цилиндров, м^2 ;

W - количество воды, испаряемой из бумаги в сушильной части, кг/ч;

q_3 - удельный съём воды с полезной поверхности цилиндра, кг/м² ч;

S_K - конечная сухость бумаги, % ;

S_H - начальная сухость бумаги, %;

a - коэффициент обхвата сушильных цилиндров бумагой;

Д - диаметр бумагосушильного цилиндра, м;

L - длина бумагосушильного цилиндра, м;

B_H - ширина полотна бумаги на накате, м.

Количество бумагосушильных цилиндров

Принимаем: $B_H=2,48$ м, $q_3=26$ кг/ м²·ч, $S_K=94\%$,

$S_H=49\%$, $a=0,62$, $Д=1,5$ м.

$$n_{\text{бл}} = \frac{(94 - 49) \cdot 4348,08}{49 \cdot 25 \cdot 0,62 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 2,48} = 22 \text{ цилиндра.}$$

2.3.7. Расчет потребляемой мощности привода бумагоделательной машины.

Расчет производится по методу удельных показаний, поэтому определяется фактически потребляемая мощность, которая относится к 1 м ширины и 1 м/мин скорости.

Расчет мощности производится по формуле:

$$N=K \cdot B_c \cdot V, \text{ кВт,}$$

где

K- удельный показатель расхода мощности, кВт/(м/мин·м);

B_c - ширина сетки, м.

Удельные показатели мощности по секциям машины.

Гауч – вал:

$$N=0,085 \cdot 2,8 \cdot 218,5=52 \text{ кВт}$$

Ведущий вал приводной:

$$N=0,050 \cdot 2,8 \cdot 218,5=30,59 \text{ кВт}$$

Сукномойка:

$$N=0,012 \cdot 2,8 \cdot 218,5=7,34 \text{ кВт}$$

Отсасывающий прессовый вал:

$$N=0,029 \cdot 2,8 \cdot 218,5=17,74 \text{ кВт}$$

Нижний прессовый вал:

$$N=0,022 \cdot 2,8 \cdot 218,5=13,46 \text{ кВт}$$

Сушильная часть:

$$N=0,0019 \cdot 2,8 \cdot 218,5=1,16 \text{ кВт}$$

Холодильный цилиндр:

$$N=0,0019 \cdot 2,8 \cdot 218,5=1,16 \text{ кВт}$$

Каландр четырехвальный:

$$N=0,044 \cdot 2,8 \cdot 218,5=26,91 \text{ кВт}$$

Накат периферический:

$$N=0,012 \cdot 2,8 \cdot 218,5=7,34 \text{ кВт.}$$

Сушильная часть бумагоделательной машины состоит из 22 бумагосушильных цилиндров и 1 холодильного цилиндра. Бумага отделяется на четырехвальном машинном каландре и далее наматывается в рулоны на периферическом накате.

Суммарный удельный показатель мощности для всей бумагоделательной машины:

$$K=0,085+0,05+4 \cdot 0,012+0,029+3 \cdot 0,022+22 \cdot 0,0019 \cdot 1,5+0,0019+0,0019+0,044+0,012=0,4005.$$

Тогда потребляемая мощность всей БДМ составляет:

$$N=0,4005 \cdot 2,8 \cdot 218,5=245,026 \text{ кВт.}$$

2.3.8. Проверка расчета оборудования для очистки и сортирования бумажной массы

Расчет количества оборудования для очистки бумажной массы производится, исходя из максимальной производительности бумагоделательной машины и на основании расчетных данных баланса воды и волокна.

2.3.8.1. Вихревые очистители

Расчет необходимого количества центрифуг по ступеням производится по следующей формуле:

$$n_c = \frac{P_i \cdot Q_{ч.бр}}{60 \cdot P_c}, \text{ шт.},$$

где

P_i - количество массы, поступающей на соответствующую ступень очистки, кг/т;

P_c - производительность одного центрифугера, кг/мин.

Принимаем: $P_i=129527, 8483$ кг/т,

$P_c=426$ кг/мин, $Q_{ч.бр}=2,601024$ т/ч,

$$n_c = \frac{129527,8483 \cdot 2,601024}{60 \cdot 450} = 12 \text{ шт (1-я ступень)}.$$

Используем УВК-50-02. Установка состоит из трех ступеней очистки

На вторую поступает 15768,5532 кг массы:

$$n_c = \frac{15768,5532 \cdot 2,601024}{60 \cdot 113} = 6 \text{ шт (2-я ступень)}.$$

На третью ступень очистки поступает 1487,6242 кг массы:

$$n_c = \frac{1487,6242 \cdot 2,601024}{60 \cdot 21} = 3 \text{ шт (3-я ступень)}.$$

Таблица 12. Техническая характеристика УВК-50-02

№ п/п	Показатель	Единицы измерения	Значение показателя
1	Производительность по воздушно-сухому волокну	т/сут	50
2	Количество очистителей по ступеням	шт	
	1-я ступень		12
	2-я ступень		6
	3-я ступень	3	
3	Установленная мощность	кВт	90
4	Габаритные размеры	м	
	ширина		2,97
	длина		5,84
	высота	2,46	
5	Масса	т	4,69

2.3.8.2. Узлователи

Расчет количества узлователей, необходимых для сортирования массы, производим, исходя из данных баланса воды и волокна по формулам:

$$n_y = \frac{P_x \cdot Q_{ч.бр}}{60 \cdot P_y} \quad \text{или} \quad n_y = \frac{A_x \cdot Q_{ч.бр} \cdot 24}{10^3 \cdot 0,93 \cdot Q_y},$$

где

P_x -количество массы, поступающее на узлоловитель, кг/ч;

A_x -количество абсолютно сухого вещества, поступающего на узлоловитель, кг/ч (1068,4);

P_y -производительность узлоловителя, кг/ч;

Q_y -производительность узлоловителя, т/сут.

На машине устанавливается узлоловитель типа Берд-Центрискрин производительностью 1200 т/сут:

$$n_y = \frac{1068,4 \cdot 2,601024 \cdot 24}{60 \cdot 1200} = 0,93 \text{ шт} = 1 \text{ шт.}$$

Используем 1 узлоловитель и 1 в резерве.

2.3.9. Расчет оборудования для переработки оборотного брака

В зале бумагоделательных машин предусмотрено оборудование для предварительного роспуска мокрого брака (мешалка под гауч-валом).

Объем мешалки рассчитываем, исходя из максимальной производительности машины, продолжительности пребывания в ней массы 15-30мин и концентрации массы 2,5-3,0%.

$$V = \frac{Q_{ч.бр.} \cdot (100-n) \cdot t \cdot 1,2}{C}, \text{ М}^3$$

где

$Q_{ч.бр.}$ – часовая производительность бумагоделательной машины брутто, т/ч;

n - влажность мокрого брака, %

t - время пребывания массы в гауч-мешалки;

1,2- коэффициент запаса заполнения гауч-мешалки;

C - концентрация массы в гауч-мешалке, %

Принимаем $Q_{ч.бр.}=2,601024$ т, $t=0,25$, $n=7$ %, $C=3$ %, $P_z=4543,45$ кг.

$$V = \frac{2,601024 \cdot 0,93 \cdot 100 \cdot 0,25 \cdot 1,2}{3} = 24,19 \text{ М}^3.$$

Производительность гидроразбивателей:

$$Q_H^1 = \frac{2,601024 \cdot 0,93 \cdot 100 \cdot 1,3}{3} = 104,8 \text{ М}^3;$$

$$Q_H^2 = \frac{4543,35}{1000} \cdot 2,601024 \cdot 1,3 = 15,4 \text{ М}^3.$$

2.3.10. Расчет и подбор оборудования для отделки бумаги

В отделочном цехе проводятся следующие технологические операции:

Каландрирование бумаги на софт - каландре, продольная резка и намотка бумаги в рулоны на продольно – резательных станках, упаковка рулонов на рулоноупаковочном станке.

Продольно-резательные станки работают периодически, так как их останавливают во время установки разматываемых рулонов, заправки бумаги и склейки обрывов.

2.3.11. Расчет производительности и мощности софт - каландра

Для придания бумаге большей гладкости, уплотнения и для придания поверхности бумаги определенной структуры ее пропускают через софт каландр.

Производительность каландра определяем по формуле:

$$Q=0.06 \cdot B_n \cdot V \cdot q \cdot \eta, \text{ кг/ч,}$$

где

B_n - рабочая ширина бумаги на накат, м;

V - рабочая расчетная скорость, м/мин;

q - масса 1 м^2 бумаги;

η -коэффициент использования рабочего времени (0,6).

Принимаем: $B_n=2,48$, $V=218,5$ м/мин, $q=80$ г/м²; $\eta=0,6$.

Для отделки данного вида бумаги используют 2-софт каландра.

$$Q=0,06 \cdot 2,48 \cdot 218,5 \cdot 80 \cdot 0,6 = 1560,61, \text{ кг/ч.}$$

2.3.11.1. Расчет продольно-резательного станка

Данный вид бумаги поставляется в рулонах, продольное резание рулонов осуществляется на продольно – резательном станке.

Производительность станка составляет (при скорости 500 м/мин)

$$Q=0,06 \cdot 2,48 \cdot 500 \cdot 80 \cdot 0,65 = 3868 \text{ кг/ч.}$$

Потребляемая мощность станка приближенно определяется по формуле:

$$N=\frac{P \cdot B \cdot V}{60 \cdot 102 \cdot \eta}, \text{ кВт}$$

где

P -линейное напряжение бумаги, кгс/см (0,5);

В-ширина бумаги (248);

V-скорость станка, м/мин (500);

η -коэффициент, учитывающий, какая часть мощности, потребляемая станком, расходуется на создание натяжения бумажного полотна, (0,6);

$$N = \frac{0,5 \cdot 248 \cdot 500}{60 \cdot 102 \cdot 0,6} = 16,88 \text{ кВт.}$$

2.3.11.2. Характеристика рулоно-упаковочного станка

Упаковка рулонной бумаги осуществляется на автоматизированных упаковочных линиях. В автоматическом режиме происходит взвешивание и маркировки рулонов.

Устанавливаем рулоноупаковочный станок УР-09.

Таблица 13. Техническая характеристика УР-09

№	Показатель	Единицы измерения	Значение показателя
1	Производительность	рулонов/ч	80
2	Размер упакованных рулонов	мм	450-1000
	диаметр		
	ширина		
			42-1300

2.3.12. Расчет площади склада готовой продукции

Площадь склада рассчитываем следующим образом:

$$F_{\text{скл}} = \frac{m \cdot Q_{\text{ч.бр.}} \cdot 24}{P_p} \cdot D_p^2 \cdot \frac{n_d}{n_p} \cdot 1,3, \text{ м}^2;$$

$$P_p = \frac{\pi \cdot (D_p^2 - d_z^2)}{4} \cdot B_p \cdot \gamma, \text{ кг,}$$

где

m- количество машин на фабрике;

$Q_{\text{ч.бр.}}$ - часовая производительность, кг/ч;

P_p - масса рулона бумаги, кг;

D_p - диаметр рулона, м;

d_z - диаметр гильзы, м;

B_p - ширина рулона, м;

γ - плотность бумаги, кг/м³;

n_d - количество дней запаса;

n_p - количество рулонов, устанавливаемых по высоте;

1,3-коэффициент, учитывающий увеличение площади склада на 30% для проходов и проездов.

Принимаем: $m=1$, $Q_{ч.бр}=2601,024$ кг/ч, $D_p=0,9$ м, $d_z=0,075$ м, $B_p=0,84$ м,

$\gamma=600$, $n_d=5$ дней, $n_p=4$.

$$R_p = \frac{\pi \cdot (0,9^2 - 0,075^2)}{4} \cdot 0,84 \cdot 600 = 318 \text{ кг};$$

$$F_{скл} = \frac{1 \cdot 2601,024 \cdot 24}{477} \cdot 0,9^2 \cdot \frac{5}{4} \cdot 1,3 = 172 \text{ м}^2.$$

2.3.13. Конструктивный тепловой расчет бумагоделательной машины

Основной целью конструктивно-теплого расчета бумагоделательной машины является определение числа сушильных цилиндров по заданной производительности и виду вырабатываемой бумаги при заданном распределении давления пара по группам.

Таблица 14. Исходные данные

№ п/п	Показатель	Условное обозначение	Единицы измерения	Значение показателя
1	2	3	4	5
1	Бумага	-	-	офсетная
2	Поверхностная плотность	-	г/м ²	80
3	Сухость на накате	-	%	94
4	Поверхностная плотность в абсолютно-сухом состоянии	-	г/м ²	75,2
5	Влагосодержание полотна	P_c	кг/кг	
	начальное	u_1		1,85
	критическое	u_k		1,0
	конечное	u_2		0,075
6	Избыточное давление греющего пара в отдельных группах	-	МПа	
	в первой	P_1		0,45
	во второй	P_2		0,42
	в третьей	P_3		0,4
7	Длина цилиндров	$L_{ц}$	м	3,1
8	Диаметр цилиндр	$d_{ц}$	м	1,5

1	2	3	4	5
9	Доля активной поверхности	φ	-	0,6
10	Доля активной поверхности сукносушителей	$\varphi_{a.c}$	-	0,15
11	Начальная температура полотна	$t_{n.o}$	°С	38
12	Расчетная скорость полотна	ω_n	м/мин	218,5
13	Ширина полотна	B_n	м	2,48
14	Коэффициент использования тепла	$\varphi_{пр}$	-	1,0
		φ_1		0,9
		φ_2		0,85

Тепловой расчет сушильной части

Производительность машины по абсолютно-сухой массе:

$$G_M = 60 \cdot V_n \cdot v_n \cdot P_c, \text{ кг/ч,}$$

$$G_M = 60 \cdot 218,5 \cdot 2,48 \cdot 75,2 \cdot 10^{-3} = 2444,96 \text{ кг/ч,}$$

Температура полотна в первом периоде сушки равна температуре кипения воды при барометрическом давлении и близка к 100 °С. Но на участках свободного пробега в первом периоде сушки происходит снижение температуры полотна на $\delta t_n = 10-12$ °С.

Средняя температура полотна составит:

$$t_{n1} = t_n - \frac{\delta t_n}{3}, \text{ °С}$$

$$t_{n1} = 100 - \frac{12}{3} = 96 \text{ °С}$$

Активная поверхность сушильных цилиндров:

$$h_{a.n} = \pi \cdot d_c \cdot \varphi \cdot v_n, \text{ м}^2$$

$$h_{a.n} = \pi \cdot 1,5 \cdot 0,6 \cdot 2,48 = 7 \text{ м}^2$$

Длительность периода прогрева:

$$\tau_{пр} = \frac{P_c \cdot (C_{c.n} + C_w \cdot u_1) \cdot (t_{n,1} - t_{n,2})}{\psi_{пр} \cdot g_{пр} \cdot (1 + \varphi_{a.c}) - m_{пр} \cdot r}, \text{ с,}$$

где

$C_{c.n}, C_w$ - удельные теплоемкости полотна и воды.

$t_{n,1}, t_{n,2}$ - температура полотна в начале и конце периода;

r - удельная теплота парообразования;

$g_{пр}$ - среднее значение теплого потока от греющей поверхности ;

$m_{пр}$ - средняя интенсивность испарения влаги с поверхности полотна:

$$m_{\text{пр}} = \beta_{\text{пр}} \cdot \left[\left(\frac{V_1^4 - V_0^4}{4 \cdot (V_1 - V_0)} \right) - V_{\text{н.в}}^3 \right], \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}),$$

где

V_0, V_1 - приведенные значения начальной и конечной температуры полотна в периоде прогрева;

$V_{\text{н.в}}$ - приведенная температура точки росы воздуха в сушильной части;

$\beta_{\text{пр}}$ - коэффициент массообмена, отнесенный к разнице парциальных давлений:

$$\beta_{\text{пр}} = \frac{\alpha_m}{R \cdot T},$$

где

α_m - коэффициент массообмена, отнесенный к разности концентраций пара на поверхности испарения и в воздухе, м/ч;

R - удельная газовая постоянная, м³·Па/(кг·К);

T - абсолютная температура, °К.

Средняя температура полотна в период прогрева:

$$t_{\text{пр}} = \frac{\bar{t}_{\text{n},0} + \bar{t}_{\text{n},1}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{пр}} = \frac{38 + 96}{2} = 67 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент a_m определяется из критериальной зависимости:

$$\text{Nu}_d = 0,07 \cdot \text{Re}^{0,75}.$$

При скорости полотна $\omega_n = 218,5$ м/мин = 3,60 м/с и длине $l = 1,5$ м находим:

$$\text{Re} = \frac{\omega_n \cdot l}{V_b} = \frac{3,60 \cdot 1,5}{18} \cdot 10^6 = 0,3 \cdot 10^6;$$

$$\text{Re}^{0,75} = 12818,6 \Rightarrow \text{Nu}_d = 0,07 \cdot 12818,6 = 897.$$

Коэффициент диффузии:

$$D = 0,0829 \cdot \left[\frac{T}{T_0} \right]^{1,8}, \quad \overline{T}_{\text{пр}} = 273 + \bar{t}_{\text{пр}} = 340 \text{ } ^\circ\text{K},$$

$$D = 0,0829 \cdot \left[\frac{340}{273} \right]^{1,8} = 0,1230 \text{ м}^2/\text{ч},$$

$$a_m = \frac{\text{Nu}_d \cdot D}{l} = \frac{897 \cdot 0,1230}{1,5} = 73,6 \text{ м}/\text{ч}.$$

Среднее значение коэффициента массообмена равно:

$$\bar{\beta}_p = \frac{a_m}{RT} = \frac{73,6}{470 \cdot (273 + 67)} = 0,0005.$$

Определенное значение коэффициента массообмена относится к разности парциальных давлений на поверхности испарения и в воздухе, выраженных в Паскалях, тогда:

$$\bar{m}_{пр} = 0,0005 \cdot \left[\frac{0,96^4 - 0,38^4}{4 \cdot (0,93 - 0,38)} - 0,38^3 \right] \cdot 10^5 = 15,11 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}} = 0,00419 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$$

Плотность теплового потока, отнесенная к 1 м² поверхности, определяется по формуле:

$$\bar{q}_{пр} = \frac{1-a}{\varphi} \cdot \frac{t_{н.п} - \bar{t}_{пр}}{\frac{1}{a_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1-a}{\varphi \cdot a_2}} = K \cdot (t_{н.п} - \bar{t}_{пр}), \text{кВт/м}^2.$$

Принимаем значения: $a_1=1750 \text{ Вт/м}^2$, $a_2=800 \text{ Вт/м}^2$, $\delta_{ст}=0,020 \text{ м}$, $\lambda_{ст}=50 \text{ Вт/м}$, $a=0,05$, $\varphi=0,6$, $t_{н.п.}=126,8 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\bar{q}_{пр} = \frac{1-0,05}{0,6} \cdot \frac{126,8-67}{\frac{1}{1750} + \frac{0,020}{50} + \frac{1-0,05}{0,6 \cdot 800}} = 32 \text{ кВт/м}^2.$$

Длительность периода прогрева полотна составляет:

$$\tau_{пр} = \frac{0,0752 \cdot (1,46 + 4,19 \cdot 1,85) \cdot (96 - 38)}{1,0 \cdot 32,0 \cdot (1 + 0,15) - 0,00419 \cdot 2330} = 1,48 \text{ с.}$$

При дуге обхвата цилиндра полотном $l = \varphi \cdot \pi \cdot d_{ц} = 0,6 \cdot \pi \cdot 1,5 = 3,1 \text{ м}$ и скорости движения полотна $\omega_{п}=3,6 \text{ м/с}$ число цилиндров для периода прогрева составляет:

$$n_{пр} = \frac{\tau_{пр} \cdot \omega_{п}}{l} = \frac{1,48 \cdot 3,60}{3,1} = 2 \text{ шт.}$$

Количество влаги, испаряемой с 1 м² полотна в период прогрева:

$$\Delta M = \tau_{пр} \cdot \bar{m}_{пр} = 1,48 \cdot 4,19 = 6,2 \text{ г/м}^2.$$

Снижение влагосодержания полотна составит:

$$\Delta u_{пр} = \frac{\Delta M}{P_c} = \frac{6,2}{75,2} = 0,08 \text{ кг/кг.}$$

Влагосодержание полотна в конце периода прогрева:

$$u_1 = u_0 - \Delta u_{пр} = 1,85 - 0,08 = 1,77 \text{ кг/кг.}$$

Расход тепла будет:

- в период прогрева

$$Q_{\text{пр}} = \frac{1}{\psi_{\text{пр}}} \cdot G_{\text{м}} \cdot [(C_{\text{с.п.}} + C_{\text{у}} \cdot u_0) \cdot (t_{\text{n,1}} - t_{\text{n,0}}) + \Delta u_{\text{пр}} \cdot r], \text{ кДж/ч},$$

$$Q_{\text{пр}} = \frac{1}{1} \cdot 2444,96 \cdot [(1,46 + 4,19 \cdot 1,85) \cdot (96 - 38) + 0,08 \cdot 2330] = 1,76 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч}$$

- во втором периоде сушки

$$Q_1 = \frac{1}{\psi_1} \cdot G_{\text{м}} \cdot (i_{\text{n,1}} - C_{\text{w}} \cdot t_{\text{n,1}}) \cdot (u_1 - u_{\text{к}}), \text{ кДж/ч},$$

$$Q_1 = \frac{1}{0,9} \cdot 2444,96 \cdot (2640 - 4,19 \cdot 96) \cdot (1,77 - 1,0) = 4,68 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч},$$

где

$$m_{\text{r}} = 1 + \frac{(C_{\text{с.п.}} + C_{\text{w}} \cdot u_2) \cdot (t_{\text{n,2}} - t_{\text{n,1}}) \cdot (u_{\text{к}} - u_2) \cdot (i_{\text{n,2}} - i_{\text{n,1}})}{(u_{\text{к}} - u_2) \cdot i_{\text{n,1}}}$$

Конечная температура полотна находится по соотношению:

$$t_{\text{n,2}} = t_{\text{н.п.}} - u_2 \cdot (t_{\text{н.п.}} - t_{\text{n,i}}) = 126,8 - 0,075 \cdot (126,8 - 100) = 124,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Средняя температура полотна во втором периоде сушки:

$$\overline{t_{\text{н.2}}} = \frac{t_{\text{n,1}} + t_{\text{n,2}}}{2} = \frac{96 + 124,7}{2} = 110,3 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Удельная энтальпия перегретого пара при данной температуре и парциальном давлении пара в воздухе 0,03 мПа, $i_{\text{n,2}} = 2691$ кДж/кг.

тогда

$$m_{\text{r}} = 1 + \frac{(1,46 + 4,19 \cdot 0,075) \cdot (124,7 - 100) \cdot (1 - 0,075) \cdot (2691 - 2640)}{(1 - 0,075) \cdot 2640} = 1,038,$$

следовательно,

$$Q_2 = \frac{1}{\psi_2} \cdot G_{\text{м}} \cdot (i_{\text{n,2}} - C_{\text{w}} \cdot t_{\text{n,2}}) \cdot (u_{\text{к}} - u_2) \cdot m_{\text{r}}, \text{ кДж/ч},$$

$$Q_2 = \frac{1}{0,85} \cdot 2444,96 \cdot (2691 - 4,19 \cdot 124,7) \cdot (1 - 0,075) \cdot 1,038 = \\ = 5,98 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч}.$$

Плотность теплового потока составляет:

- в первом периоде сушки

$$q_1 = K \cdot (t_{\text{н.п.}} - t_{\text{n,1}}) = 535 \cdot (125,9 - 96) = 15996 \text{ Вт/м}^2,$$

- во втором периоде сушки

$$q_1 = q_1 \cdot z \cdot m_r = K \cdot (t_{н.п} - t_{н.1}) = 535 \cdot (125,9 - 96) \cdot 0,48 \cdot 1,038 = 8529 \text{ Вт/м}^2,$$

где

z - среднеинтегральное значение коэффициента сушки во втором периоде.

Активная поверхность одного цилиндра составляет:

$$h_{a.ц} = \psi \cdot \pi \cdot d_{ц} \cdot L_{ц} = 0,6 \cdot \pi \cdot 1,5 \cdot 3,1 = 8,67 \text{ м}^2.$$

Общее расчетное число сушильных цилиндров

$$n_{\text{общ.р.}} = \frac{19,1 \cdot V \cdot q \cdot (T_k - T_n)}{d_{ц} \cdot a \cdot T_n \cdot w_1}, \text{ цилиндров,}$$

где

V - рабочая скорость бумагоделательной машины, м/мин;

q - масса бумаги площадью 1 м^2 , г/м²;

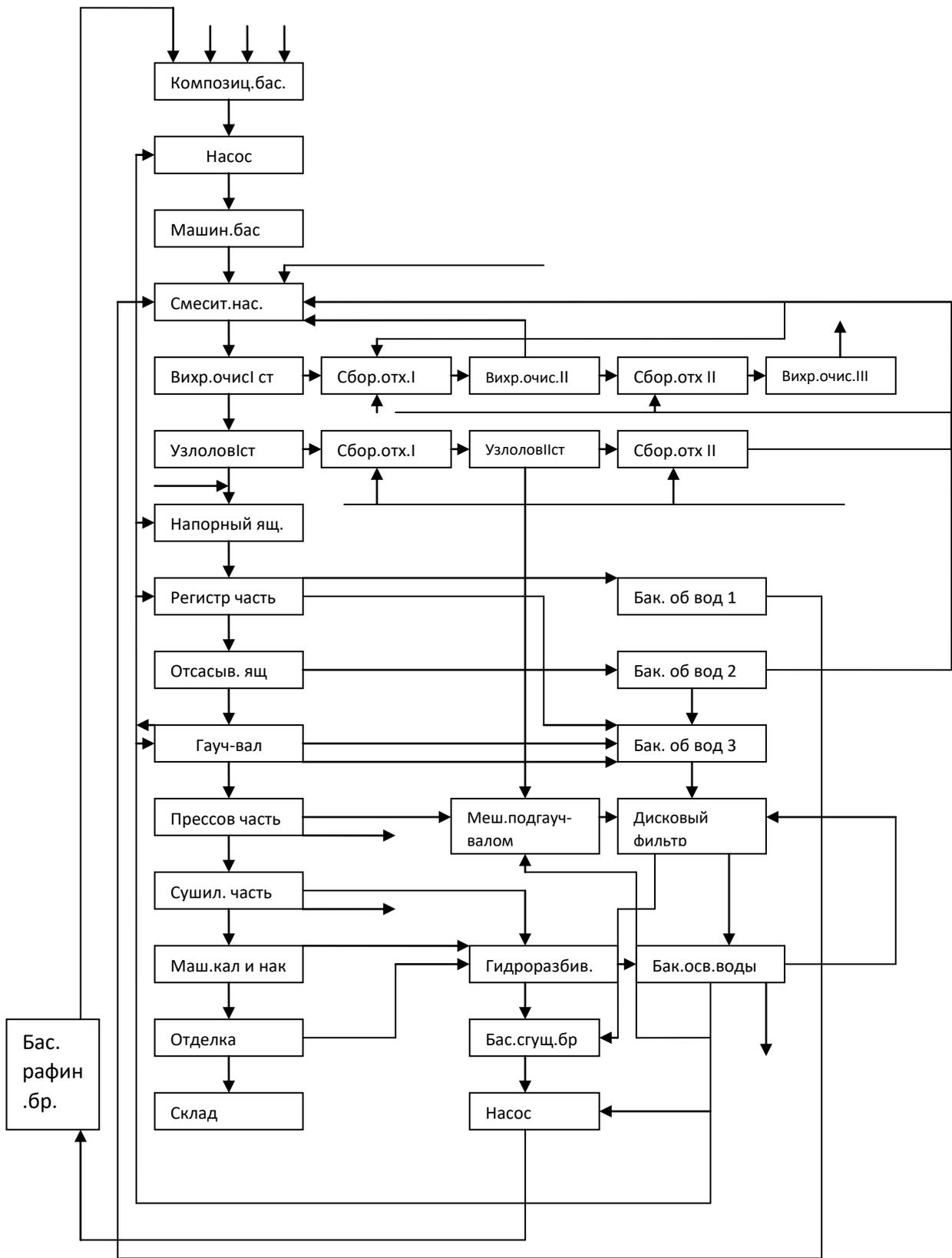
T_n, T_k - температура бумажного полотна в начале и в конце сушильной части, °С;

w_1 - удельный съем воды с полезной сушильной поверхности, кг/м².

Принимаем : $V=218,5$ м/мин, $q=80$ г/м², $T_n=38$ °С, $T_k=96$ °С,

$$w_1=25 \text{ кг/м}^2, a=0,6, d_{ц}=1,5 \text{ м.}$$

$$n_{\text{общ.р.}} = \frac{19,1 \cdot 218,5 \cdot 80 \cdot (96 - 38)}{1,5 \cdot 0,6 \cdot 38 \cdot 25} = 22 \text{ цилиндра.}$$



Принципиальная технологическая схема производства офсетной бумаги

Библиографический список

1. Основные расчеты по материальному балансу производства бумаги: учеб. пособие/ сост. Л.Л. Парамонова, А.С. Смолин.- ВШТЭ СПбГУПТД., СПб., 2018.
2. Машины для производства бумаги и картона/ под ред. В.С. Курова, Н.Н. Кокушина.-СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Пётра Великого, 2017.
3. Иванов С.Н. Технология бумаги.-М.:Школа бумаги, 2006.
4. Технология целлюлозно-бумажного производства/ под ред. П.С. Осипова.- СПб.: Политехника, 2003, 2004, 2005, 2012.
5. Фляте Д.М. Свойства бумаги.-СПб.: Изд-во Лань, 2012.