

**Е. Г. Смирнова  
П. М. Кейзер  
Е. И. Симонова  
Д. И. Малютина**

# **ГОСУДАРСТВЕННАЯ ИТОГОВАЯ АТТЕСТАЦИЯ**

## **ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

**Учебно-методическое пособие**

**Санкт-Петербург  
2025**

**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**

**Е. Г. Смирнова  
П. М. Кейзер  
Е. И. Симонова  
Д. И. Малютина**

# **ГОСУДАРСТВЕННАЯ ИТОГОВАЯ АТТЕСТАЦИЯ**

## **ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

**Учебно-методическое пособие**

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД

Санкт-Петербург  
2025

УДК 006.91:531.7.08:681.2.08(075.8)

ББК 30.10я73

Г72

*Рецензенты:*

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

*А. В. Вураско;*

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии древесных композиционных и целлюлозных материалов Санкт-Петербургского лесотехнического университета им. С. М. Кирова

*А. В. Шелоумов;*

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной графики и автоматизированного проектирования Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна

*Н. П. Мидуков*

**Г72** Государственная итоговая аттестация. Основные технологические расчеты выпускной квалификационной работы: учебно-методическое пособие / Е. Г. Смирнова, П. М., Кейзер, Е. И. Симонова, Д. И. Малютина. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2025. — 94 с.

Учебно-методическое пособие соответствует программам и учебным планам государственной итоговой аттестации для студентов, обучающихся по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология», профиль «Химическая и биотехнология переработки растительного сырья». В учебно-методическом пособии представлены основные технологические расчеты при выполнении выпускной квалификационной работы.

Учебно-методическое пособие предназначено для бакалавров очной и заочной форм обучения.

УДК 006.91:531.7.08:681.2.08(075.8)

ББК 30.10я73

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2025

© Смирнова Е. Г., Кейзер П. М.,

Симонова Е. И., Малютина Д. И., 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Расчет часовой, суточной и годовой производительности БДМ/КДМ.....	5
2. Расчет расхода волокнистого сырья в производстве бумаги и картона.....	6
3. Расчет и подбор оборудования для размола волокнистых полуфабрикатов.....	6
4. Расчет и подбор оборудования для хранения и очистки массы.....	11
5. Величина напора бумажной массы в напускном устройстве.....	15
6. Высота открытия щели напускного устройства.....	16
7. Основные параметры сеточного стола.....	17
8. Сухость бумажного полотна после прессов.....	18
9. Расчет баланса воды и волокна в производстве бумаги и картона.....	21
9.1. Пример расчета в производстве писчепечатных видов бумаг.....	23
9.2. Пример расчета в производстве санитарно-гигиенических видов бумаг.....	36
9.3. Пример расчета расхода волокнистого полуфабриката без расчета баланса.....	49
10. Тепловой баланс.....	49
10.1. Пример расчета теплового баланса в производстве газетной бумаги (с использованием сушильных сукон).....	54
10.2. Пример расчета теплового баланса в производстве упаковочной бумаги (с использованием сушильных сеток).....	62
10.3. Расчет теплового баланса в производстве санитарно-гигиенических видов бумаг.....	70
11. Расчет и подбор насосов.....	75
11.1. Расчет и подбор вакуумных насосов.....	75
11.2. Расчет и подбор центробежных насосов.....	77
12. Расчет потребляемой мощности привода бумагоделательной машин.....	81
13. Расчет и подбор оборудования для переработки оборотного брака.....	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	84
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	85
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	86

## **ВВЕДЕНИЕ**

При выполнении выпускной квалификационной работы обучающийся должен принять ряд проектных решений технологического характера. Для правильного выбора технологических схем, режимов и оборудования студент должен выполнить ряд технологических расчетов, а также изучить соответствующие разделы литературы, список которой приведен в конце учебно-методического пособия.

Учебно-методическое пособие содержит методики расчета основного и вспомогательного оборудования бумаго- и картоноделательных машин, методики расчета материального и теплового баланса. В приложении к учебно-методическому пособию приведены марки и технологические параметры основного и вспомогательного оборудования различных производителей, по которым студент может выбрать необходимое оборудование для компоновки разработанной технологической схемы производства бумаги и картона.

Пособие предназначено для студентов направления подготовки 18.03.01 «Химическая технология», профиль «Химическая и биотехнология переработки растительного сырья» всех форм обучения.

# 1. РАСЧЕТ ЧАСОВОЙ, СУТОЧНОЙ И ГОДОВОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БДМ/КДМ

*Часовая производительность бумагоделательной машины брутто:*

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

где 0,06 – коэффициент, учитывающий перевод граммов в килограммы и минут в часы;

$V$  – скорость бумагоделательной машины, м/мин;

$B_n$  – необрезная ширина бумажного полотна на накате, м  
( $B_n = B_o + 0,1$  м, где  $B_o$  – обрезная ширина бумажного полотна, м);

$q$  – масса 1 м<sup>2</sup> бумаги, г.

*Максимальная суточная производительность бумагоделательной машины брутто:*

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

*Среднесуточная производительность машины нетто:*

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

где  $K_{эф}$  – коэффициент эффективности использования бумагоделательной машины:

$$K_{эф} = K_v \cdot K_x \cdot K_t,$$

где  $K_v$  – коэффициент использования рабочего времени машины;

$K_x$  – коэффициент, учитывающий холостой ход машины;

$K_t$  – технологический коэффициент, учитывающий возможные колебания скорости машины, связанные с качеством полуфабрикатов и другими технологическими факторами (0,99-0,98).

$$K_v = \frac{\mu}{24},$$

где  $\mu$  – фактическое время работы машины в сутки, ч (при скорости  $\leq 750$  м/мин  $\mu = 22,5$  ч, при скорости  $\geq 750$  м/мин  $\mu = 22,0$  ч).

$$K_x = K_m \cdot K_p \cdot K_k$$

где  $K_m$  – коэффициент, учитывающий брак на машине (0,95–0,98);

$K_p$  – коэффициент, учитывающий брак, образующийся на продольно-резательном станке (0,99-0,98);

$K_k$  – коэффициент, учитывающий брак образующийся на суперкаландре (0,99-0,98).

*Годовая производительность бумагоделательной машины:*

$$Q_{год} = \frac{Q_{с.н} \cdot Z}{1000}, \text{ тыс. т/год,}$$

где  $Q_{с.н}$  – среднесуточная производительность бумагоделательной машины нетто, т/сут;

$Z$  – количество дней работы машины в году ( $Z=345$ ).

## 2. РАСЧЕТ РАСХОДА ВОЛОКНИСТОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАГИ И КАРТОНА

*Расчет часового расхода волокнистого сырья и химикатов в производстве бумаги.*

Расход а.с. волокнистого сырья ( $M_{час}$ ) рассчитывается по формуле:

$$M_{час} = Q_{час} \times K, \text{ кг/ч,}$$

где  $Q_{час}$  – часовая производительность бдм, кг/ч;

$K$  – коэффициент, учитывающий величину промоек, зольность и влажность бумаги.

$$K = (1+П/100) \times (1-З/100) \times (1-W/100),$$

где  $П$  – промой, %;

$З$  – зольность бумаги, %;

$W$  – влажность бумаги, %.

Если композиция бумаги состоит из нескольких полуфабрикатов, то расход считается для каждого полуфабриката отдельно.

Расход в.с. волокнистого сырья в час рассчитывается по формуле:

$$M'_{час} = M_{час}/0,88, \text{ кг/ч,}$$

где 0,88 – коэффициент учитывающий влажность целлюлозы (12%).

Расход а.с. наполнителя рассчитывается по формуле:

$$M_{нап} = (З/У) \times Q_{час}, \text{ кг/ч,}$$

где  $З$  – зольность бумаги, %;

$У$  – удержание наполнителя в бумаге, %.

Расход в.с. наполнителя составит:

$$M'_{нап} = M_{нап}/n, \text{ кг/ч,}$$

где  $n$  – коэффициент, учитывающий влажность наполнителя.

Расход химикатов ( $M_{хим}$ ) рассчитывается по формуле:

$$M_{хим} = (Уд. \text{ расход} \times Q_{час}) / 1000, \text{ кг/ч}$$

## 3. РАСЧЕТ И ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗМОЛА ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

Расчет количества размалывающего оборудования произведен на основе максимального потребления полуфабрикатов и 24-часовой нагрузки оборудования в сутки.

На предприятиях, вырабатывающих массовые виды бумаги и картона, для размола волокнистых полуфабрикатов применяются конические и дисковые

мельницы. Необходимое количество мельниц рассчитывается, исходя из затрат электроэнергии на размол:

$$A = A_0 \cdot Q \cdot (P_k - P_n), \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{сут},$$

где  $A_0$  – удельный расход электроэнергии на размол волокнистого полуфабриката, кВт·ч/т°ШР;

$Q$  – количество воздушно-сухого полуфабриката, направляемого на размол, т/сут;

$P_k, P_n$  – конечная и начальная степень помола полуфабриката, °ШР.

Суммарная мощность электродвигателей дисковых мельниц с учетом их круглосуточной работы вычисляется по формуле:

$$N = \frac{A}{\eta \cdot z}, \text{ кВт},$$

где  $z$  – количество часов работы мельницы в сутки ( $z = 24$  ч);

$\eta$  – коэффициент загрузки электродвигателей ( $\eta = 0,85-0,90$ ).

*Количество ступеней размола:*

$$n = \frac{P_k - P_n}{\Delta \text{ШР}},$$

где  $\Delta \text{ШР}$  – рекомендуемый прирост степени помола волокнистого полуфабриката за одну ступень, °ШР.

Оптимальным режимом работы мельниц считается такой, при котором прирост степени помола за одну ступень составляет 5–8<sup>0</sup> ШР. При этом для трудноразмалываемых полуфабрикатов (сульфатная хвойная, хлопковая целлюлоза и др.) рекомендуется прирост степени помола 5–8<sup>0</sup> ШР за одну ступень, а для легкоразмалываемых (сульфитная целлюлоза, нейтральносульфитная полуцеллюлоза, сульфатная лиственная целлюлоза и др.) рекомендуется 8–15<sup>0</sup> ШР.

Мощность электродвигателей мельниц (рафинеров) по ступеням размола рассчитывается следующим образом (для двух ступеней мощность делят 50 % на 50 %, либо на I ступень – 60 %, на II ступень – 40 %).

$$N_I = N \times \frac{X_I}{100}, \text{ кВт} - \text{ для I ступени};$$

$$N_{II} = N \times \frac{X_{II}}{100}, \text{ кВт} - \text{ для II ступени},$$

$$N_I = N_{II},$$

где  $X_I$  и  $X_{II}$  – распределение электроэнергии соответственно на I и II ступени размола, % .

Для размола в три ступени: на I ступень – 40 % мощности, на II и III ступень – по 30 %.

Необходимое количество мельниц (рафинеров) для I и II степени размола составит:

$$n_I = \frac{N_I}{N_{IM}} \quad \text{и} \quad n_{II} = \frac{N_{II}}{N_{IIM}},$$

где  $N_{IM}$  и  $N_{IIM}$  – мощность электродвигателей мельниц (рафинеров), предусматриваемых к установке на I и II ступенях размола, кВт.

С целью уменьшения затрат на ремонт и обслуживание рекомендуется принимать к установке размалывающее оборудование как можно с меньшим количеством типоразмеров.

В таблицах 1–6 приведены технические характеристики дисковых мельниц.

Таблица 1 – Технические характеристики дисковых мельниц

Марка	Мощность эл. двигателя, кВт	Окружная скорость ротора, м/с	Диаметр диска, мм	Производительность по в.с. волокну, т/сут
МД-00	45	23	315	5-8
МД-02	90	26	500	10-35
МД-14	132	20	630	20-80
МД-25	315	31	800	25-50
МД-31	500	31	1000	50-200
МДС-00	90	23	315	10-30
МДС-02	200	26	500	20-70
МДС-14	315	24	630	35-120
МДС-24	630	31	800	70-240
МДС-33	1000	31	1000	110-400

Таблица 2 – Технические характеристики дисковых мельниц зарубежных фирм

Фирма-изготовитель	Диаметр диска, мм	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Окружная скорость, м/с	Мощность эл. двигателя, кВт	Производительность по в.с. волокну, т/сут
Однодисковые мельницы					
Дефибратор (Швеция)	500	900	24	100...200	10...60
	600	900	28	150...300	15...100
	800	600	25	400	25...150
	900	600	28	500	35...200
	1080	600	34	600	-
Сутерленд (США)	1067	600	33	550	60...110
	1220	500	32	380...750	90...170
	1370	500	36	1100	100...300
Тампелла (Финляндия)	760	600	24	200...400	130
	1067	500	28	470...1000	50...250
Бауэр (США)	813	450...600	19...25	300	100
	610	514...900	16...29	150	50
	1120	400...600	23...35	600	300

Сдвоенные мельницы					
Джонс (США)	660	500...700	17...24	110...220	-
	864	400...600	18...27	220...300	-
	1067	400...600	22...23	300...400	До 200
Спрут- Вальдон (США)	508	900	24	150	60
	660	720	24	180...300	160
	864	600	27	370...580	300
	1067	514	29	730...820	450
Тампелла (финляндия)	600	-	-	250...315	15...100
	760	500...600	20...24	315...500	30...150
	1067	500	28	600...1000	50...300

Таблица 3 – Технические характеристики дисковых мельниц компании  
PARCEL

Марка	Диаметр диска, мм	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Габаритные размеры, мм			Мощность эл-дв., кВт	Производительность по в.с. волокну, т/сут
			длина	ширина	высота		
Однодисковые мельницы							
D21-XX-2	460	980	2367	1005	840	55/75	15-30
D22-XX-2	508	980				110/130	20-40
D31-XX-1	663	740	2850	1140	1145	110/160/200	30-60
D32-XX-0	750	590				160/200/250	30-70
D32-XX-1	750	740				200/250/315	40-100
D33-XX-1	800	740				250	30-50
D33-XX-1	800	980				315	40-70
D33-XX-1	800	980					
Двухдисковые мельницы							
2D 21-XX-2	460	980	3810	841	708	110/160	40-60
2D 22-XX-2	508	980				200/250	50-80
2D 31-XX-1	663	740	4507	1280	1049	250/315/400	60-120
2D 32-XX-0	750	590				400/500	60-130
2D 32-XX-1	750	740				400/500/600	80-180
2D 32-XX-1	750	740					

Таблица 4 – Технические характеристики сдвоенных дисковых мельниц, типа  
Twin Hydradisc компании KADANT LAMONT

Параметры	Марка мельницы			
	16/18	20/22	26/28/30	38/40/42
Рабочая концентрация, %	3,5-6,0			
Диаметр дисков, мм	400-457	510-560	660-760	960-1060
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	1200	900	600-720	450-600
Установочная мощность, кВт	300	350	700	2500

Окончание табл. 4

Максимальное давление, кПа	75	100	100	100
Производительность по в.с.в., т/сут	7...100	20...150	30...350	75...90
Габаритные размеры, мм				
Длина	1648	1981	2238	3010
Ширина	711	960	1042	1346
Высота	762	1032	1118	1473

Таблица 5 – Технические характеристики конических мельниц, типа OptiFiner компании Metso

Параметры	Марка мельницы					
	RF-0	RF-1	RF-2	RF-3	RF-4	RF-5
Рабочая концентрация, %	2-6					
Производительность, т/сут	5-50	5-150	25-250	50-350	100-500	300-800
Давление (max), кПа	600					
Мощность двигателя, кВт	90-110	150-300	300-500	400-800	800-1500	1500-2600
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	900-1800	720-1200	600-900	514-720	450-600	330-514
Габаритные размеры, мм						
Длина	1508	1765	2200	2350	2775	2860
Ширина	810	850	960	1100	1300	1680
Высота	720	400	500	600	700	950
Вес без двигателя, кг	780	1300	2600	3700	6700	11000

Таблица 6 – Технические характеристики сдвоенных дисковых мельниц, типа Twinflo компании ANDRITZ

Параметры	Марка мельницы				
	TF20	TF26	TF34	TF42	TF52
Рабочая концентрация, %	3,5-6,0				
Диаметр дисков, мм	457-610	660-813	864-1016	1067-1219	1270-1473
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	1000-800	750-600	600-480	500-400	400-330
Мощность, кВт					
Установочная	300	500	900	1700	2500
Холостого хода	60	90	150	200	450
Производительность по в.с.в, л/мин (при концентрации 4%)	320-1960	650-4350	1250-8750	2000-14400	5600-21000

Габаритные размеры, мм					
Длина	1912	2255	2620	3240	3840
Ширина	1050	1200	1403	1620	1980
Высота	1030	1280	1520	1815	2400

#### 4. РАСЧЕТ И ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ОЧИСТКИ МАССЫ

Перед изготовлением бумаги волокнистую массу необходимо очистить от различного типа загрязнений. Загрязнения, имеющие плотность большую чем волокна (песок, металл и т.п.), удаляют на вихревых очистителях, а такие загрязнения, как непровар, сучки, сгустки волокон, удаляются в различных сортировках. Характеристики установок центриклинеров представлены в таблице 7–9, а сортировок в таблице 10.

Таблица 7 – Технические характеристики установок вихревых очистителей УВК-...-01

Наименование параметров	УВК-15-01	УВК-40-01	УВК- 90-01	УВК-180-01	УВК-300-01	УВК-800-01
Производительность по воздушно-сухому волокну, т/сут	15	40	90	180	300	800
Количество очистителей, шт:						
1-я ступень	19	48	112	208	384	992
2-я ступень	4	8	16	32	48	320
3-я ступень	1	4	8	8	16	80
Установленная мощность, кВт	39	102,5	297	577	610	1737
Габаритные размеры, м:						
Длина	3,60	5,74	8,40	12,23	9,40	17,60
Ширина	2,24	2,74	2,80	2,80	9,24	5,69
высота	2,24	3,20	2,64	2,64	3,69	5,97
Масса, т	1,34	5,27	7,80	15,30	14,30	50,05

Таблица 8 – Технические характеристики установок вихревых очистителей УВК-...-02

Наименование параметров	УВК-50-02	УВК-120-02	УВК-180-02	УВК-300-02	УВК-400-02	УВК-500-02	УВК-700-02
Производительность по воздушно-сухому волокну, т/сут	50	120	180	300	400	500	700
Количество очистителей, шт:							
1-я ступень	20	46	70	114	160	184	266
2-я ступень	6	12	18	28	32	34	76
3-я ступень	2	4	3	8	6	8	20
Установленная мощность, кВт	90	327	555	610	945	1495	2037
Габаритные размеры, м:							
Длина	5,84	12,95	6,34	8,72	19,34	7,39	14,92
Ширина	2,97	2,14	6,79	5,93	7,89	5,48	5,63
высота	2,46	2,65	3,15	3,20	3,20	2,82	3,66
Масса, т	4,69	10,45	17,89	14,70	35,95	74,40	47,64

Таблица 9 – Технические характеристики установок вихревых очистителей УВК-...-04

Наименование параметров	УВК-90-04	УВК-150-04	УВК-300-04	УВК-500-04	УВК-700-04
Производительность по воздушно-сухому волокну, т/сут	90	150	300	50	700
Количество очистителей, шт:					
1-я ступень	6	10	16	26	36
2-я ступень	2	4	6	10	8
3-я ступень	1	2	2	4	2
Установленная мощность, кВт	327	411	701	1096	907
Габаритные размеры, м:					
Длина	5,50	5,89	13,93	10,11	11,04
Ширина	3,77	6,52	3,88	6,52	6,01
высота	3,73	4,00	4,95	4,29	3,69
Масса, т	9,81	13,45	25,47	28,24	29,20

Установки УВК-01 применяются для очистки полуфабрикатов, в которых строго регламентируется сорность. УВК-02 применяют для очистки древесной массы и некоторых видов целлюлозы. УВК-04 применяются в основном перед бумаго- и картоноделательными машинами, позволяют не только очистить, но и произвести одновременную деаэрацию массы.

Таблица 10 – Технические характеристики аппаратуры машинной очистки массы

Тип сортировки	Производительность в.с.в, т/сут	Концентрация массы, %	Количество отходов, %	Мощность эл. двигателя	Масса, т	Площадь сита, м <sup>3</sup>
УЗ-01	10-20	0,3-0,8	До 3,5	5,5	1,437	0,64
УЗ-02	25-50	0,3-0,8	До 3,5	10	2,303	0,17
УЗ-03	35-65	0,3-0,8	До 3,5	30	4,859	1,93
УЗ-12	До 110	0,1-0,3	3,0-5,0	22,0	2,200	1,6
УЗ-13	До 200	До 1,3	3,0-5,0	22,30	3,200	2,92
УЗ-15	300-400	0,9	3,3-5,0	75	8,145	5,69
УЗ-09-01	40-60	До 1,0	3-5	10	0,88	0,90
СЦН-09-01	300	До 3,0	5-7,0	100	2,8	0,93
СЗ-09-01	50-80	До 2,0	8-15	17	0,99	0,90
СЗ-12	До 120	0,5-1,5	8-15	30,40	2,600	1,6
СЗ-13	До 250	1,0-2,0	8-15	55,75	4,200	2,92
Центрисортер-100	10-80	0-3,0	-	22	0,500	-
Центрисортер-200	30-150	0-3,0	-	45	0,850	-
Центрисортер-400	80-350	0-3,0	-	90	3,60	-
Центрисортер-800	150-950	0-3,0	-	200	-	-
Радискрин	6000 л/мин	До 1,0	10-15	2,2	1,5	
	25000 л/мин			5	3,0	
	40000 л/мин			7,5	4,0	
	63000 л/мин			10	4,5	
Сортировка	1-2000 л/мин	0,6-0,5	До 15	Привода нет	0,200	
Сортировка	2-400000 л/мин	0,6-0,5	До 15	Привода нет	0,500	

Расчет емкости бассейнов производится по формуле:

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

где  $Q$  – количество воздушно-сухого волокнистого материала, т/сут;

$n$  – влажность воздушно-сухого волокнистого материала, %;

- $t$  – время хранения массы, ч;  
 $z$  – количество рабочих часов в сутки, ч;  
 $c$  – концентрация волокнистой суспензии в бассейне, %;  
 $K$  – коэффициент, учитывающий неполноту заполнения бассейна ( $K = 1,2-1,3$ );

Как правило, продолжительность хранения полуфабрикатов принимается до и после размола – 2 часа, а бумажной массы в композиционном и машинном бассейнах – 15–30 мин.

*Расчет времени, на которое рассчитан запас массы в бассейне определенной емкости:*

$$t = \frac{V \cdot z \cdot c}{P(100-n)^{1,2}}, \text{ ч,}$$

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

$V$  – объем бассейна, м<sup>3</sup>;

$n$  – влажность воздушно-сухого волокнистого материала, %;

$t$  – время хранения массы;

$z$  – количество рабочих часов в сутки;

$c$  – концентрация волокнистой суспензии в бассейне, %;

$K$  – коэффициент, учитывающий неполноту заполнения бассейна ( $K = 1,2-1,3$ ).

Емкости бассейнов необходимо унифицировать, чтобы облегчить их изготовление, компоновку, эксплуатацию и ремонт. Желательно приводить все бассейны не более чем к двум-трем типоразмерам. Пример унификации объемов бассейнов приведен в таблице 11. Бассейны выпускаются объемом с кратностью 50 м<sup>3</sup>.

Таблица 11 – Унификация емкости бассейнов

Назначение бассейна	По расчету		После унификации	
	объем бассейна, м <sup>3</sup>	время хранения массы, ч	объем бассейна, м <sup>3</sup>	время хранения массы, ч
Приемный бассейн сульфатной хвойной целлюлозы	319	0,5	350	0,6
Бассейн размолотой небелёной хвойной целлюлозы	1206	1,4	1300	1,6

## 5. ВЕЛИЧИНА НАПОРА БУМАЖНОЙ МАССЫ В НАПУСКНОМ УСТРОЙСТВЕ

Необходимый напор массы в напускном устройстве рассчитывается на основании следующих зависимостей:

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

$$V_M = 60 \times \mu \times \sqrt{2\partial H};$$

$$V_M = K_M \times K_C \times \gamma,$$

где  $V_M$  – скорость вытекания массы на сетку, м/мин;

$V$  – скорость бумажного полотна на накате, (средняя расчетная скорость) м/мин;

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

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

$\mu$  – коэффициент истечения массы ( $\mu = 0,90 - 0,95$ );

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

Для рассматриваемого примера принято:

$$V = 600 \text{ м/мин}; K_M = 0,95; K_C = 0,95; \mu = 0,93; g = 9,81 \text{ м/с}^2.$$

$$H = \left( \frac{0,95 \times 0,95}{60 \times 0,93} \right)^2 \times \frac{600^2}{2 \times 9,8} = 7,5 \text{ м}$$

Расчет величины напора массы позволяет выбрать тип напорного ящика: при высоте напора более 1,5 м необходимо установить напорный ящик закрытого или гидродинамического типа. Технические характеристики напорных ящиков приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Технические характеристики напорных ящиков

Тип напорного ящика	Обрезная ширина полотна, мм	Масса 1 м <sup>2</sup> вырабатываемой продукции, г	Скорость машины, м/мин	Расходы массы, м <sup>3</sup> /с
Гидродинамические с выравнивающей камерой	4200	40-250	400-1000	0,5-2,5
	5200			
	6720			
Гидродинамические с гасителем пульсации	2520		100-1000	0,15-2,5
	4200			
	6720			

Гидродинамические с регулированием поперечного профиля локальными изменением концентрации массы	4200	40-250	400-1000	0,4-2,5
	6720			
Закрытые с перфорированными валами	2520	40-250	250-600	0,15-2,0
	4200			
Открытые с перфорированными валами	1680	40-500	50-200	0,05-1
	2520			
	4200			
	6300			

## 6. ВЫСОТА ОТКРЫТИЯ ЩЕЛИ НАПУСКНОГО УСТРОЙСТВА

Высота открытия щели напускного устройства рассчитывается по следующим формулам:

$$h = \frac{P}{60 \times l \times \mu^2 \times \sqrt{2gH}};$$

$$P = \frac{P_i \times Q_{ч.бр.}}{60 \times 1000};$$

$$l = \frac{B_H}{100 - E} \times 100 + 2a,$$

где  $P_i$  – количество бумажной массы, вытекающей из щели напускного устройства для выработки 1 тонны бумаги (по данным баланса воды и волокна), м<sup>3</sup>/мин;

$l$  – длина выпускной щели, м;

$E$  – усадка бумаги в сушильной части, для мешочной бумаги 3–5 %;

$a$  – ширина кромок бумаги, отсекаемых на гауч-вале ( $a = 25 - 50$  мм), м;

$\mu$  – коэффициент истечения массы ( $\mu = 0,90 - 0,95$ );

$H$  – высота напора массы перед выпускной щелью, м.

Для рассматриваемого примера принято:

$B_H = 6,4$  м,  $E = 4$  %,  $a = 0,025$  м,  $Q_{ч.бр.} = 20,083$  т,  $V = 600$  м/мин,  $K_M = 0,95$ ,  $K_C = 0,95$ ,  $\mu = 0,97$ ,  $P_i = 152660,44$  (из баланса воды и волокна).

$$P = \frac{152660,44 \times 20,083}{60 \times 1000} = 51,1 \text{ м}^3/\text{мин};$$

$$l = \frac{6,4 \times 100}{100 - 4} = 6,67 \text{ м};$$

$$h = \frac{51,1}{6,67 \times 0,97 \times 0,95 \times 0,95 \times 600} = 0,015 \text{ м}.$$

## 7. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СЕТОЧНОГО СТОЛА

Формующие сетки бумаго- и картоноделательных машин изготавливаются стандартной ширины в зависимости от обрезной ширины бумажного полотна (табл. 13).

Таблица 13 – Ширина сеток в зависимости от обрезной ширины

Обрезная ширина бумаги, м	Стандартная ширина сетки, м
2,52	2,90
4,20	4,70
5,88	6,35
6,30	6,90
8,40	8,90

Длина сетки определяется расчетным путем, исходя из площади сеточного стола ( $F_{ст}$ ) и удельного съема продукции ( $g_i$ ).

$$F_{ст} = l_{се} \times B_n, \text{ м}^2;$$

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

$$l_{ст} = \frac{Q_{хч.бр.}}{q \times B_{нi}}, \text{ м},$$

где  $F_{ст}$  – площадь сеточного стола,  $\text{м}^2$ ;

$l_c$  – длина сетки (больше в 2,15–2,35 раза длины сеточного стола), м;

$l_{ст}$  – длина сеточного стола (расстояние между осями грудного и нижнего вала гауча), м.

$g_i$  – удельный съем бумаги с сеточного стола,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  ( $g_i = 130 \text{ кг}/\text{ч} \times \text{м}^2$ ).

Таблица 14 – Удельные съемы бумаги с общей поверхности отсасывающих ящиков и на сеточном столе бумагоделательной машины

Вид бумаги	Масса 1 $\text{м}^2$ , г	Скорость машины, м/мин	Удельный съем бумаги с общей поверхности отсасывающих ящиков, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Удельный съем бумаги на сеточном столе, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$
Газетная	41 - 45	750 – 1200	750 - 1100	160 – 170
Писчая и типографская	62 - 65	400 – 900	400 - 450	95 – 110
Обойная	80 - 120	250 – 300	?	100 – 110

Офсетная, для глубокой печати и др.	90 - 160	250 – 400	210- 360	90 – 100
Чертежная	180 - 200	50 – 100	210- 360	50 – 65
Пергамина	40 - 45	100 – 200	100 - 150	50 – 60
Папиросная	14 - 16	100 – 200	35 - 50	15 – 20
Кабельная, патронная	90 - 160	60 – 100	190 - 230	25 – 35
Мешочная	70 - 80	300 – 450 500 – 700	350 - 580	105 – 120 126 – 160
Односторонней гладкости (афишная, билетная)	20 - 70	100 – 200	400 - 650	30 – 50
Санитарно-гигиенические виды бумаги	12 - 18 12 - 18	300 – 600 700 – 900	500 и выше	60 – 75 80 – 110

### Количество отсасывающих ящиков

Количество отсасывающих ящиков на сеточном столе рассчитывают на основании следующих зависимостей:

$$F_{\text{о.я.}} = \frac{q_{\text{ч.}}}{q_2} M^2;$$

$$f_{\text{о.я.}} = v_{\text{о.я.}} \times B_{\text{н}} M^2;$$

$$F_{\text{о.я.}} = n \times f_{\text{о.я.}};$$

$$n = \frac{q_{\text{ч.бр.}}}{q_2 \times f_{\text{о.я.}} \times B_{\text{н}}},$$

где  $F_{\text{о.я.}}$  – общая площадь отсасывающих ящиков сеточного стола,  $M^2$ ;

$f_{\text{о.я.}}$  – площадь одного отсасывающего ящика,  $M^2$ ;

$v_{\text{о.я.}}$  – ширина отсасывающего ящика,  $M^2$ ;

$q_2$  – удельный съем бумаги с общей поверхности отсасывающих ящиков,  $кг/(M^2 \cdot ч)$ .

## 8. СУХОСТЬ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА ПОСЛЕ ПРЕССОВ

Сухость бумажного полотна после прессования рассчитывается по следующей формуле:

$$C_{\text{к}} = \frac{A \times \alpha_0 \times m_0 \times P_{\text{ср}}^{\gamma} \times C_{\text{с}}^{\theta} \times C_{\text{н}}^{\omega} \times g^{\beta}}{v^{\varepsilon}},$$

где  $C_{\text{к}}$  – сухость бумаги после прессования, %;

$A$  – коэффициент, характеризующий конструкцию пресса;

$\alpha_0$  – коэффициент вида бумаги;

$m_0$  – коэффициент, зависящий от марки сукна, массы квадратного метра бумаги и скорости машины;

$P_{\text{ср}}$  – среднее удельное давление между валами,  $кгс/см$ ;

$C_c$  – сухость сукна перед прессом, %;  
 $C_H$  – сухость бумаги перед прессом, %;  
 $g$  – масса квадратного метра бумаги, г;  
 $\beta$  – коэффициент массы бумаги;  
 $Ш_p$  – степень помола, ° ШР;  
 $\gamma, \theta, \omega, \varepsilon, \psi$  – опытные коэффициенты.

Для рассматриваемого проекта принято:

$$A = 110^{0,023} \times 420^{0,047}; P\gamma = 14,2^{0,123}; g^\beta = 90^{0,026}; Ш_p = 48^{0,145}; \alpha_0 = 0,73;$$

$$m_0 = 9,07; v^\varepsilon = 620^{0,055}; C_c = 60^{0,07}; C_H = 20^{0,127}$$

$$C_k = \frac{110^{0,023} \times 420^{0,047} \times 0,73 \times 9,07 \times 14,2^{0,145} \times 60^{0,07} \times 20^{0,127} \times 90^{0,026}}{620^{0,055} \times 48^{0,145}} = 35,45 \%$$

В таблицах 15–19 приведены справочные значения коэффициентов, используемых в расчетах.

Таблица 15 – Значение коэффициента вида пресса А

Тип пресса					
обычный	отсасывающий	с желобчатым валом	с промежуточным валиком	с подкладной сеткой	комбинированный
1	$H^{0,023} * B^{0,047}$	$t^{-0,038} * b^{0,063}$	$D_{пр}^{-0,027}$	1	1

$H$  – это вакуум в отсасывающей камере, мм.рт.ст;  $B$  – ширина камеры, мм;  $t$  – шаг между желобками, мм;  $D_{пр}$  – диаметр промежуточного валика, мм.

Таблица 16 – Значение коэффициента вида бумаги  $\alpha_0$

Вид бумаги	Масса бумаги, г/м <sup>2</sup>	Тип пресса				
		Обычный	Отсасывающий	с желобчатым валом	с промежуточным валиком	с подкладной сеткой и комбинированный
Типографская	53	0,98	0,99	1,04	1,0	1,03
Этикеточная	100	0,94	0,87	0,85	0,74	0,89
Газетная	45	0,98	0,96-1,08	1,04	1,0	1,03
Мешочная	78	0,86	0,73	-	-	-
Писчая	120	1,09	0,75	-	-	-
Для глубокой печати	75	-	1,02	-	-	-
Сигаретная	18	0,84	0,98	-	-	-
Кабельная	91	0,86	0,63	-	-	-
Конденсаторная	6	0,78	0,75	-	-	-

Таблица 17 – Значения коэффициента  $m_0$ , от марки сукна и массы бумаги

Масса бумаги, г/м <sup>2</sup>	Тип прессы											
	обычный		отсасыва- ющий		с желобчатым валом		с промежуточ- ным валиком		с подкладной сеткой		комбинирован- ный	
	до 60°ШР	свыше 60°ШР	до 60°ШР	свыше 60°ШР	до 60°ШР	свыше 60°ШР	до 60°ШР	свыше 60°ШР	до 60°ШР	свыше 60°ШР	до 60°ШР	свыше 60°ШР
До 100	9,07	15,8										
Свыше 100	15,8	27,1										
До 125			21,0	36,1	21,94	39,5						
Свыше 125			44,7	77,5	49,75	92,1						
До 175							28,2	51,0	11,0	19,3		
Свыше 175							113,7	-	41,3	70,2		
50-200											22,2	38,98
210-600											56,83	

Таблица 18 – Значение коэффициента массы бумаги  $\beta$

Масса бумаги, г/м <sup>2</sup>	Тип прессы					
	обычный	отсасывающий	с желобчатым валом	с промежуточным валиком	с подкладной сеткой	комбинированный
До 100	0,037					
Свыше 100	0,083					
До 125		0,026	0,10			
Свыше 125		0,13	0,0694			
До 175				0,087	0,115	
Свыше 175				0,184	0,147	
До 210						0,048
Свыше 210						0,132

Таблица 19 – Значение опытных коэффициентов

Коэффици- ент	Тип прессы					
	обыч- ный	Отсасываю- щий	с желобчатым валом	с промежуточным валиком	с подкладной сеткой	комбинированный
$\gamma$	0,091	0,123	0,147	0,182	0,184	0,202
$\theta$	0,291	0,07	0,07	0,028	0,105	0,031
$\omega$	0,25	0,127	0,131	0,111	0,235	0,113
$\varepsilon$	0,085	0,055	0,067	0,053	0,059	0,0216
$\Psi$ при степени помола до 60°ШР	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145

Ψ при степени помола свыше 60°ШР	0,272	0,272	0,272	0,272	0,272	0,272
----------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

## 9. РАСЧЕТ БАЛАНСА ВОДЫ И ВОЛОКНА В ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАГИ И КАРТОНА

Для того чтобы иметь представление о потоках массы на разных стадиях производства, определить расход свежего волокна и воды на тонну бумаги, правильно выбрать новую технологическую схему и выявить безвозвратные потери волокна (промой), производят расчет баланса воды и волокна.

Расчет обычно ведется на одну тонну бумаги нетто с учетом брака в отделке и на машине. Ввиду того, что в ряде случаев заранее нельзя определить концентрацию оборотных вод, циркулирующих потоках и их количество, расчет приходится вести, начиная от готовой продукции, против хода технологического потока массы. Это усложняет расчеты, но зато делает их более точными.

Для определения количества вещества, поступающего на данную стадию производства, в том случае, если мы знаем количество выходящего с данной стадии производства вещества, причем часть вещества уходит с отходящими водами, можно пользоваться формулой И. И. Богоявленского:

$$X = G + K \left( \frac{100 - T_n}{T_n} * X - \frac{100 - T_k}{T_k} * G \right), \quad (1)$$

где  $X$  – количество сухого вещества, поступающего на данную стадию производства, кг;

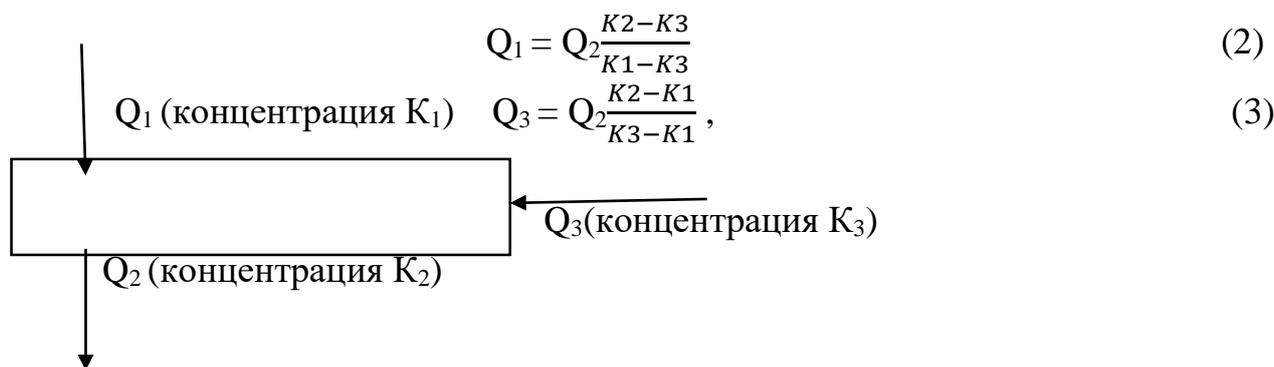
$G$  – количество сухого вещества, выходящего с данной стадии производства, кг;

$K$  – концентрация отходящих вод, кг/л;

$T_n$  и  $T_k$  – начальная и конечная сухость бумаги или соответственно начальная и конечная концентрация вещества в бумажной массе, %.

В более сложных случаях для определения количества сухого вещества в потоках отдельных узлов производства прибегают к составлению уравнения с двумя неизвестными. Обычно в таких случаях одно уравнение балансирует объемы массы, а второе – массу сухого вещества: сумма потоков волокна и воды, поступающих на данную стадию производства, должна быть равна сумме уходящих потоков, а именно:

$$\begin{aligned} Q_2 &= Q_1 + Q_3 \\ Q_2 K_2 &= Q_1 K_1 + Q_3 K_3 \end{aligned}$$



где  $Q_1$  и  $K_1$  – соответственное количество и концентрация потока массы, поступающего на данную стадию производства;  
 $Q_2$  и  $K_2$  – количество и концентрация потока массы, уходящего с данной стадии производства;  
 $Q_3$  и  $K_3$  – количество и концентрация оборотной воды, идущей на разбавление массы;  
 $Q_1, Q_2, Q_3$  измеряется в литрах или килограммах;  
 $K_1, K_2, K_3$  – в граммах на литр, килограммах на литр или процентах.

Формулами (2) и (3) можно также пользоваться во всех случаях при расчете баланса воды и волокна. Часто при этом они оказываются даже более удобными практически, чем формула (1).

Таким образом определяют количество массы и сухого вещества на всех стадиях бумажного производства. Дойдя до начала технологической схемы подготовки массы, выявляют расход свежего волокна.

Если баланс составлен правильно, то эти потери должны равняться разности между расходом свежего волокна на тонну бумаги А и выходом бумаги Б:  $A - B = В$ , где В – потери волокна (промой), кг.

Безвозвратные потери, отнесенные к расходу свежего волокна и выраженные в процентах от расхода свежего волокна, дают промой волокна в процентах:

$$P = \frac{B \cdot 100}{G} \%,$$

где P – промой, %;

G – расход абсолютно сухого свежего волокна на тонну бумаги, кг.

При расчете баланса воды и волокна следует иметь в виду, что можно для упрощения подсчетов округлять цифры, выражающие количество волокна или сухого вещества, до 0,1 кг. Цифры, выражающие количество воды, округляются обычно до 0,01 м<sup>3</sup>, а при больших количествах воды даже до 0,1 м<sup>3</sup>, то есть до 10 и до 100 л на тонну бумаги.

Полученные при расчете баланса данные сводятся в таблицу прихода и расхода волокна, наполнителя, воды по каждому узлу производства. Эта таблица

облегчает ознакомление с результатами расчета и позволяет выявлять допущенные ошибки. Очень полезно также составлять графики потоков воды и волокна по данным расчетам.

### 9.1. Пример расчета в производстве писчепечатных видов бумаг

Расчет баланса воды и волокна на 1 тонну бумаги для печати массой 80 г/м<sup>2</sup>, вырабатываемой на машине со скоростью 140 м/мин, при рабочей ширине машины 2,8 м по технологической схеме, представленной на рис. 1.

#### Данные для расчета баланса воды и волокна:

- состав по волокну: 60 % сульфатной блененой хвойной целлюлозы, 40 % сульфатной блененой лиственной целлюлозы;

- масса 1 м<sup>2</sup> – 80 г.

Необрезная ширина бдм, м – 2800 мм.

Скорость бдм, м/мин – 140 м/мин.

Таблица 20 – Концентрация массы в разных стадиях производства, %

Приемный бассейн целлюлозы	3,5
Бассейн размолотой целлюлозы	3,2
Машинный бассейн	2,8
Напорный ящик	0,6
После регистровой части	3
После отсасывающих ящиков	10
После гауч-вала	24
После прессовой части	45
После сушильной части	95

Таблица 21 – Концентрация отходящих вод, %

Регистровая вода	0,09
Вода от промывки секи	0,007
Прессовая вода	0,08
Вода от промывки прессовых сукон	0,008

Количество сухого брака – 1 %;

Влажность сухого брака – 95 %;

Количество мокрого брака – 2 %;

Влажность мокрого брака – 64 %;

Количество брака в отделке – 0,8 %;

Концентрация оборотного брака – 3,2 %;

Количество отходов после напорной сортировки – 3 %;

Количество отходов после третьей ступени центриклинеров – 0,08 %.

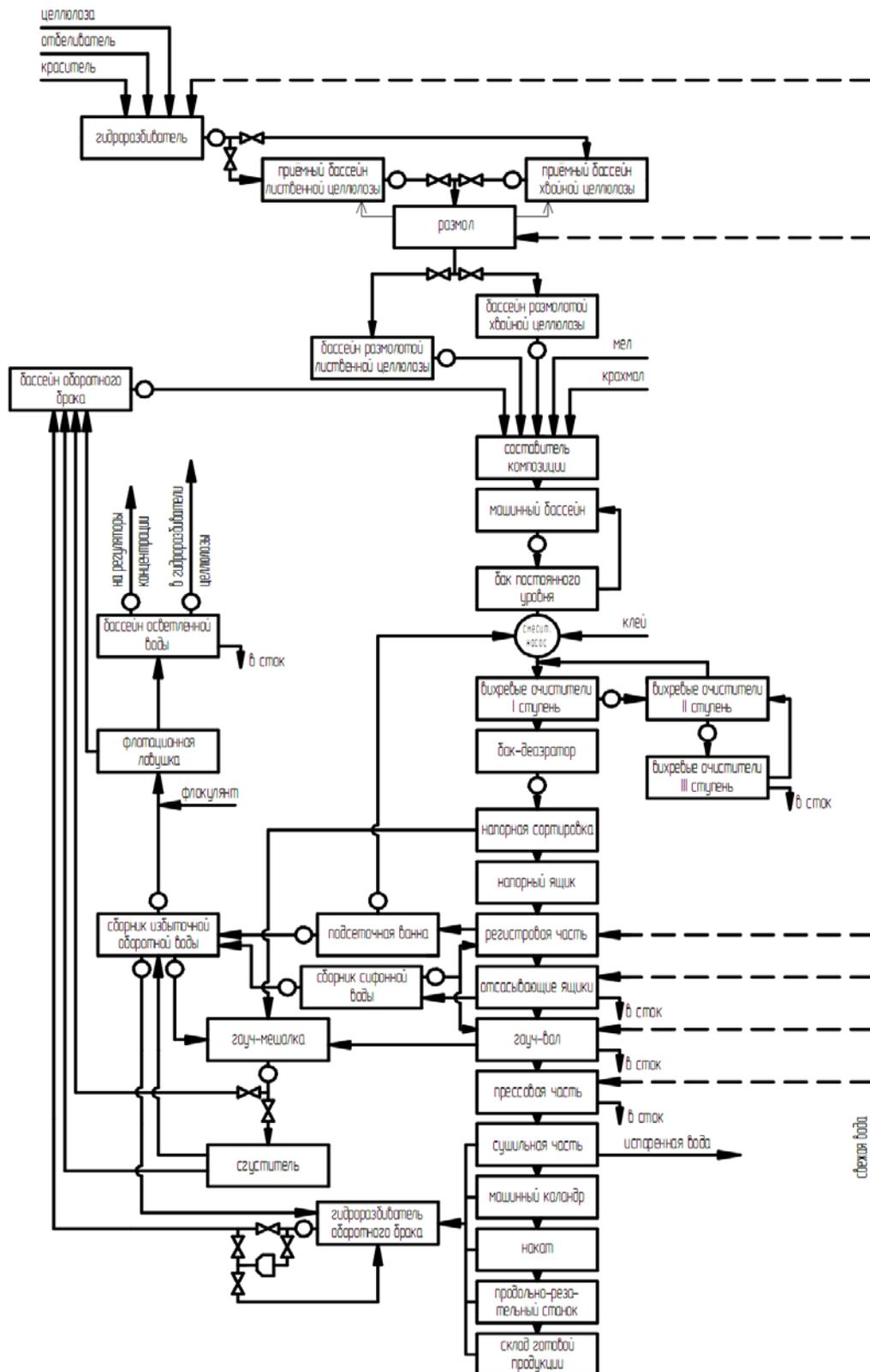


Рисунок 1 – Технологическая схема производства писчепечатных видов бумаг

### Накат

Для выработки 1 т бумаги нетто необходимо выработать на накате при 0,8 % брака в отделке  $1000 + 1000 \cdot 0,008 = 1008$  кг бумаги брутто.

### Сушильная часть

С учетом 1 % сухого машинного брака от массы брутто через сушильную часть машины должно пройти  $1008 + 1008 \cdot 0,01 = 1018,08$  кг бумаги.

В ней содержится:  $1018,08 \cdot 0,95 = 967,18$  кг волокна

$1018,08 - 967,18 = 50,90$  кг воды

Удаляется при сушке воды:

$$967,18 \cdot \left( \frac{100 - 45}{45} - \frac{100 - 95}{95} \right) = 1131,20 \text{ кг.}$$

Всего поступает в сушильную часть  $1018,08 + 1131,20 = 2149,28$  кг массы.

### Прессовая часть

Расход свежей воды на уплотнение вакуумной камеры отсасывающего прессового вала –  $600$  кг/1 т бумаги.

Поступает на прессовую часть волокна:

$$x = 967,18 + 0,0005 \cdot \left( \frac{100 - 24}{24} \cdot x + 600 - \frac{100 - 45}{45} \cdot 967,18 \right);$$
$$x = 968,42 \text{ кг.}$$

С ним воды:

$$\frac{100 - 24}{24} \cdot 968,42 = 3066,66 \text{ кг.}$$

Всего поступает в прессовую часть  $968,42 + 3066,66 = 4035,08$  кг массы.

Количество отходящей воды:

$$\frac{100 - 24}{24} \cdot 968,42 + 600 - \frac{100 - 45}{45} \cdot 967,18 = 2484,56 \text{ кг.}$$

С ней уходит  $968,42 - 967,18 = 1,24$  кг волокна.

### Расход свежей воды на промывку прессовых сукон

Промывка сукон производится щелевыми сукномойками, и вода для промывки подается только во время холостого хода машины.

$$5 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 100 \cdot 1,16 = 3480 \text{ кг,}$$

- где
- 5 – количество прессовых сукон;
  - 2 – количество спрысковых труб на одно сукно;
  - 3 – длина спрысковой трубы, м;
  - 100 – расход воды на 1 п. м. длины спрыска, кг/мин;
  - 1,16 – время холостого хода, приходящееся на выработку 1 т бумаги нетто, мин ( $0,03 \cdot 38,82 = 1,16$ ), где  
38,82 – время выработки 1 т бумаги нетто, мин.

## Гауч-вал

С учетом 2 % мокрого машинного брака от волокна, поступающего на прессовую часть, с гауч-вала должно сойти  $968,45 + 968,45 \cdot 0,02 = 987,82$  кг волокна.

Количество волокна в отсечках – 1,5 % – от сходящего полотна:  
 $987,82 \cdot 0,015 = 14,82$  кг.

Всего сходит с гауч-вала  $987,82 + 14,82 = 1002,64$  кг волокна.

Расход свежей воды на уплотнение вакуумной камеры отсасывающего гауч-вала – 300 кг/1 т бумаги.

Поступает на гауч-вал волокна:

$$x = 1002,64 + 0,0006 \cdot \left( \frac{100-10}{10} \cdot x + 300 - \frac{100-24}{24} \cdot 1002,64 \right);$$
$$x = 1006,35 \text{ кг.}$$

С ним воды:

$$\frac{100-10}{10} \cdot 1006,35 = 9057,15 \text{ кг.}$$

Всего поступает на гауч-вал  $1006,35 + 9057,15 = 10063,50$  кг массы.

Количество отходящей воды:

$$\frac{100-10}{10} \cdot 1006,35 + 300 - \frac{100-24}{24} \cdot 1002,64 = 6182,23 \text{ кг.}$$

С ней уходит  $1006,35 - 1002,64 = 3,71$  кг волокна.

## Отсасывающие ящики

Расход воды для гидравлического затвора – 1000 кг/1 т бумаги, в том числе 500 кг, засасываемой внутрь ящичков.

Поступает на отсасывающие ящики волокна:

$$x = 1006,35 + 0,0007 \cdot \left( \frac{100-3}{3} \cdot x + 500 - \frac{100-10}{10} \cdot 1006,35 \right);$$
$$x = 1023,53 \text{ кг.}$$

С ним воды:

$$\frac{100-3}{3} \cdot 1023,53 = 33094,14 \text{ кг.}$$

Всего поступает на отсасывающие ящики  $1023,53 + 33094,14 = 34117,67$  кг массы.

Количество отходящей воды (сифонной):

$$\frac{100-3}{3} \cdot 1023,53 + 500 - \frac{100-10}{10} \cdot 1006,35 = 24536,99 \text{ кг.}$$

С ней уходит  $1023,53 - 1006,35 = 17,18$  кг волокна.

### Регистровая часть

Поступает на регистровую часть волокна:

$$x = 1023,53 + 0,0024 \cdot \left( \frac{100 - 0,6}{0,6} \cdot x - \frac{100 - 3}{3} \cdot 1023,53 \right);$$

$$x = 1567,24 \text{ кг.}$$

С ним воды:

$$\frac{100 - 0,6}{0,6} \cdot 1567,24 = 259639,43 \text{ кг.}$$

Всего поступает на регистровую часть  $1567,24 + 259639,43 = 261206,67$  кг массы.

Количество отходящей воды (регистровой):

$$\frac{100 - 0,6}{0,6} \cdot 1567,24 - \frac{100 - 3}{3} \cdot 1023,53 = 226545,29 \text{ кг.}$$

С ней уходит  $1567,24 - 1023,53 = 543,71$  кг волокна.

### Расход воды на промывку сетки

$$6 \cdot 3 \cdot 20 \cdot 38,82 = 13975,2 \text{ кг,}$$

где 6 – количество спрысковых труб;

3 – длина спрысковой трубы, м;

20 – расход воды на 1 п. м. длины спрыска, кг/мин;

38,82 – время выработки 1 т бумаги нетто, мин.

Уходит в подсеточную ванну с промывной водой  $13975,2 \cdot 0,0007 = 9,78$  кг волокна,  $13975,2 - 9,78 = 13965,42$  кг воды.

### Напорный ящик

Поступает в напорный ящик  $1567,24$  кг волокна, с ним  $259639,43$  кг воды, всего  $261206,67$  кг массы.

### Напорная сортировка

Количество отходов, идущих в гауч-мешалку, после напорной сортировки – 3 % – от поступающего волокна:  $1567,24 \cdot 0,03 = 47,02$  кг. При концентрации 1,6 % уйдет  $\frac{47,02 \cdot 100}{1,6} = 2938,75$  кг массы, в том числе  $2938,75 - 47,02 = 2891,73$  кг

воды.

Поступает в напорную сортировку  $1567,24 + 47,02 = 1614,26$  кг волокна, с ним  $259639,43 + 2891,73 = 262531,16$  кг воды, всего  $1614,26 + 262531,16 = 264145,42$  кг массы.

### Вихревые очистители

Очистка массы осуществляется в три ступени. Количество отходов на третьей – 0,08 %.

Уйдет в сток после третьей ступени  $\frac{1614,26}{0,96} \cdot 0,0008 = 1,35$  кг волокна. При

концентрации 1,3 % уйдет  $\frac{1,35 \cdot 100}{1,3} = 103,85$  кг массы, в том числе

$103,85 - 1,35 = 102,50$  кг воды.

Поступает на вихревые очистители  $1614,26 + 1,35 = 1615,61$  кг волокна, с ним  $262531,16 + 102,50 = 262633,66$  кг воды, всего  $1615,61 + 262633,66 = 264249,27$  кг массы.

Концентрация массы перед вихревыми очистителями:

$$\frac{1615,61 \cdot 100}{264249,27} = 0,6114\%.$$

### Подсеточная ванна

Поступает в подсеточную ванну:

– с регистровой водой:	543,71 кг	волокна
	226545,29 кг	воды
– с водой от промывки сетки:	9,78 кг	волокна
	13965,42 кг	воды
– свежей воды на спрыск грудного вала	2000 кг	

Всего поступает  $543,71 + 9,78 = 553,49$  кг волокна, с ним  $226545,29 + 13965,42 + 2000 = 242510,71$  кг воды, всего  $553,49 + 242510,71 = 243064,20$  кг массы.

Концентрация оборотной воды в подсеточной ванне:

$$\frac{553,49 \cdot 100}{243064,20} = 0,2277\%.$$

### Смесительный насос

Количество массы, поступающей к смесительному насосу из машинного бассейна:

$$Q_1 = \frac{Q_2(K_3 - K_2)}{K_3 - K_1}, \text{ кг},$$

где  $Q_2$  – количество массы, поступающей на вихревые очистители, кг;

$K_2$  – концентрация массы перед вихревыми очистителями, %;

$K_1$  – концентрация массы, поступающей из машинного бассейна, %;

$K_3$  – концентрация оборотной воды для разбавления, %.

$$Q_1 = \frac{264249,27 \cdot (0,2277 - 0,6114)}{0,2277 - 2,8} = 39417,04 \text{ кг}.$$

В ней  $39417,04 \cdot 0,028 = 1103,68$  кг волокна,  $39417,04 - 1103,68 = 38313,36$  кг воды.

Оборотной воды для разбавления:

$$Q_3 = Q_2 - Q_1, \text{ кг},$$

$$Q_3 = 264249,27 - 39417,04 = 224832,23 \text{ кг}.$$

В ней  $224832,23 \cdot 0,002277 = 511,93$  кг волокна,  $224832,23 - 511,93 = 224320,30$  кг воды.

### Гауч-мешалка (нормальный режим работы)

Поступает в гауч-мешалку:

– с отсечками:	14,82 кг	волокна
	$14,82 \cdot \frac{100 - 24}{24} = 46,93$	кг воды
– с напорной сортировки:	47,02 кг	волокна
	2891,73 кг	воды
– воды на спрыск сетки и гауч-вала	$2 \cdot 3 \cdot 15 \cdot 38,82 = 3500$	кг,
где	2 – количество 3 – длина 15 – расход	количество спрысковых спрысковых труб; трубы, м; воды на 1 п. м. длины спрыска, кг/мин;
	38,82 – время	выработки 1 т бумаги нетто, мин.

В ней:  $3500 \cdot 0,0007 = 2,45$  кг волокна

$$3500 - 2,45 = 3497,55 \text{ кг воды}$$

Всего поступает  $14,82 + 47,02 + 2,45 = 64,29$  кг волокна, с ним  $46,93 + 2891,73 + 3497,55 = 6436,21$  кг, всего  $64,29 + 6436,21 = 6500,50$  кг массы.

### Сгуститель брака

Поступает на сгуститель из гауч-мешалки  $64,29$  кг волокна, с ним  $6436,21$  кг воды.

При степени улавливания – 87 %, концентрации сгущенной массы – 3,2 % уйдет в бассейн оборотного брака  $64,29 \cdot 0,87 = 55,93$  кг волокна,  $\frac{55,93}{0,032} = 1747,81$  кг массы,  $1747,81 - 55,93 = 1691,88$  кг воды.

Уходит в сборник избыточной оборотной воды с осветлённой водой  $64,29 - 55,93 = 8,36$  кг волокна, с ним  $6436,21 - 1691,88 = 4744,33$  кг воды, всего  $8,36 + 4744,33 = 4752,69$  кг массы.

Концентрация осветлённой воды:

$$\frac{8,36 \cdot 100}{4752,69} = 0,18\%.$$

### Сборник избыточной оборотной воды

Поступает в сборник избыточной оборотной воды:

– с осветленной водой от сгустителя:	8,36 кг волокна 4744,33 кг воды
– с водой из подсе- точной ванны:	553,49 – 511,93 = 41,56 кг волокна 242510,71 – 224320,30 = 18190,41 кг воды
– с водой из сборника воды:	17,18 – 9,78 – 2,45 = 4,95 кг волокна 24536,99 – 13965,42 – 3497,55 = 7074,02 кг воды

Всего поступает  $8,36 + 41,56 + 4,95 = 54,87$  кг волокна, с ним  $4744,33 + 18190,41 + 7074,02 = 30008,76$  кг, всего  $54,87 + 30008,76 = 30063,63$  кг массы.

Концентрация избыточной оборотной воды:

$$\frac{54,87 \cdot 100}{30063,63} = 0,1825\%.$$

### Гауч-мешалка (работа при обрывах полотна)

Поступает с гауч-вала при обрывах  $968,45 \cdot 0,02 = 19,37$  кг волокна, с ним  $19,37 \cdot \frac{100 - 24}{24} = 61,33$  кг воды, всего  $19,37 + 61,33 = 80,70$  кг массы.

Эта масса разбавляется избыточной оборотной водой до концентрации 3,2 % и перекачивается в бассейн оборотного брака.

Количество избыточной оборотной воды для разбавления:

$$Q_3 = \frac{Q_1(K_1 - K_2)}{K_2 - K_3}, \text{ кг},$$

где  $Q_1$  – количество массы, поступающей с гауч-вала в гауч-мешалку, кг;

$K_1$  – концентрация массы, поступающей с гауч-вала в гауч-мешалку, %;

$K_2$  – концентрация массы, перекачиваемой в бассейн оборотного брака, %;

$K_3$  – концентрация избыточной оборотной воды для разбавления, %.

$$Q_3 = \frac{80,7 \cdot (24 - 3,2)}{3,2 - 0,1825} = 556,28 \text{ кг}.$$

В ней  $556,28 \cdot 0,001825 = 1,02$  кг волокна,  $556,28 - 1,02 = 555,26$  кг воды.

Количество массы, перекачиваемой в бассейн оборотного брака:

$$Q_2 = Q_1 + Q_3, \text{ кг},$$

$$Q_2 = 80,7 + 556,28 = 636,98 \text{ кг.}$$

В ней  $636,98 \cdot 0,032 = 20,39 \text{ кг}$  волокна,  $636,98 - 20,39 = 616,59 \text{ кг}$  воды.

### Гидроразбиватель брака

Поступает в гидроразбиватель  $18,08 \text{ кг}$  воздушно-сухого брака. В нем  $18,08 \cdot 0,95 = 17,18 \text{ кг}$  волокна,  $18,08 - 17,18 = 0,90 \text{ кг}$  воды.

В гидроразбивателе брак разбавляется избыточной оборотной водой до концентрации  $3,2 \%$ , измельчается и перекачивается в бассейн оборотного брака.

Количество избыточной оборотной воды для разбавления:

$$Q_3 = \frac{Q_1(K_1 - K_2)}{K_2 - K_3}, \text{ кг,}$$

- где  $Q_1$  – количество брака, поступающего в гидроразбиватель, кг;  
 $K_1$  – концентрация брака, поступающего в гидроразбиватель, %;  
 $K_2$  – концентрация массы, перекачиваемой в бассейн оборотного брака, %;  
 $K_3$  – концентрация избыточной оборотной воды для разбавления, %.

$$Q_3 = \frac{18,08 \cdot (95 - 3,2)}{3,2 - 0,1825} = 550,04 \text{ кг.}$$

В ней  $550,04 \cdot 0,001825 = 1,00 \text{ кг}$  волокна,  $550,04 - 1,00 = 549,04 \text{ кг}$  воды.

Количество массы, перекачиваемой в бассейн оборотного брака:

$$Q_2 = Q_1 + Q_3, \text{ кг,}$$

$$Q_2 = 18,08 + 550,04 = 568,12 \text{ кг.}$$

В ней  $568,12 \cdot 0,032 = 18,18 \text{ кг}$  волокна,  $568,12 - 18,18 = 549,94 \text{ кг}$  воды.

### Флотационная ловушка

Поступает во флотационную ловушку из сборника избыточной оборотной воды  $54,87 - 1,02 - 1,00 = 52,85 \text{ кг}$  волокна, с ним  $30008,76 - 555,26 - 549,04 = 28904,46 \text{ кг}$  воды, всего  $52,85 - 28904,46 = 28957,31 \text{ кг}$  массы.

При степени улавливания –  $95 \%$ , концентрации сгущенной массы –  $3,2 \%$  уйдет в бассейн оборотного брака  $52,85 \cdot 0,95 = 50,21 \text{ кг}$  волокна,  $\frac{50,21}{0,032} = 1569,06 \text{ кг}$  массы,  $1569,06 - 50,21 = 1518,85 \text{ кг}$  воды.

Уходит в бассейн осветленной воды  $52,85 - 50,21 = 2,64 \text{ кг}$  волокна, с ним  $28904,46 - 1518,85 = 27385,61 \text{ кг}$  воды, всего  $2,64 + 27385,61 = 27388,25 \text{ кг}$  массы.

Концентрация осветленной воды:

$$\frac{2,64 \cdot 100}{27385,61} = 0,01\%.$$

## Бассейн оборотного брака

Поступает в бассейн оборотного брака:

– со сгустителя:	55,93 кг	волокна
	1691,88 кг	воды
– из гауч-мешалки (при обрывах):	20,39 кг	волокна
	616,59 кг	воды
– из гидроразбивателя брака:	18,18 кг	волокна
	549,94 кг	воды
– с флотационной ловушки:	50,21 кг	волокна
	1518,85 кг	воды

Всего поступает  $55,93 + 20,39 + 18,18 + 50,21 = 144,71$  кг волокна,  $1691,88 + 616,59 + 549,94 + 1518,85 = 4377,26$  кг воды, всего  $144,71 + 4377,26 = 4521,97$  кг массы.

Концентрация оборотного брака:

$$\frac{144,71 \cdot 100}{4521,97} = 3,2\%.$$

## Машинный бассейн

Поступает в машинный бассейн 1103,68 кг волокна, 38313,36 кг воды, всего 39417,04 кг массы, в том числе с оборотным браком 144,71 кг волокна, 4377,26 кг воды, всего 4521,97 кг массы. Перед подачей в машинный бассейн, оборотный брак разбавляется до концентрации 2,8 %.

Количество осветленной воды для разбавления оборотного брака на регуляторе концентрации:

$$Q_3 = \frac{Q_1(K_1 - K_2)}{K_2 - K_3}, \text{ кг},$$

где  $Q_1$  – количество оборотного брака, поступающего в машинный бассейн, кг;

$K_1$  – концентрация оборотного брака, поступающего в машинный бассейн, %;

$K_2$  – концентрация массы в машинном бассейне, %;

$K_3$  – концентрация осветленной воды для разбавления, %.

$$Q_3 = \frac{4521,97 \cdot (3,2 - 2,8)}{2,8 - 0,01} = 648,31 \text{ кг}.$$

В ней  $648,31 \cdot 0,0001 = 0,06$  кг волокна,  $648,31 - 0,06 = 648,25$  кг воды.

Количество массы, перекачиваемой в машинный бассейн:

$$Q_2 = Q_1 + Q_3, \text{ кг},$$

$$Q_2 = 4521,97 + 648,31 = 5170,28 \text{ кг}.$$

В ней  $5170,28 \cdot 0,028 = 144,77$  кг волокна,  $5170,28 - 144,77 = 5025,51$  кг воды.

Таким образом, поступает в машинный бассейн:  $1103,68 - 144,77 = 958,91$  кг свежего волокна, в том числе  $958,91 \cdot 0,6 = 575,35$  кг хвойной целлюлозы и  $958,91 - 575,35 = 383,56$  кг лиственной целлюлозы.

С хвойной целлюлозой поступает в машинный бассейн  $575,35 \cdot \frac{100 - 2,8}{2,8} = 19972,86$  кг воды, с лиственной –  $383,56 - 5025,51 - 19972,86 = 13314,99$  кг.

#### **Бассейн размолотой хвойной целлюлозы**

Поступает в бассейн размолотой хвойной целлюлозы  $575,35$  кг волокна. При концентрации  $3,2$  % с ним поступает  $575,35 \cdot \frac{100 - 3,2}{3,2} = 17404,34$  кг воды.

Добавляется на регуляторе концентрации второй ступени  $19972,86 - 17404,34 = 2568,52$  кг осветленной воды.

#### **Приемный бассейн хвойной целлюлозы**

При концентрации  $3,5$  % поступает вместе с волокном  $575,35 \cdot \frac{100 - 3,5}{3,5} = 15863,22$  кг воды.

Добавляется на регуляторе концентрации первой ступени  $17404,34 - 15863,22 = 1541,12$  кг осветленной воды.

#### **Бассейн размолотой лиственной целлюлозы.**

Поступает в бассейн размолотой лиственной целлюлозы  $383,56$  кг волокна.

При концентрации  $3,2$  % с ним поступает  $383,56 \cdot \frac{100 - 3,2}{3,2} = 11602,69$  кг воды.

Добавляется на регуляторе концентрации второй ступени  $13314,99 - 11602,69 = 1712,30$  кг осветленной воды.

#### **Приемный бассейн лиственной целлюлозы**

При концентрации  $3,5$  % поступает вместе с волокном  $383,56 \cdot \frac{100 - 3,5}{3,5} = 10575,30$  кг воды.

Добавляется на регуляторе концентрации первой ступени  $11602,69 - 10575,30 = 1027,39$  кг осветленной воды.

Общий расход воды на разбавление массы в регуляторах концентрации:  $2568,52 + 1541,12 + 1712,30 + 1027,39 = 6849,33$  кг.

При использовании для разбавления осветлённой воды с ней поступит  $6849,33 \cdot 0,0001 = 0,68$  кг волокна.

Следовательно, расход свежего волокна составит  $958,91 - 0,68 = 958,23$  кг, в том числе  $575,35 - 0,68 \cdot 0,6 = 574,94$  кг хвойной целлюлозы и  $958,23 - 574,94 = 383,29$  кг лиственной целлюлозы.

### Подсчет фактических потерь волокна

Теряется волокна, кг:

– с осветлённой водой (2,64-0,06-0,68)	1,90
– с прессовой водой	1,24
– с водой от промывки сукон	0,03
– с водой от гауч-вала	3,71
– на вихревых очистителях	1,35
Итого:	8,23

Потери по балансу волокна, кг

– выход абсолютно сухой бумаги	950,00
– расход свежего волокна	958,23
Потери волокна:	8,23

Безвозвратные потери волокна:

$$\frac{8,23 \cdot 100}{958,23} = 0,86\%$$

### Сводная таблица баланса воды и волокна

Статьи прихода и расхода		Волокно, кг/т	Вода, кг/т
<b>Приход</b>			
1.	Хвойная целлюлоза	574,94	15863,22
2.	Лиственная целлюлоза	383,29	10575,30
3.	Оборотный брак	144,71	4377,26
4.	Осветлённая вода на регуляторы концентрации	0,74	7497,58
5.	Оборотная вода для разбавления массы в смесительном насосе	511,93	224320,30
6.	Избыточная оборотная вода на промывку сетки	9,78	13965,42
7.	Избыточная оборотная вода на спрыск сетки и гауч-вала	2,45	3497,55
8.	Гидравлический затвор отсасывающих ящиков	–	1000,00
9.	Уплотнение вакуумных камер отсасывающих валов	–	900,00
10.	Свежая вода на промывку сукон	–	3480,00
11.	Свежая вода на спрыск грудного вала	–	2000,00
<b>Итого:</b>		<b>1627,84</b>	<b>287476,63</b>
<b>Расход</b>			
1.	Сточная вода от вихревых очистителей	1,35	102,50
2.	Отходы с напорной сортировки	47,02	2891,73
3.	Регистровая вода	543,71	226545,29
4.	Избыточная оборотная вода	17,18	24536,99
5.	Сточная вода от гауч-вала	3,71	6182,23
6.	Сточная вода от прессов	1,24	2484,56
7.	Сточная вода от промывки сукон	0,03	3480,00
8.	Вода от промывки сетки	9,78	13965,42
9.	Спрыск сетки и гауч-вала	2,45	3497,55
10.	С отсечками	14,82	46,93
11.	Мокрый брак	19,37	61,33
12.	Сухой брак	17,18	0,90
13.	Перелив гидравлического затвора отсасывающих ящиков	–	500,00
14.	Вода на спрыск грудного вала	–	2000,00
15.	Испаренная при сушке вода	–	1131,20
16.	Готовая бумага	950,00	50,00
<b>Итого:</b>		<b>1627,84</b>	<b>287476,63</b>

## 9.2. Пример расчета в производстве санитарно-гигиенических видов бумаг

Расчет баланса воды и волокна на 1 тонну санитарно-бытовой бумаги массой  $19 \text{ г/м}^2$ , вырабатываемой на машине со скоростью  $1350 \text{ м/мин}$  при рабочей ширине машины  $4,3 \text{ м}$  по технологической схеме, представленной на рис. 2.

**Данные для расчета баланса воды и волокна:**

- состав по волокну:  $60 \%$  сульфитной блененой хвойной целлюлозы,  $40 \%$  сульфатной блененой лиственной целлюлозы;

- масса  $1 \text{ м}^2$  –  $19 \text{ г}$ .

Необрезная ширина бдм, м –  $4300 \text{ мм}$ .

Скорость бдм, м/мин –  $1350$ .

Таблица 22 – Концентрация массы в разных стадиях производства, %

Приемный бассейн целлюлозы	3,5
Бассейн размолотой целлюлозы	3,2
Машинный бассейн	2,8
Напорный ящик	0,4
После формующей части	14
После прессовой части	46
После сушильной части	94

Таблица 23 – Концентрация отходящих вод, %

Регистровая вода	0,09
Вода от промывки секи	0,01
Прессовая вода	0,08
Вода от промывки прессовых сукон	0,008
Осветленная вода	0,001

Количество сухого брака –  $2 \%$ ;

Влажность сухого брака –  $94 \%$ ;

Количество мокрого брака –  $2 \%$ ;

Влажность мокрого брака –  $60 \%$ ;

Количество брака в отделке –  $1,5 \%$ ;

Концентрация оборотного брака –  $3,2 \%$ ;

Количество отходов после напорной сортировки –  $4 \%$ ;

Количество отходов после третьей ступени центриклинеров –  $0,08$ .

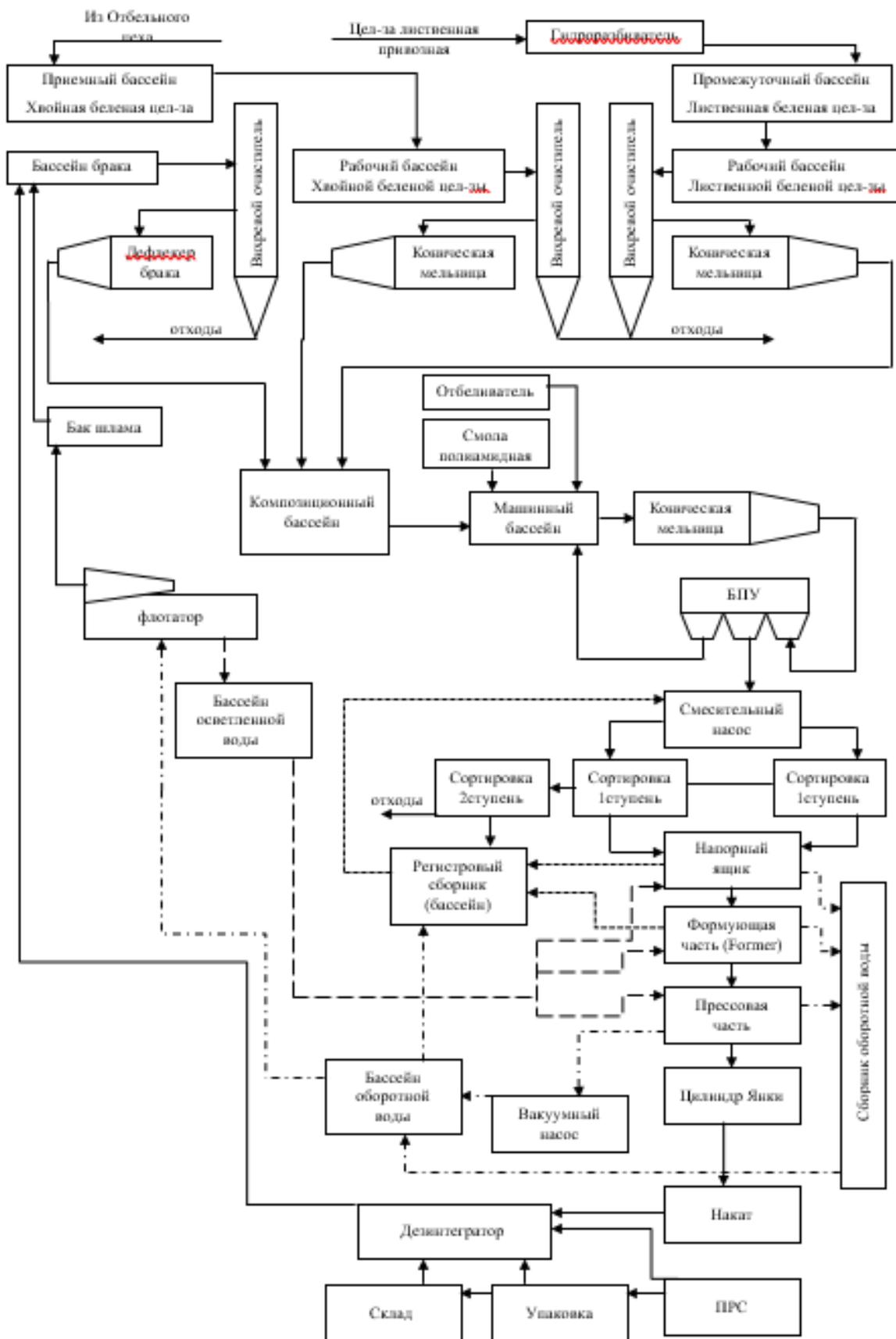


Рисунок 2 – Технологическая схема производства санитарно-бытовых видов бумаг

## Накат

Для выработки 1 т бумаги нетто необходимо выработать на накате при 1,5 % брака в отделке:

$$\frac{1000}{0,985} = 1015 \text{ кг}$$

С учетом 2 % сухого машинного брака от массы брутто

$$1015 \cdot 0,02 = 20,3 \text{ кг}$$

через сушильную часть машины должно пройти бумаги

$$1015 + 20,3 = 1035,3 \text{ кг.}$$

В ней содержится волокна

$$1035,3 \cdot 0,94 = 973,18 \text{ кг,}$$

воды

$$1035,3 \cdot 0,06 = 62,1 \text{ кг.}$$

Удаляется воды при сушке

$$973,18 \left( \frac{100 - 46}{46} - \frac{100 - 94}{94} \right) = 1080,3 \text{ кг}$$

В сушильную часть поступает массы:

$$1035,3 + 1080,3 = 2115,6 \text{ кг.}$$

Всего сухого брака, поступающего в гидроразбиватель,

$$15 + 20,3 = 35,3 \text{ кг.}$$

В нем содержится волокна

$$35,3 \cdot 0,94 = 33,2 \text{ кг}$$

и воды

$$35,3 \cdot 0,06 = 2,1 \text{ кг.}$$

## Прессовая часть

Считаем, что мокрый брак образуется в прессовой части в количестве 2 % от массы бумаги, поступающей в сушильную часть машины.

$$2115,6 \cdot 0,02 = 42,3 \text{ кг.}$$

В нем содержится волокна

$$42,3 \cdot 0,4 = 16,9,$$

воды

$$42,3 \cdot 0,6 = 25,4 \text{ кг.}$$

Этот брак направляется в гауч-мешалку.

Принимаем расход свежей воды для уплотнения вакуумных камер отсасывающего прессового вала в количестве 600 кг на 1 т бумаги.

Сходит с прессовой части волокна:

$$973,18 + 16,9 = 990,08 \text{ кг.}$$

Поступает волокна на прессовую часть машины:

$$x = 990,08 + 0,0008 \cdot \left( \frac{100 - 14}{14} x + 600 - \frac{100 - 46}{46} 990,08 \right) = 994,6$$

Вместе с волокном на пресс поступает воды:

$$\frac{100-46}{46} \cdot 994,6 = 1163,68 \text{ кг ,}$$

всего бумажной массы поступает:

$$994,6 + 1163,68 = 2158,3 \text{ кг.}$$

Концентрация массы перед прессом (проверка):

$$\frac{994,6 \cdot 100}{2458,3} = 46\%$$

Уходит отжатой на воды в прессовой части:

$$\frac{100 - 14}{14} \cdot 994,6 + 600 - \frac{100 - 46}{46} \cdot 990,08 = 5508,6 \text{ кг}$$

С ней уходит волокна:

$$994,6 - 990,1 = 4,5 \text{ кг.}$$

Концентрация волокна в отходящей прессовой воде (проверка):

$$\frac{4,5 \cdot 100}{5508,6} = 0,08\%$$

Промывка прессовых сукон производится при помощи щелевых сукномоек, и вода для промывки подается только во время холостого хода машины.

Расход свежей воды на промывки сукон составит:

$$2 \cdot 1 \cdot 4,6 \cdot 100 \cdot 9,68 \cdot 0,05 = 445,2 \text{ кг/мин,}$$

где 2 – количество спрысковых труб на одно сукно;

1 – количество прессовых сукон;

4,6 – длина спрысковых труб, м;

100 – расход воды на 1 погонный метр длины спрыска, кг/мин;

9,68·0,05 – время холостого хода, приходящееся на выработку 1 т бумаги нетто, мин.

При концентрации воды от промывки сукон 0,00008 кг/л

с промывной водой уходит волокна

$$0,00008 \cdot 445,2 = 0,036 \text{ кг.}$$

С учетом этого волокна на прессовую часть поступит:

$$994,6 + 0,036 = 994,64 \text{ кг.}$$

### **Формующее устройство**

Для обрезки неровных кромок сырого бумажного полотна предназначены две краевые отсечки (водяные ножи).

Примем количество волокна в отсечках 1,5 % от сходящего полотна, что составит:

$$994,64 \cdot 0,015 = 14,9 \text{ кг.}$$

Всего с отсечками уходит массы

$$\frac{14,9 \cdot 100}{14} = 106,4 \text{ кг,}$$

воды

$$106,4 - 14,9 = 91,5 \text{ кг,}$$

всего сходит волокна

$$994,64 + 14,9 = 1009,5 \text{ кг.}$$

На уплотнение вакуумной камеры формирующего вала примем расход воды 300 кг, а концентрация воды от формирующего вала 0,00009 кг/л.

Поступает волокна:

$$x = 1009,5 + 0.0009 \cdot \left( \frac{100 - 0,4}{0,4} x + 300 - \frac{100 - 14}{14} 1009,5 \right) = 1294,2 \text{ кг.}$$

С ним воды

$$1298,2 \cdot \frac{100-0,4}{0,4} = 322255,8 \text{ кг,}$$

всего массы

$$1294,2 + 322255,8 = 323550 \text{ кг.}$$

Количество отходящей воды составит:

$$322255,8 + 300 - \frac{100-14}{14} \cdot 1009,5 = 316357,5 \text{ кг,}$$

В ней содержится волокна

$$1294,2 - 1009,5 = 284,7 \text{ кг}$$

Концентрация отходящей воды (проверка)

$$\frac{284,7 \cdot 100}{316357,5} = 0,09\%.$$

### **Напускное устройство**

Концентрация массы при напуске:

$$\frac{1294,2 \cdot 100}{323550} = 0,4\%$$

Промывка сетки (сетка двухслойная с высокой обезвоживающей способностью) производится свежей водой из семи sprays длиной по 4,6 м, с расходом воды по 80 л/мин на 1 пог. м sprays. Расход воды на промывку сетки составит:

$$7 \cdot 4,6 \cdot 80 \cdot 9,68 = 24935,68 \text{ л/т.}$$

Если считать, что при использовании свежей воды для промывки сетки концентрация отходящей воды будет 0,01 %, то в подсеточную ванну с промывной водой уйдет волокна:

$$24935,68 \cdot 0,0001 = 2,49 \text{ кг}$$

С учетом этого на формирующее устройство поступит волокна:

$$1294,2 + 2,49 = 1296,7 \text{ кг,}$$

массы

$$323550 + 2,49 = 323552,5 \text{ кг.}$$

### Сортировки

Принимаем количество отходов, идущих на вибрационную сортировку, 2 % от поступающего волокна:

$$1296,7 \cdot 0,02 = 25,9 \text{ кг.}$$

При концентрации 1,5 % массы будет:

$$\frac{25,9 \cdot 100}{1,5} = 1726,6 \text{ кг,}$$

воды в ней будет:

$$1726,6 - 25,9 = 1700,7 \text{ кг.}$$

На сортировку поступает массы:

$$323552,5 + 1726,66 = 325279,1 \text{ кг,}$$

волокна в ней

$$1296,7 + 25,9 = 1322,63 \text{ кг,}$$

воды

$$325279,1 - 1322,63 = 323956,5 \text{ кг.}$$

Концентрация массы перед сортировкой:

$$\frac{1322,63 \cdot 100}{325279,1} = 0,4\%$$

### Вибрационная сортировка

Примем количество отходов 4 % от поступающего волокна, а их концентрацию 1,3 %:

$$25,9 \cdot 0,04 = 1,036 \text{ кг,}$$

Уходит массы с отходами:

$$\frac{1,036 \cdot 100}{1,3} = 79,69 \text{ кг,}$$

воды

$$79,69 - 1,036 = 78,65 \text{ кг.}$$

Отходы отправляются в сток.

Количество очищенного волокна

$$25,9 - 1,036 = 24,86 \text{ кг.}$$

Это волокно идет в (подсеточную ванну) сборник оборотной воды.

На спрыск вибрационной сортировки используется осветленная вода из флотационной ловушки. Для определения ее количества, а также количества, уходящей с очищенным волокном при концентрации 0,4 %, примем следующее обозначения:

$Q_1$  – количество массы, поступающей на сортировку;

$Q_2$  – количество очищенной массы;

$Q_3$  – количество осветленной воды для sprыска сортировки;

$Q_4$  – количество массы с отходами;

$K_1, K_2, K_3$  и  $K_4$  – соответствующие концентрации.

Уравнение баланса:

$$Q_1 \cdot K_1 + Q_3 \cdot K_3 = Q_2 \cdot K_2 + Q_4 \cdot K_4$$

Отсюда количество осветленной воды с флотационной ловушки:

$$Q_3 = \frac{Q_1(K_2 - K_1) + Q_4(K_4 - K_2)}{K_3 - K_2} = \frac{1726,6 \cdot (0,4 - 1,5) + 79,7(1,3 - 0,4)}{0,01 - 0,4} = 4692,36 \text{ кг.}$$

С ней поступит волокна:

$$4692,36 \cdot 0,0001 = 0,47 \text{ кг,}$$

воды

$$4692,36 - 0,47 = 4691,89 \text{ кг.}$$

Уходит массы с очищенным волокном:

$$Q_2 = Q_1 + Q_3 - Q_4 = 1726,6,6 + 4692,36 - 79,7 = 6339,26 \text{ кг,}$$

волокна

$$6339,26 \cdot 0,004 = 25,36 \text{ кг,}$$

воды

$$6339,26 - 25,36 = 6313,9 \text{ кг.}$$

### **Вихревые очистители**

Очистка массы осуществляется в две ступени. Примем количество отходов по волокну на второй 0,08 %. Следовательно, в сток уйдет после второй ступени волокна:

$$\frac{1322,63,1 \cdot 0,08}{0,96 \cdot 100} = 1,1 \text{ кг,}$$

массы при концентрации 1,2 %

$$\frac{1,1 \cdot 100}{1,2} = 91,6 \text{ кг.}$$

Поступает на вихревые очистители из смесительного насоса массы:

$$325280,1 + 91,6 = 325370,7 \text{ кг.}$$

Волокна в ней

$$1322,6 + 1,1 = 1323,7 \text{ кг,}$$

воды

$$325370,7 - 1323,7 = 324047 \text{ кг.}$$

Концентрация массы перед вихревыми очистителями:

$$\frac{1323,7 \cdot 100}{324047} = 0,407\%$$

## Сборник оборотной воды

Поступает от формующего устройства волокна 284,7 кг, воды 316357,5 кг; с водой от промывки сукон волокна 0,036 кг, воды 446,2 кг; с водой от промывки сетки 2,49 кг, воды 24987,2 кг; с вибрационной сортировки волокна 25,37 кг, воды 6316,13 кг. Всего поступает: волокна  $284,7 + 0,036 + 2,49 + 25,37 = 312,6$  кг, воды 348107 кг.

Концентрация оборотной воды  $\frac{312,6 \cdot 100}{348107} = 0,09\%$

## Смесительный насос

Обозначим количество массы, поступающей к смесительному насосу из машинного бассейна  $Q_1$ , количество массы после разбавления  $Q_2$ , количество оборотной воды для разбавления массы  $Q_3$ . Соответствующие концентрации массы и воды обозначим  $K_1, K_2$  и  $K_3$ . Подаются реагенты для придания бумаге прочности во влажном состоянии в смесительный насос. Объем раствора будет 100 л. Составим уравнение баланса  $Q_2 K_2 = Q_1 K_1 + Q_3 K_3$ . Отсюда:

$$Q_1 = \frac{Q_2(K_2 - K_3) + 100 \cdot K_3}{K_1 - K_3} = \frac{325373 \cdot (0,407 - 0,09) + 100 \cdot 0,09}{2,5 - 0,09} = 42801,8 \text{ кг.}$$

Волокна в массе:  $42801,8 \cdot 0,025 = 1070,045$  кг. Оборотной воды для разбавления:  $Q_3 = Q_2 - Q_1 = 325373 - 42801,8 = 282571,2$  кг.

Волокна в ней  $282571,2 \cdot 0,09/100 = 254,3$  кг, воды  $282571,2 - 254,3 = 282316,9$  кг. Уходит из смесительного насоса разбавленной массы 325373 кг, волокна в ней 1323,73 кг, воды 324049,3 кг.

Поступает из машинного бассейна массы 42801,8 кг, волокна в ней 1070,045 кг, воды 41731,8 кг.

## Гауч-мешалка (нормальный режим работы машины)

Поступает в гауч-мешалку:

С отсечками (1,5 % от сходящего полотна) волокна 14,9 кг, воды 91,5 кг.

Свежей воды со спреями отсечек  $1,5 \cdot 3 \cdot 9,68 = 43,5$  кг,

где 1,5 – расход воды одной отсечкой, кг/мин;

3 – число отсечек;

9,68 – время выработки 1 т бумаги, мин;

Осветленной воды на спрыски сетки и формующего вала:

$2 \cdot 4,6 \cdot 50 \cdot 9,68 = 4462$  кг,

где 2 – количество спрысков;

7 – длина спрысковой трубы, м;

50 – расход воды, кг/мин на 1 пог. м трубы.

Волокна с осветленной водой приходит:  $4462 \cdot 0,0001 = 0,45$  кг.

Всего поступает: волокна  $14,9 + 0,45 = 15,31$  кг, воды  $91,5 + 43,6 + 4462 = 4597,1$  кг, массы  $15,31 + 4597,1 = 4612,4$  кг.

Концентрация массы в мешалке:  $\frac{15,31 \cdot 100}{4612,4} = 0,33\%$ .

### Сгуститель брака

Поступает на сгуститель  $15,31$  кг волокна, с ним воды  $4597,1$  кг.

Осветленной воды на спрыск сгустителя поступает  $3 \cdot 70 \cdot 9,68 = 2032,8$  кг, где  $3$  – количество спрысков;

$70$  – расход воды на  $1$  пог. метр трубы, кг/мин.

С ней поступает волокна  $2032,8 \cdot 0,0001 = 0,2$  кг. Всего волокна  $0,2 + 15,31 = 15,51$  кг. При степени улавливания волокна  $80\%$ , концентрации сгущенной массы  $4\%$  в бассейн брака уходит: волокна  $15,5 \cdot 0,8 = 12,41$  кг, массы  $\frac{12,41}{0,04} = 310,25$  кг, воды  $310,25 - 12,41 = 297,8$  кг.

Уходит с осветленной водой волокна  $15,5 - 12,41 = 3,1$  кг, воды  $4597,1 + 2032,8 - 297,8 = 6332,1$  кг, массы  $6332,1 + 3,1 = 6335,2$  кг.

Концентрация осветленной воды  $\frac{3,1 \cdot 100}{6335,2} = 0,049\%$

### Сборник избыточной оборотной воды

1. Воды из сборника оборотной воды  $348107 - 283516,3 = 64590,7$  кг, с ней волокна  $64590,7 \cdot 0,0009 = 58,13$  кг.

2. Осветленной воды со сгустителя  $58,1$  кг, с ней волокна  $3,1$  кг.

Всего избыточной воды:  $64590,7 + 6339,4 = 70930,1$  кг, в ней волокна  $58,13 + 3,1 = 61,2$  кг.

Концентрация избыточной оборотной воды:  $\frac{61,2 \cdot 100}{70930,1} = 0,086\%$

### Гауч-мешалка (работа при обрывах полотна)

Поступает с прессовой части при обрывах волокна  $16,9$  кг, воды  $25,4$  кг, массы  $42,3$  кг при средней сухости  $\frac{16,9 \cdot 100}{42,3} = 40\%$

Эта масса разбавляется избыточной оборотной водой до концентрации  $3\%$  и перекачивается в бассейн оборотного брака.

Согласно уравнению баланса получим количество оборотной воды для разбавления массы:

$Q_1$  – количество массы, поступающей с пресса в мешалку;

$Q_2$  – количество разбавленной массы;

$Q_3$  – количество оборотной воды, необходимой для ее разбавления;

$K_1, K_2, K_3$  – соответствующие концентрации.

$$Q_3 = \frac{Q_1(K_1 - K_2)}{K_2 - K_3} = \frac{42,3(46 - 3)}{3 - 0,086} = 624,19 \text{ кг}$$

С ней приходит волокна  $624,19 \cdot \frac{0,086}{100} = 0,54$  кг, воды  $624,19 - 0,54 = 623,65$  кг. Уходит в бассейн оборотного брака волокна  $16,9 + 0,5 = 17,4$  кг, воды  $25,4 + 623,65 = 649,05$  кг, массы  $42,3 + 624,15 = 666,5$  кг.

### **Гидроразбиватель сухого брака**

Поступает в гидроразбиватель воздушно-сухого брака 35,3 кг, в нем волокна 33,2 кг и воды 2,1 кг.

Сухой брак измельчается в гидроразбивателе при концентрации 3 %.

Избыточной оборотной водой необходимо для его разбавления:

$$Q_3 = \frac{Q_1(K_1 - K_2)}{K_2 - K_3} = \frac{35,3(94 - 3)}{3 - 0,08} = 1102,37 \text{ кг}$$

С ней приходится волокна  $1102,37 \cdot \frac{0,08}{100} = 0,95$  кг, воды  $1102,37 - 0,95 = 1101,42$  кг. Уходит в бассейн сухого брака волокна  $33,2 + 0,95 = 34,15$  кг, воды  $2,1 + 1101,42 = 1103,5$  кг, массы  $34,15 + 1103,5 = 1137,65$  кг.

### **Флотационная ловушка**

Поступает в ловушку из сборника избыточной оборотной воды  $70930,1 - 624,19 - 1102,37 = 69203,5$  кг массы, с ней  $69203,5 \cdot \frac{0,086}{100} = 59,5$  кг волокна,  $69203,5 - 59,5 = 69144$  кг воды.

При степени улавливания 88 % волокна в сгустке будет  $59,5 \cdot 0,88 = 52,36$  кг.

Принимаем, что целлюлоза поступает на фильтр и уходит со сгустком при концентрации 3 %.

С уловленным волокном уходит в бассейн оборотного брака

$$\text{массы } \frac{52,36}{0,03} = 1745,3 \text{ кг}$$

Отходит осветленной воды  $69203,5 - 1745,3 = 67458,2$  кг, волокна с ней  $59,5 - 52,36 = 7,14$  кг, воды  $67458,2 - 7,14 = 67451,06$  кг. Концентрация осветленной воды  $\frac{7,14 \cdot 100}{67458,2} = 0,011$  %.

### **Бассейн оборотного брака**

Поступает в бассейн со сгустителя массы 310,25 кг, волокна 12,41 кг, воды 297,8 кг; из гауч-мешалки (при обрывах) массы 666,5 кг, волокна 17,44 кг, воды 649,05 кг; из сухого брака массы 1137,65 кг, волокна 34,15 кг, воды 1104,5 кг; с флотационной ловушки массы 1745,3 кг, волокна 52,36 кг, воды 1692,9 кг. Всего поступает волокна  $12,4 + 17,4 + 34,15 + 52,3 = 116,3$  кг, массы  $310,25 + 666,5 + 1137,65 + 1745,3 = 3859,7$  кг, воды  $3859,7 - 116,4 = 3743,3$  кг. Концентрация брака  $\frac{116,4 \cdot 100}{3859,7} = 3,01$  %

## **Машинный бассейн**

Поступает массы 42801,8 кг, волокна 1070,4 кг, воды 41731,8 кг. В том числе поступает оборотного волокна 116,3 кг, воды 3743,3 кг, массы 3859,7 кг. Таким образом поступает свежего волокна  $1070,4 - 116,3 = 954,1$  кг.

Если принять композицию бумаги по волокну 60 % целлюлозы хвойной и 40 % лиственной, расход компонентов составит:

Целлюлозы хвойной  $954,1 \cdot 0,6 = 572,46$  кг

Целлюлозы лиственной  $954,1 \cdot 0,4 = 381,6$  кг.

Поступает в машинный бассейн хвойной целлюлозы из бассейна регулируемой целлюлозы 572,46 кг. При концентрации 3 % с ней приходит воды  $572,46 \cdot \frac{100-3}{3} = 18509,54$  кг, массы  $572,46 + 18509,54 = 19082,1$  кг.

С лиственной целлюлозой приходит воды  $42801,8 - 3859,7 - 19082,1 - 572,46 = 19287,64$  кг, массы  $572,46 + 19287,64 = 19860,1$  кг. Концентрация массы:

$$\frac{572,46 \cdot 100}{19860,1} = 2,88 \%$$

## **Приемный бассейн хвойной целлюлозы**

Поступает волокна 572,46 кг. При концентрации 3,2 % в нем содержится воды

$$572,46 \cdot \frac{100 - 3,2}{3,2} = 17316,9 \text{ кг}$$

Добавляется воды на регуляторе концентрации второй ступени  $18509,54 - 17316,9 = 1192,64$  кг

Бассейн нерегулируемой хвойной целлюлозы (приемный бассейн).

При концентрации 3,5 % с хвойной целлюлозой приходит воды

$$572,46 \cdot \frac{100 - 3,5}{3,5} = 15783,54 \text{ кг}$$

Добавляется воды на регуляторе концентрации первой ступени  $17316,9 - 15783,54 = 1533,36$  кг

## **Приемный бассейн лиственной целлюлозы**

Поступает волокна 381,6 кг. При концентрации 3,2 % с ним приходит воды:

$$381,6 \cdot \frac{100 - 3,2}{3,2} = 11543,4 \text{ кг}$$

Добавляется воды на регуляторе концентрации второй ступени  $19287,64 - 11543,4 = 7744,24$  кг

### Приемный бассейн лиственной целлюлозы (приемный бассейн)

При концентрации 3,5 % с лиственной целлюлозы приходит воды:

$$381,6 \frac{100 - 3,5}{3,5} = 10521,26 \text{ кг}$$

Добавляется воды на регуляторе концентрации первой ступени

$$11543,4 - 10521,26 = 1022,14 \text{ кг}$$

Общий расход воды на разбавление массы в регуляторах концентрации

$$1192,64 + 1533,36 + 7744,24 + 1022,14 = 11492,38 \text{ кг.}$$

При использовании для разбавления массы осветленной воды от флотационной ловушки с ней поступит волокна  $11492,38 \cdot \frac{0,011}{100} = 1,26 \text{ кг}$ . Следовательно, расход свежего волокна будет:

$$\text{Целлюлозы хвойной } 572,46 - 1,26 \cdot 0,6 = 571,7 \text{ кг}$$

$$\text{Целлюлозы лиственной } 381,64 - 1,26 \cdot 0,4 = 381,1 \text{ кг.}$$

Подсчет фактических потерь волокна, кг:

с осветленной водой 7,1-1,232	5,7
с прессовой водой	4,5
с водой от промывки сукон	0,03
с водой от промывки сетки	2,4
на вихревых очистителях	1,1
на вибрационной сортировке	1,04
Итого	14,7

Потери по балансу волокна, кг:

выход абсолютно сухой бумаги	940
расход свежего волокна	954,1
потери волокна	14,1

Таким образом сходимость получается хорошая, что свидетельствует о правильном составлении баланса воды и волокна.

Безвозвратные потери волокна составят:

$$\frac{14,1 \cdot 100}{954,1} = 1,48\%$$

Расход свежей воды на тонну бумаги, кг:

Уплотнение вакуум-камер отсасывающих валов	900
Отсечки	36,9
Промывка прессовых сукон	445,2
Промывка сетки	24935,6
Прочие нужды	4050
Итого	30367,7

### Сводная таблица прихода и расхода воды и волокна

Статьи прихода	Волокно, кг/т	Вода, м <sup>3</sup> /т
Целлюлозы в приемный бассейн хвойной целлюлозы	572,4	15,7
Осветленной воды на регуляторы концентрации	1,2	2,6
Оборотного волокна	116,3	3,6
Целлюлозы в приемный бассейн лиственной целлюлозы	381,6	11,4
Оборотной воды на разбавление массы в смесительный насос	253,4	282,5
Отсечки	-	0,03
Спрыски сетки и формующего вала	0,3	3,6
Спрыски напорного ящика	0,04	0,4
Спрыски сгустителя	0,2	2,02
Уплотнение вакуум-камер отсасывающих валов	-	0,9
Промывка прессовых сукон	-	0,4
Промывка сетки	-	24,8
<b>Итого</b>	<b>1325,31</b>	<b>355,96</b>
Статьи расхода	Волокно, кг/т	Вода м <sup>3</sup> /т
Сточной воды от сортировок	25,95	1,8
От вихревых очистителей	1,1	0,098
Воды от формующего вала	284,83	316,4
Прессовой воды	4,87	5,4
Воды от промывки сетки	2,49	24,85
Воды от промывки сукон	0,038	0,45
С отсечками	14,96	0,09
Спрыск сетки и формующего вала	0,31	3,01
Мокрый брак	16,94	0,038
Сухой брак	33,35	0,0021
Воды	-	0,9
Испаряется воды при сушке бумаги	-	1,1
Готовая бумага	940	0,060
<b>Итого</b>	<b>1324,83</b>	<b>354,217</b>

### 9.3. Пример расчета расхода волокнистого полуфабриката без расчета баланса

Расчет количества воздушно-сухих волокнистых полуфабрикатов для производства 1 тонны бумаги/картона рассчитывается по формуле:

$$P_c = \frac{1000 - B - \frac{1000 - B}{100} \cdot Z - 0,75 \cdot K - 0,6 \cdot K_p - 1,0 \cdot K_{p.пов}}{0,88} + П, \text{ кг}$$

где

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

$B$  – влага, содержащаяся в 1 т бумаги/картона, кг;

$Z$  – зольность картона, %;

0,75 – коэффициент, учитывающий удержание клея в бумаге/картоне, %;

$K$  – расход клея на 1 т бумаги/картона, кг;

0,6 – коэффициент, учитывающий удержание крахмала для внутримассной проклейки в бумаге/картоне, %;

$K_p$  – расход крахмала для внутримассной проклейки 1 т бумаги/картона, кг;

1,0 – коэффициент, учитывающий удержание крахмала для поверхностной проклейки, %;

$K_{p.пов}$  – расход крахмала для поверхностной проклейки на 1 т бумаги/картона, кг;

0,88 – коэффициент перевода из абсолютно-сухого в воздушно-сухое состояние;

$П$  – безвозвратные потери (прямой 0,5–1,5 %) волокна на 1 т картона, кг.

Полученные расчетные данные сводятся в таблицу.

Вид	Удельный расход волокна на 1 т продукции (т)	Производительность БДМ/КДМ (фабрики)			
		час	сутки		год
			при безобрывной работе	С учетом $K_{эф}$	
		тонн	тонн	тонн	тыс. тонн
Готовая продукция					
Волокнистый полуфабрикат					

## 10. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС

Основной целью конструктивного теплового расчета вновь проектируемых сушильных частей БДМ и КДМ является определение числа сушильных

цилиндров по заданной производительности и виду вырабатываемой продукции. Для БДМ и КДМ, находящихся в эксплуатации, может быть выполнен тепловой проверочный расчет. Данные, полученные в результате такого расчета, могут быть использованы для расчета КПД сушильной части, а также позволяют сделать выводы о правильности соблюдения тепловых режимов сушки, возможности и целесообразности модернизации сушильной части.

### Определение числа сушильных цилиндров и сушильной поверхности

Для определения необходимой поверхности сушильных цилиндров пользуются методом удельных съемов воды  $W$  в сушильной части (кг/ч), испаряемой с  $1 \text{ м}^2$  поверхности контакта бумаги с сушильными цилиндрами (рабочей поверхностью сушильной части).

$$W=RP=\frac{T_k-T_n}{T_n} \cdot \frac{60 \cdot v \cdot q}{l} = \frac{T_k-T_n}{T_n} \cdot \frac{60 \cdot v \cdot q}{\pi \cdot d \cdot n \cdot \alpha} \quad \text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}),$$

где  $R$  – количество воды, испаряемое на сушильной части, приходящееся на 1 кг высушенной бумаги, кг;

$P$  – съем бумаги с  $1 \text{ м}^2$  греющей поверхности, кг/( $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ );

$l$  – длина бумажного полотна, находящегося на поверхности сушильных цилиндров, т.е. сумма длин дуг сушильных цилиндров, обхваченных бумагой, м;

Число бумагосушильных цилиндров:

$$n = \frac{60 \cdot v \cdot q \cdot (T_k - T_n)}{\pi \cdot d \cdot \alpha \cdot T_n \cdot W} = 19,1 \frac{v \cdot q \cdot (T_k - T_n)}{d \cdot \alpha \cdot T_n \cdot W},$$

где  $v$  – скорость движения бумаги на накате, м/мин;

$q$  – масса  $1 \text{ м}^2$  вырабатываемой бумаги, кг;

$T_k$  – конечная сухость бумаги после сушки, %;

$T_n$  – начальная сухость бумаги перед сушкой, %;

$d$  – диаметр бумагосушильных цилиндров, м;

$n$  – количество бумагосушильных цилиндров, шт;

$\alpha$  – коэффициент обхвата сушильных цилиндров бумагой (0,60–0,67).

В таблице 1 приведены нормы удельного съема воды с рабочей сушильной поверхности.

Рабочая  $F_p$  и боковая поверхности  $F_6$  бумагосушильных цилиндров определяются по формулам:

$$F_p = b \cdot l = b \cdot \pi \cdot d \cdot n \cdot \alpha \text{ м}^2, \quad F_6 = \pi \cdot d \cdot n \cdot L = \frac{F_p}{K} \text{ м}^2,$$

где  $b$  – необрезная ширина бумаги на накате, м;

$L$  – длина бумагосушильного цилиндра, м;

$K$  – соотношение между общей рабочей и боковой поверхностью сушильных цилиндров ( $K = 0,57 \div 0,64$ ).

Число сукносушильных цилиндров  $n_1$  (при одинаковом диаметре с бумагосушильными цилиндрами) определяется из выражения:

$$n_1 = \frac{\varphi}{100} \cdot n,$$

где  $\varphi$  – отношение боковой поверхности сукносушильных цилиндров к боковой поверхности бумагосушильных цилиндров, %;

Этот коэффициент берется из справочных материалов и для быстроходных машин, вырабатывающих массовые виды бумаги, составляет 25–30 %. Количество сукносушильных цилиндров должно быть кратным числу сушильных групп по сукнам.

Разбивка сушильных цилиндров по группам производится в зависимости от вида вырабатываемой бумаги и степени ее усадки, причем количество групп по приводу обычно бывает вдвое меньше количества групп по сушильным сукнам, так как одна приводная группа включает обычно два сушильных сукна – верхнее и нижнее.

### Расчет расхода тепла и пара на сушку бумаги

Расчет расхода тепла на сушку бумаги ведут на 1 ч. или на 1 т вырабатываемой продукции. Общий расход тепла на сушку складывается из полезного расхода тепла  $Q_{\text{пол}}$  и тепловых потерь в окружающее пространство  $Q_{\text{пот}}$ .

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{пот}} \text{ кДж/ч.}$$

Полезный расход тепла на сушку бумаги можно определить по формуле:

$$Q_{\text{пол}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = GC(t_k - t_n) + W_n C_w(t_k - t_n) + W(i - C_w \cdot t_c) \text{ кДж/ч,}$$

где  $Q_1$  – количество тепла для нагрева абсолютно сухого волокна,

находящегося в воздушносухой бумаге, кДж/ч;

$Q_2$  – количество тепла для нагрева воды, в мокром полотне, поступающем на сушку, кДж/ч;

$Q_3$  – количество тепла, необходимое для испарения воды из воздушносухой бумаги, кДж/ч;

$G$  – масса абсолютно сухой бумаги, кг/ч;

$C$  – теплоемкость абсолютно сухой бумаги, кДж/(кг·град.) (для бумаги

$C = 1,22 \div 1,33$  кДж/(кг·град.);

$t_n, t_k$  – температура бумаги перед и после сушильной части, °С;

$W_n$  – масса воды в мокром полотне бумаги, поступающая на сушку, кг/ч;

$C_w$  – теплоемкость воды, кДж/(кг·град.) ( $C_w = 4,19$  кДж/(кг·град));

$t_c$  – средняя температура сушки (практически можно принять  $t_k \approx t_c$ );

$W$  – количество воды, испаряемой из бумаги, кг/ч;

$i$  – теплосодержание пара, удаляемое из бумаги, при средней температуре сушки, кДж/кг;

Тепловые потери  $Q_{\text{пот}}$  определяют по формуле:

$$Q_{\text{пот}} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8 + q_9 + q_{10} \text{ кДж/ч,}$$

где  $q_1, q_2$  – потери тепла свободными участками бумажного полотна и сушильных сукон;

$q_3, q_4$  – потери тепла днищами бумагосушильных и сукносушильных цилиндров;

$q_5, q_6$  – потери тепла открытой боковой поверхностью бумагосушильных и сукносушильных цилиндров;

$q_7$  – потери тепла боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров, покрытых бумагой и сукном;

$q_8$  – потери тепла боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров, покрытых бумагой, но не покрытых сукном;

$q_9$  – потери тепла боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров, покрытых сукном, но не покрытых бумагой;

$q_{10}$  – потери тепла боковой поверхностью сукносушильных цилиндров, покрытых сукном.

Все эти потери определяются по известным формулам тепловых расчетов с учетом величины, излучающей тепло поверхности, разности температур и коэффициентов теплопередачи или теплоотдачи, которые подсчитывают для каждого случая отдельно.

### **Расчет количества бумаго-сукносушильных цилиндров**

Сушильная часть состоит из вращающихся обогреваемых изнутри паром сушильных цилиндров, расположенных в два яруса в шахматном порядке, сетководущих валиков, механизмов автоматической правки и натяжения сушильных сукон и сеток.

Сушильная часть разбивается на приводные секции: каждая секция имеет самостоятельный привод. Обычно сушильная секция состоит из нижней и верхней группы сушильных цилиндров. Сушильные цилиндры отливают из серого чугуна, поверхность шлифуют и полируют. Сушильные цилиндры имеют диаметр 1500 мм и толщину стенок 25 мм. Для улучшения прилегания бумаги и повышения коэффициента теплоотдачи в сушильной части применяют сушильные сукна и сетки. Количество бумагосушильных цилиндров определяется расчетным путем методом удельных съемов воды, испаряемой с 1 м<sup>2</sup> рабочей или полезной поверхности (поверхности контакта бумаги в сушильными цилиндрами):

$$n_{\text{б.с.}} = \frac{(S_k - S_H) \times Q_{\text{ч.бр.}}}{S_H \times q_3 \times \alpha \times \pi \times D \times B_H},$$

где  $S_k$  – конечная сухость бумаги, %;

$S_H$  – начальная сухость бумаги, %;

$q_3$  – удельный съем воды с полезной сушильной поверхности, кг/ч м<sup>2</sup>;

$\alpha$  – коэффициент обхвата сушильных цилиндров бумагой ( $\alpha = 0,60 - 0,67$ );  
 $D$  – диаметр бумагосушильных цилиндров, м;  
 $B_n$  – необрезная ширина бумаги, м.

Таблица 24 – Удельные съемы воды с полезной сушильной поверхности бумагоделательной машины

Вид бумаги	Масса 1 м <sup>2</sup> , г	Скорость машины, м/мин	Удельный съем воды с рабочей сушильной поверхности, кг/(м <sup>2</sup> · ч)
Газетная	41 - 45	750–900	20–25
Писчая и типографическая	60 - 65	400–600	19–21
Обойная	80 - 120	250–300	21–25
Офсетная, для глубокой печати и др.	90 - 160	250–400	16–18
Чертежная	180 - 200	50–100	16–17
Пергамин	40 - 45	100–200	14–16
Папиросная	14 - 16	100–200	10–12
Кабельная, патронная	90 - 160	60–100	16–18
Мешочная	70 - 80	300–450 500–700	26–30 26–30
Односторонней гладкости (афишная, билетная)	20 - 70	100–200	30–45
Санитарно-гигиенические виды бумаги	12 - 18 12 - 18	300–600 700–900	80–100 100–120

Если в сушильную часть встроен клеильный пресс, меловальная установка или микрокрепирующее устройство, следует произвести расчет количества бумаго-сукносушильных цилиндров до этих установок, а затем в досушивающей группе, учитывая при этом изменение влажности полотна бумаги после установки.

Рассчитывается количество сушильных цилиндров в основной сушильной части (до устройства) и в досушивающей части.

Для рассматриваемого примера принято:

$$S_n^1 = 36\%, \quad S_k^{11} = 94\% \text{ (на накате)}, \quad \alpha = 0,60, \quad D = 1,5 \text{ м}, \quad q_3^1 = 20 \text{ кг/м}^2 \text{ час},$$

$$q_3^{11} = 18 \text{ кг/м}^2 \text{ час}, \quad = 6,4 \text{ м. } Q_{ч.бр.} = 20,083 \text{ т/час}, \quad S_k^1 = 62 \%$$

(до микрокрепирующего устройства).

$$n_{61} = \frac{(62-36) \times 20083}{36 \times 20 \times 0,60 \times 3,14 \times 1,5 \times 6,4} = 37$$

$$n_{62} = \frac{(94-62) \times 20083}{62 \times 18 \times 0,60 \times 3,14 \times 1,5 \times 6,4} = 30$$

Разбивка сушильных цилиндров на секции по приводу производится в соответствии с видом вырабатываемой бумаги, ее свойствами и величиной усадки бумаги. В таблице 25 приведена компоновка сушильных цилиндров по приводным секциям для некоторых видов бумаги и картона.

Таблица 25 – Компоновка цилиндров сушильной части

Вид бумаги (картона), г/м <sup>2</sup>	Количество цилиндров: сушильных/холодильных	Количество приводных секций	Компоновка по приводным секциям
Бумага газетная, 45	48/1	6	1-6-6-12-12-12
Бумага писчая и типографская, 45-80	50/2	6	6-10-10-10-8-8*
Бумага писчая и типографская, 60-70	46/2	5	6-10-10-10-10-12**
Бумага для гофрирования, 100-150	83/2	6	5-16-16-16-16-16
Бумага мешочная, 70-105	62/1	10	5-12-12-6-4-4-4-4-6-6
Картон тарный, 125-200	109/2	6	11-20-20-20-20-20
Картон коробочный	88/2	8	10-12-12-12-12-12-10-10

\* с клеильным прессом

\*\*без клеильного пресса

### 10.1. Пример расчета теплового баланса в производстве газетной бумаги (с использованием сушильных сукон)

#### Исходные данные:

Скорость бумагоделательной машины, $V$ , м/мин	800,0
Необрезная ширина бумажного полотна на накате, $b_n$ , м	6,77
Масса 1 м <sup>2</sup> бумаги, $q$ , г	51,0
Толщина бумаги, $\delta$ , м	0,0001
Начальная сухость бумаги, $T_n$ , %	40,0
Конечная сухость бумаги, $T_k$ , %	92,0
Температура бумаги перед сушильной частью, $t_n$ , °C	40,0
Температура бумаги после сушильной части, $t_k$ , °C	85,0
Количество бумагосушильных цилиндров, $n$ , шт.	60

Количество сукносушильных цилиндров, $n$ , шт.	12
Диаметр бумагосушильного цилиндра, $d$ , м	1,5
Ширина бумагосушильного цилиндра, $b$ , м	7,1
Толщина стенки цилиндра, $\delta_{ц}$ , м	0,025
Толщина торцевой крышки цилиндра, $\delta_{кр}$ , м	0,0375
Ширина сушильного сукна, $b_c$ , м	6,77
Толщина сушильного сукна, $\delta_c$ , м	0,005
Температура воздуха в сушке, $t_v$ , °C	70,0
Количество сушильных групп по подводу пара, <i>шт.</i>	3
Количество сушильных цилиндров в группе, <i>шт.</i>	
- 1-ая группа	7
- 2-ая группа	19
- 3-я группа	34
Температура пара в сушильных группах, °C	
- 1-ая группа	98,0
- 2-ая группа	123,0
- 3-я группа	110,0

Для расчета примем следующие показатели работы машины.

Часовая выработка бумаги брутто  $P = 60 \cdot b \cdot v \cdot q = 60 \cdot 6,77 \cdot 800 \cdot 0,051 =$   
 $= 16573$  кг или  $16573 \cdot 0,92 = 15247$  кг абсолютно сухого вещества.

Поступает на сушку влаги с бумагой

$$W_H = 15247 \cdot \frac{100-40}{40} = 22870 \text{ кг/ч.}$$

Уходит влаги с воздушносухой бумагой

$$W_K = 15247 \cdot \frac{100-92}{92} = 1326 \text{ кг/ч.}$$

Испаряется воды при сушке

$$W = 22870 - 1326 = 21544 \text{ кг/ч.}$$

Количество бумагосушильных цилиндров на машине 60, количество сукносушильных цилиндров 12.

Подсчитаем полезный расход тепла на сушку бумаги

$$Q_{\text{пол}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 15247 \cdot 1,26(85-40) + 22870 \cdot 4,19(85-40) +$$

$$+ 21544(2648,5-4,19 \cdot 80) = 864505 + 4312138 + 49837735 = 55014378 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{или } \frac{55014378}{16573} = 3320 \text{ кДж/кг.}$$

## Потери тепла

1. Свободными участками бумажного полотна:

$$q_1 = F_6 \cdot \alpha \cdot (t_6 - t_b) \text{ кДж/ч,}$$

где  $F_6$  – поверхность свободных участков бумажного полотна с двух сторон,  $\text{м}^2$ ;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи бумаги воздуху,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град.})$

$t_6$  – средняя температура полотна бумаги на свободных участках, равная средней температуре сушки;

$t_b$  – температура окружающего воздуха.

Площадь свободных участков бумаги равна:

$$F_6 = 2 \cdot l \cdot b \cdot n,$$

где  $l$  – длина свободного участка бумаги между цилиндрами (составляет 1,1 – 1,2 м для цилиндра диаметром 1,5 м);

$b$  – ширина бумажного полотна (условно принимается равной необрезной ширине бумаги на накате);

$n$  – количество свободных участков (принимается равным количеству сушильных цилиндров).

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  может быть определен по эмпирической формуле:

$$\alpha = 5,58 + 3,95 \cdot v \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}),$$

где  $v$  – скорость машины,  $\text{м}/\text{с}$ .

$$\alpha = 5,58 + 3,95 \cdot \frac{800}{60} = 5,58 + 52,67 = 58,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$$

$$q_1 = 2 \cdot 1,2 \cdot 6,77 \cdot 60 \cdot 58,25 (80 - 70) = 974,88 \cdot 58,25 \cdot 10 = 567868 \text{ Вт}$$

$$\text{или } 567868 \cdot 3,6 = 2044325 \text{ кДж/ч.}$$

2. Свободными участками сушильных сукон:

$$q_2 = F_c \cdot \alpha (t_c - t_b)$$

Общая площадь сушильных сукон  $F_{\text{общ}}$  равна:

$$F_{\text{общ}} = L_c \cdot B = d \cdot n \cdot K \cdot B \text{ м}^2,$$

где  $L_c$  – суммарная длина сукон, м;

$B$  – ширина сукна, м;

$d$  – диаметр сушильных цилиндров, м;

$n$  – общее количество бумагосушильных и сукносушильных цилиндров;

$K$  – опытный коэффициент, равный при большом количестве сушильных цилиндров в группе 5–6, а при малом количестве цилиндров в одном сукне – 7–8;

$$F_{\text{общ}} = 1,5 \cdot 72 \cdot 5 \cdot 7,1 = 3854 \text{ м}^2.$$

Площадь свободных участков сушильных сукон с двух сторон  $F_c$  можно определить из выражения:

$$F_c = 2 \cdot V [L_c - (\pi d_{n_b} \beta_b + \pi d_{n_c} \beta_c)] \text{ м}^2,$$

где  $n_b$  – количество бумагосушильных цилиндров;

$n_c$  – количество сукносушильных цилиндров;

$\beta_b$  – средний коэффициент обхвата бумагосушильных цилиндров сукном;

$\beta_c$  – средний коэффициент обхвата сукносушильных цилиндров сукном;

$$F_c = 2 \cdot 7,1 [540 - (3,14 \cdot 1,5 \cdot 60 \cdot 0,63 + 3,14 \cdot 1,5 \cdot 12 \cdot 0,75)] = \\ = 14,2(540 - 178,04 - 42,39) = 4538 \text{ м}^2$$

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  определяем по эмпирической формуле для шероховатой поверхности:

$$\alpha = 6,16 + 4,187 \cdot v = 6,16 + 4,187 \frac{800}{60} = 61,99 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$$

$$q_2 = 4538 \cdot 61,99 \cdot (80 - 70) = 2813106 \text{ Вт} = 10127182 \text{ кДж}/\text{ч}.$$

3. Днищами бумагосушильных цилиндров:

$$q_3 = 2F \cdot K [(t_{п1} - t_b)n_1 + (t_{п2} - t_b)n_2 + (t_{п3} - t_b)n_3] \text{ кДж}/\text{ч},$$

где  $F$  – торцевая поверхность одного цилиндра,  $\text{м}^2$ ;

$K$  – коэффициент теплопередачи пара воздуху через торцевую стенку цилиндра,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ .

$n_1, n_2, n_3$  – число сушильных цилиндров по группам (сушильная часть условно разбита на три сушильных группы);

$t_{п1}, t_{п2}, t_{п3}$  – температура пара в сушильных группах;

$t_b$  – температура окружающего воздуха.

Коэффициент теплопередачи вычисляем по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}),$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от пара стенке сушильного цилиндра,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$  (его значение принимаем равным  $\alpha_1 = 62,8$ );

$\delta$  – толщина торцевой крышки цилиндра, м;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стенки цилиндра,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$  (для чугуна  $\lambda = 62,8$ );

$\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от торцевой стенки сушильного цилиндра воздуху,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ .

Значение коэффициента  $\alpha_2$  можно определить по эмпирической формуле:

$$\alpha_2 = 5,58 + 3,95 \cdot v,$$

где  $v$  – средняя окружная скорость воздуха по поверхности днищ, которую можно принять приблизительно равной половине максимальной, то есть в нашем случае

$$v = \frac{800}{60 \cdot 2} = 6,67 \text{ м}/\text{с}.$$

$$\alpha_2 = 5,58 + 3,95 \cdot 6,67 = 31,93 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$$

Определяем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,0375}{62,8} + \frac{1}{31,93}} = 31,18 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$$

$$q_3 = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} \cdot 31,18 \cdot [(98 - 70) \cdot 7 + (123 - 70) \cdot 19 + (110 - 70) \cdot 34] = 282257 \text{ Вт} = \\ = 1016125 \text{ кДж/ч}.$$

4. Днищами сукносушильных цилиндров.

Давление пара в сукносушителях следует принять максимальным, то есть  $2,16 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , чему соответствует температура  $t_n = 123^\circ\text{C}$ .

$$q_4 = 2FK(t_n - t_B)n_c = 2 \cdot 1,766 \cdot 31,18(123 - 70) \cdot 12 = 58368 \text{ Вт} = 210125 \text{ кДж/ч}.$$

5. Открытой боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров:

$$q_5 = K \pi d [(1 - \beta_c)b + (1 - \beta_0) \cdot (B - b) + (B_{\text{ц}} - B)] \cdot [(t_{n1} - t_B)n_1 + \\ + (t_{n2} - t_B)n_2 + (t_{n3} - t_B)n_3],$$

где  $\beta_c$  – коэффициент обхвата бумагосушильных цилиндров бумагой (0,63 0,67);

$\beta_0$  – коэффициент обхвата бумагосушильных цилиндров сукном (0,60);

$b$  – средняя ширина бумажного полотна (условно принимается равной не обрезной ширине бумаги на накате), м;

$B_{\text{ц}}$  – ширина цилиндра, м<sup>2</sup>;

$B$  – ширина сукна, м (для хлопчатобумажных сукон принимается равным

$B = B_{\text{ц}}$ );

Вычислим коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,025}{62,8} + \frac{1}{31,93}} = 31,38 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$$

$$q_5 = 31,38 \cdot 3,14 \cdot 1,5 [(1 - 0,63) \cdot 6,77 + (1 - 0,60)(7,1 - 6,77)] \cdot [(98 - 70) \cdot 7 + \\ + (123 - 70) \cdot 19 + (110 - 70) \cdot 34] = 997032 \text{ Вт} = 3589315 \text{ кДж/ч}.$$

6. Открытой боковой поверхностью сукносушильных цилиндров:

$$q_6 = K \pi d [(1 - \beta_c)B + (B_{\text{ц}} - B)] n_c \cdot (t_n - t_B) = 31,38 \cdot 3,14 \cdot 1,5 (1 - 0,75) \cdot 7,1 \cdot 12 \cdot (123 - \\ - 70) = 166851 \text{ Вт} = 600664 \text{ кДж/ч}.$$

7. Боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров, покрытых бумагой и сукном:

$$q_7 = K \pi d b \beta_0 [(t_{n1} - t_B)n_1 + (t_{n2} - t_B)n_2 + (t_{n3} - t_B)n_3];$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}),$$

$\delta_1$  – толщина бумаги, м;

$\delta_2$  – толщина сукна, м;

$\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности бумаги, Вт/(м<sup>2</sup>·град) (для бумаги  $\lambda_1 = 0,0465$ );

$\lambda_2$  – коэффициент теплопроводности сукна, Вт/(м<sup>2</sup>·град) (для хлопчатобумажного сукна  $\lambda_2 = 0,058$ , а для шерстяного сукна  $\lambda_2 = 0,038$ ).

$$K = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,025}{62,8} + \frac{0,0001}{0,0465} + \frac{0,005}{0,058} + \frac{1}{61,99}} = \frac{1}{0,10502} = 9,52 \text{ Вт/(м}^2\text{·град)}$$

$$q_7 = 9,52 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 6,77 \cdot 0,60 \cdot [(98-70)7 + (123-70) \cdot 19 + (110-70) \cdot 34] = 466767 \text{ Вт} = 1680361 \text{ кДж/ч.}$$

8. Боковой поверхностью сушильных цилиндров, покрытой бумагой, но не покрытой сукном:

$$q_8 = K \pi d b (\beta_6 - \beta_0) [(t_{n1} - t_B) n_1 + (t_{n2} - t_B) n_2 + (t_{n3} - t_B) n_3]$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{a_2}} = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,025}{62,8} + \frac{0,0001}{0,0465} + \frac{1}{58,25}} = 50,28 \text{ Вт/(м}^2\text{·град)}$$

$$Q_8 = 50,28 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 6,77 \cdot (0,63 - 0,60) \cdot [(98 - 70)7 + (123 - 70) \cdot 19 + (110 - 70) \cdot 34] = 123326 \text{ Вт} = 443974 \text{ кДж/ч.}$$

9. Боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров, покрытой сукном, но не покрытой бумагой:

$$q_9 = K \pi d (B - b) \beta_c \cdot [(t_{n1} - t_B) n_1 + (t_{n2} - t_B) n_2 + (t_{n3} - t_B) n_3]$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{a_2}} = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,025}{62,8} + \frac{0,005}{0,058} + \frac{1}{61,99}} = 9,72 \text{ Вт/(м}^2\text{·град)}$$

$$q_9 = 9,72 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot (7,1 - 6,77) \cdot 0,75 \cdot [(98 - 70)7 + (123 - 70) \cdot 19 + (110 - 70) \cdot 34] = 29040 \text{ Вт} = 104544 \text{ кДж/ч.}$$

10. Боковой поверхностью сушильных цилиндров, покрытой сукном:

$$q_{10} = \pi K d \cdot \beta_c \cdot B (t_n - t_B) n_c = 3,14 \cdot 9,72 \cdot 1,5 \cdot 0,75 \cdot 7,1 (123 - 70) \cdot 12 = 155048 \text{ Вт} = 558173 \text{ кДж/ч.}$$

Общие потери тепла при сушке бумаги составят:

$$Q_{\text{пот}} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8 + q_9 + q_{10} = 2044325 + 10127182 + 1016125 + 210125 + 3589315 + 600664 + 1680361 + 443974 + 104544 + 558173 = 20374788 \text{ кДж/ч или } \frac{20374788}{16573} = 1229 \text{ кДж/кг.}$$

В таблице 26 приведены результаты расчета тепловых потерь при сушке газетной бумаги на бумагоделательной машине, из которой видно, что на долю сукон и сукносушителей приходится 61,35 % потерь, то есть более половины всех потерь на сушильной части.

Общий расход тепла на сушку бумаги равен:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{пот}} = 55014378 + 20374788 = 75389166 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{или } \frac{75389166}{16573} = 45491229 \text{ кДж/кг.}$$

Термический коэффициент полезного действия сушильной части машины  $\eta$  равен:

$$\eta = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{общ}}} \cdot 100\% = \frac{55014378}{75389166} \cdot 100 = 73\%.$$

При давлении свежего пара  $2,45 \cdot 10^5$  Па (теплосодержание  $i = 2720,6$  кДж/кг) удельный расход пара на 1 кг бумаги составляет:

$$D = \frac{Q_{\text{общ}}}{i - c \cdot t} = \frac{4549}{2720,6 - 4,19 \cdot 126,7} = \frac{4549}{2189,7} = 2,08 \text{ кг/кг.}$$

Удельный расход пара на 1 кг испаряемой влаги равен:

$$D_1 = \frac{75389166}{21544 \cdot 2189,7} = 1,60 \text{ кг/кг.}$$

Принимая потери в паропроводе 5%, фактический расход пара на 1 кг бумаги составит:

$$D = 4549 \cdot 1,05 = 4776 \text{ кДж/кг, или } 2,18 \text{ кг/кг.}$$

Таблица 26 – Тепловые потери при сушке

№ п/п	Источники потери тепла	Потери тепла	
		кДж/ч	%
q <sub>1</sub>	Свободные участки бумажного полотна	2044325	10,03
q <sub>2</sub>	Свободные участки сушильных сукон	10127182	49,85
q <sub>3</sub>	Днища бумагосушильных цилиндров	1016125	4,88
q <sub>4</sub>	Днища сукносушильных цилиндров	210125	1,02
q <sub>5</sub>	Открытая боковая поверхность бумагосушильных цилиндров	3589315	17,61
q <sub>6</sub>	Открытая боковая поверхность сукносушильных цилиндров	600664	2,94
q <sub>7</sub>	Боковая поверхность бумагосушильных цилиндров, покрытая бумагой и сукном	1680361	8,25
q <sub>8</sub>	Боковая поверхность бумагосушильных цилиндров, покрытая бумагой	443974	2,17
q <sub>9</sub>	Боковая поверхность бумагосушильных цилиндров, покрытая сукном	104544	0,51
q <sub>10</sub>	Боковая поверхность сукносушильных цилиндров, покрытая сукном	588173	2,74
	Всего	20374788	100

Таблица 27 – Свойства насыщенного водяного пара

Давление $1 \cdot 10^5$ Па	Температура насыщения, °С	Удельный объем сухого насыщенного пара, м <sup>3</sup>	Теплосодержание, кДж/кг		Скрытая теплота парообразования, кДж/кг
			жидкости	сухого насыщенного пара	
0,0981	45,5	14,95	190,3	2585,2	2394,9
0,294	68,7	5,238	287,5	2626,3	2338,8
0,490	80,9	3,301	338,6	2646,4	2307,8
0,686	89,5	2,409	374,7	2660,2	2285,5
0,981	99,09	1,725	415,2	2675,3	2260,1
1,177	104,25	1,455	437,4	2682,9	2245,5
1,373	108,74	1,259	456,4	2690,0	2233,6
1,569	112,73	1,111	473,3	2696,3	2223,0
1,765	116,33	0,9952	488,6	2701,3	2212,7
1,961	119,62	0,9016	502,5	2705,9	2203,4
2,157	122,65	0,8246	515,4	2710,1	2194,7
2,452	126,7	0,7326	533,0	2716,0	2183,0
2,942	132,88	0,6166	559,0	2724,8	2165,8
3,432	138,19	0,5335	581,6	2731,5	2149,9
3,923	142,92	0,4706	601,7	2737,7	2136,0
4,413	147,20	0,4213	620,1	2743,2	2123,1
4,903	151,11	0,3861	637,3	2747,8	2110,5
5,884	158,08	0,3213	667,5	2758,3	2090,8
6,865	164,17	0,2778	694,3	2765,0	2070,7
7,845	169,61	0,2448	718,2	2770,4	2052,2
8,826	174,53	0,2189	739,5	2775,0	2035,5
9,807	179,04	0,1981	760,1	2775,9	2015,8

## 10.2. Пример расчета теплового баланса в производстве упаковочной бумаги (с использованием сушильных сеток)

Сушильные синтетические сетки обладают рядом преимуществ по сравнению с хлопчатобумажными и шерстяными сукнами: меньшая стоимость, повышенные прочность и гидрофобность, более длительный срок службы, меньшая масса  $1\text{ м}^2$ , высокая воздухо- и паропроницаемость. За счет высокой воздухопроницаемости сеток активизируется вентиляция межцилиндровых пространств на БДМ. В процессе эксплуатации сетки загрязняются волокном, пылью, клеем, поэтому их периодически чистят свежим воздухом, подаваемым через специальные сопла.

Поскольку масса  $1\text{ м}^2$  сушильной сетки значительно меньше, чем масса сукна, а паро- и воздухопроницаемость больше, вводим коэффициент пористости сетки, который зависит от материала сетки, ее массы  $1\text{ м}^2$  и ряда других показателей. В данном расчете принят коэффициент пористости 0,7.

### Исходные данные:

Скорость бумагоделательной машины, $V$ , м/мин	140,0
Необрезная ширина бумажного полотна на накате, $b_n$ , м	2,39
Масса $1\text{ м}^2$ бумаги, $q$ , г	80,0
Толщина бумаги, $\delta$ , м	0,0001
Начальная сухость бумаги, $T_n$ , %	45,0
Конечная сухость бумаги, $T_k$ , %	95,0
Температура бумаги перед сушильной частью, $t_n$ , °C	35,0
Температура бумаги после сушильной части, $t_k$ , °C	94,0
Количество бумагосушильных цилиндров, $n$ , шт.	24
Диаметр бумагосушильного цилиндра, $d$ , м	1,5
Ширина бумагосушильного цилиндра, $b$ , м	2,8
Толщина стенки цилиндра, $\delta_{ц}$ , м	0,025
Толщина торцевой крышки цилиндра, $\delta_{кр}$ , м	0,0375
Ширина сушильной сетки, $b_c$ , м	2,6
Толщина сушильной сетки, $\delta_c$ , м	0,003
Температура воздуха в сушилке, $t_в$ , °C	75,0
Количество сушильных групп по подводу пара, шт.	5
Количество сушильных цилиндров в группе, шт.	
- 1-ая группа	3
- 2-ая группа	5
- 3-я группа	8
- 4-ая группа	5
- 5-ая группа	3

Температура пара в сушильных группах, °С

- 1-ая группа	80,0
- 2-ая группа	100,0
- 3-я группа	130,0
- 4-ая группа	86,0
- 5-ая группа	94,0

### **Определение сушильной поверхности**

Рабочая поверхность бумагосушильных цилиндров:

$$13. \quad F_p = b_n \cdot \pi \cdot d \cdot n \cdot \beta_{\delta}, \text{ м}^2,$$

где  $b_n$  – необрезная ширина бумажного полотна на накате, м;

$d$  – диаметр бумагосушильного цилиндра, м;

$n$  – количество бумагосушильных цилиндров, шт.;

$\beta_{\delta}$  – коэффициент обхвата сушильных цилиндров бумагой (обычно  $\beta_{\delta} = 0,60 \div 0,67$ ). Принимаем равным 0,67.

$$F_p = 2,39 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 24 \cdot 0,67 = 181 \text{ м}^2.$$

Боковая поверхность бумагосушильных цилиндров:

$$F_0 = \pi \cdot d \cdot n \cdot b, \text{ м}^2,$$

где  $b$  – ширина бумагосушильного цилиндра, м;

$$F_0 = 3,14 \cdot 1,5 \cdot 24 \cdot 2,8 = 316,5 \text{ м}^2.$$

### **Расчет расхода тепла на сушку бумаги**

Общий расход тепла на сушку:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{ном}}, \text{ кДж/ч},$$

где  $Q_{\text{пол}}$  – полезный расход тепла на сушку бумаги, кДж/ч.

$$\begin{aligned} Q_{\text{пол}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 = \\ &= G \cdot C \cdot (t_k - t_n) + W_n \cdot C_v \cdot (t_k - t_n) + W \cdot (i - C_v \cdot t_{cp}), \text{ кДж/ч}, \end{aligned}$$

где  $Q_1$  – количество тепла для нагрева абсолютно сухого волокна, находящегося в воздушно-сухой бумаге, кДж/ч;

$Q_2$  – количество тепла для нагрева воды в мокром полотне, поступающем на сушку, кДж/ч;

$Q_3$  – количество тепла, необходимое для испарения воды из воздушносухой бумаги, кДж/ч;

$G$  – часовая выработка абсолютно сухой бумаги, кг/ч,

$$G = 0,06 \cdot b_n \cdot V \cdot q \cdot \frac{T_k}{100}, \text{ кг/ч};$$

где  $V$  – скорость бумагоделательной машины, м/мин;

$q$  – масса 1 м<sup>2</sup> бумаги, г;

$T_k$  – конечная сухость бумаги, %.

$$G = 0,06 \cdot 2,39 \cdot 140 \cdot 80 \cdot \frac{95}{100} = 1525,78 \text{ кг/ч};$$

$C$  – теплоемкость абсолютно сухой бумаги, кДж/(кг·град) (1,21–1,32);

$t_k$  – температура бумаги после сушильной части, °С;

$t_n$  – температура бумаги перед сушильной частью, °С;

$W_n$  – масса воды в мокром полотне бумаги, кг/ч,

$$W_n = G \cdot \frac{100 - T_n}{T_n}, \text{ кг/ч};$$

где  $T_n$  – начальная сухость бумаги, %.

$$W_n = 1525,78 \cdot \frac{100 - 45}{45} = 1864,84 \text{ кг/ч}.$$

$C_v$  – теплоемкость воды, кДж/(кг·град) (4,19, кДж/(кг·град));

$W$  – количество воды, испаряемой из бумаги, кг/ч,

$$\begin{aligned} W &= W_n - W_k = W_n - G \cdot \frac{100 - T_k}{T_k} = \\ &= 1864,84 - 1525,78 \cdot \frac{100 - 95}{95} = 1784,54 \text{ кг/ч}; \end{aligned}$$

$i$  – теплосодержание пара, удаляемого из бумаги, при средней температуре сушки, кДж/кг (2677,5 кДж/кг);

$t_{cp}$  – средняя температура сушки, °С ( $t_{cp} = t_k$ ).

$$\begin{aligned}
Q_{\text{пол}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 = \\
&= 1525,78 \cdot 1,3 \cdot (94 - 35) + 1864,84 \cdot 4,19 \cdot (94 - 35) + \\
&+ 1784,54 \cdot (2669,2 - 4,19 \cdot 94) = 4638469,67 \text{ кДж/ч.}
\end{aligned}$$

$Q_{\text{ном}}$  – тепловые потери в окружающее пространство, кДж/ч.

$$Q_{\text{ном}} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7, \text{ кДж/ч,}$$

где  $q_1$  – потери тепла свободными участками бумажного полотна, кДж/ч;

$q_2$  – потери тепла свободными участками сушильных сеток, кДж/ч;

$q_3$  – потери тепла днищами бумагосушильных цилиндров, кДж/ч;

$q_4$  – потери тепла открытой боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров, кДж/ч;

$q_5$  – потери тепла боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров, покрытой бумагой и сеткой, кДж/ч;

$q_6$  – потери тепла боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров, покрытой бумагой, кДж/ч;

$q_7$  – потери тепла боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров, покрытой сеткой, кДж/ч.

### **Потери тепла:**

– свободными участками бумажного полотна:

$$q_1 = F_{\bar{\sigma}} \cdot \alpha_{\bar{\sigma}} \cdot (t_{\bar{\sigma}} - t_{\bar{e}}), \text{ кДж/ч,}$$

где  $F_{\bar{\sigma}}$  – поверхность свободных участков бумажного полотна с двух сторон,  $\text{м}^2$ ,

$$F_{\bar{\sigma}} = 2 \cdot l \cdot b_n \cdot n_{\text{св}}, \text{ м}^2,$$

где  $l$  – длина свободного участка бумажного полотна между цилиндрами,  $\text{м}$ ;

$n_{\text{св}}$  – количество свободных участков бумажного полотна, *шт.* ( $n_{\text{св}}=n$ ).

$$F_{\bar{\sigma}} = 2 \cdot 1,1 \cdot 2,39 \cdot 24 = 126,19 \text{ м}^2;$$

$\alpha_6$  – коэффициент теплоотдачи бумаги воздуху,  $Вт/(м^2 \cdot град)$ ,

$$\alpha_6 = 5,58 + 3,95 \cdot \frac{V}{60} = 5,58 + 3,95 \cdot \frac{140}{60} = 14,80 \text{ Вт}/(м^2 \cdot град);$$

$t_6$  – средняя температура бумажного полотна на свободных участках,  $^{\circ}C$  ( $t_6 = t_{cp}$ );

$t_8$  – температура воздуха в сушке,  $^{\circ}C$ .

$$q_1 = 126,19 \cdot 14,8 \cdot (94 - 75) = 35484,63 \text{ Вт}$$

$$\text{или } 35484,63 \cdot 3,6 = 127744,67 \text{ кДж/ч.}$$

– свободными участками сушильных сеток:

$$14. \quad q_2 = F_c \cdot \alpha_c \cdot (t_{cp} - t_8), \text{ кДж/ч,}$$

где  $F_c$  – площадь свободных участков сушильных сеток с двух сторон,  $м^2$ ,

$$F_c = 2 \cdot b_c \cdot (d \cdot n \cdot K - \pi \cdot d \cdot n \cdot \beta_c), \text{ м}^2,$$

где  $b_c$  – ширина сушильной сетки,  $м$ ;

$K$  – опытный коэффициент, равный при малом количестве цилиндров в одной сетке 8;

$\beta_c$  – коэффициент обхвата цилиндра сеткой.

$$F_c = 2 \cdot 2,6 \cdot (1,5 \cdot 24 \cdot 8 - 3,14 \cdot 1,5 \cdot 24 \cdot 0,63) = 1127,28 \text{ м}^2;$$

$\alpha_c$  – коэффициент теплоотдачи сетки воздуху,  $Вт/(м^2 \cdot град)$ ,

$$\alpha_c = 6,16 + 4,187 \cdot \frac{V}{60} = 6,16 + 4,187 \cdot \frac{140}{60} = 15,93 \text{ Вт}/(м^2 \cdot град).$$

$$q_2 = 1127,28 \cdot 15,93 \cdot (94 - 75) = 341193,84 \text{ Вт}$$

$$\text{или } 341193,84 \cdot 3,6 = 1228297,82 \text{ кДж/ч.}$$

– торцевой поверхностью бумагосушильных цилиндров:

$$q_3 = 2 \cdot F_{кр} \cdot K_1 \cdot [(t_1 - t_8) \cdot n_1 + (t_2 - t_8) \cdot n_2 + (t_3 - t_8) \cdot n_3 + (t_4 - t_8) \cdot n_4 + (t_5 - t_8) \cdot n_5], \text{ кДж/ч,}$$

где  $F_{кр}$  – площадь торцевой крышки цилиндра,  $м^2$ ,

$$F_{кр} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} = 1,766 \text{ м}^2;$$

$K_1$  – коэффициент теплопередачи пара воздуху через торцевую крышку цилиндра,  $Вт/(м^2 \cdot град)$ ,

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{кр}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}),$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от пара крышке цилиндра,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ . Принимаем равным 5815;

$\delta_{кр}$  – толщина торцевой крышки цилиндра, м;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала крышки,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$  (для чугуна  $\lambda=62,8$ );

$\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от крышки воздуху,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ ,

$$\alpha_2 = 5,58 + 3,95 \cdot \frac{V}{60 \cdot 2} = 5,58 + 3,95 \cdot \frac{140}{60 \cdot 2} = 10,19 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$$

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,0375}{62,8} + \frac{1}{10,19}} = 10,11 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град});$$

$t_1 \div t_5$  – температура пара в сушильных группах, °С;

$n_1 \div n_5$  – количество сушильных цилиндров в группе, шт.

$$q_3 = 2 \cdot 1,766 \cdot 10,11 \cdot [(80 - 75) \cdot 3 + (100 - 75) \cdot 5 + (130 - 75) \cdot 8 + (86 - 75) \cdot 5 + (94 - 75) \cdot 3] = 24710,30 \text{ Вт}$$

$$\text{или } 24710,30 \cdot 3,6 = 88957,08 \text{ кДж} / \text{ч.}$$

– открытой боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров:

$$q_4 = K_2 \cdot \pi \cdot d \cdot [(1 - \beta_o) \cdot b_n + (1 - \beta_c) \cdot (b_c - b_n) + (b - b_c)] \times \\ \times [(t_1 - t_e) \cdot n_1 + (t_2 - t_e) \cdot n_2 + (t_3 - t_e) \cdot n_3 + (t_4 - t_e) \cdot n_4 + (t_5 - t_e) \cdot n_5], \text{ кДж} / \text{ч.}$$

где  $K_2$  – коэффициент теплопередачи пара воздуху через стенку цилиндра,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ ,

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_u}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}),$$

где  $\delta_u$  – толщина стенки цилиндра, м;

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,025}{62,8} + \frac{1}{10,19}} = 10,13 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$$

$$q_4 = 10,13 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot [(1 - 0,67) \cdot 2,39 + (1 - 0,63) \cdot (2,6 - 2,39) + (2,8 - 2,6)] \times \\ \times [(80 - 75) \cdot 3 + (100 - 75) \cdot 5 + (130 - 75) \cdot 8 + (86 - 75) \cdot 5 + (94 - 75) \cdot 3] = 35209,23 \text{ Вт} \\ \text{или } 35209,23 \cdot 3,6 = 126753,23 \text{ кДж/ч.}$$

– боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров, покрытой бумагой и сеткой:

$$q_5 = K_3 \cdot \pi \cdot d \cdot b_n \cdot \beta_c \cdot [(t_1 - t_e) \cdot n_1 + (t_2 - t_e) \cdot n_2 + (t_3 - t_e) \cdot n_3 + \\ + (t_4 - t_e) \cdot n_4 + (t_5 - t_e) \cdot n_5], \text{ кДж/ч,}$$

где  $K_3$  – коэффициент теплопередачи пара воздуху через стенку цилиндра, бумажное полотно и сушильную сетку,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ ,

$$K_3 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_u}{\lambda} + \frac{\delta_\delta}{\lambda_\delta} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_c}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}),$$

где  $\delta_\delta$  – толщина бумаги, м;

$\lambda_\delta$  – коэффициент теплопроводности бумаги,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$ ;

$\delta_c$  – толщина сетки, м;

$\lambda_c$  – коэффициент теплопроводности сетки,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$ .

$$K_3 = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,025}{62,8} + \frac{0,0001}{0,0465} + \frac{0,003}{0,04} + \frac{1}{15,93}} = \\ = 7,12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$$

$$q_5 = 7,12 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 2,39 \cdot 0,63 \cdot [(80 - 75) \cdot 3 + (100 - 75) \cdot 5 + \\ + (130 - 75) \cdot 8 + (86 - 75) \cdot 5 + (94 - 75) \cdot 3] = 34941,81 \text{ Вт} \\ \text{или } 34941,81 \cdot 3,6 = 125790,52 \text{ кДж/ч.}$$

– боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров, покрытой бумагой:

$$q_6 = K_4 \cdot \pi \cdot d \cdot b_n \cdot (\beta_\delta - \beta_c) \cdot [(t_1 - t_e) \cdot n_1 + (t_2 - t_e) \cdot n_2 + (t_3 - t_e) \cdot n_3 + \\ + (t_4 - t_e) \cdot n_4 + (t_5 - t_e) \cdot n_5], \text{ кДж/ч,}$$

где  $K_4$  – коэффициент теплопередачи пара воздуху через стенку цилиндра и бумажное полотно,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ ,

$$K_4 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_u}{\lambda} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{1}{\alpha_6}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}),$$

$$K_4 = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,025}{62,8} + \frac{0,0001}{0,0465} + \frac{1}{14,80}} = 14,23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$$

$$q_6 = 14,23 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 2,39 \cdot (0,67 - 0,63) \cdot [(80 - 75) \cdot 3 + (100 - 75) \cdot 5 + (130 - 75) \cdot 8 + (86 - 75) \cdot 5 + (94 - 75) \cdot 3] = 4433,94 \text{ Вт}$$

$$\text{или } 4433,94 \cdot 3,6 = 15962,18 \text{ кДж}/\text{ч}.$$

– боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров, покрытой сеткой:

$$q_7 = K_5 \cdot \pi \cdot d \cdot (b_c - b_n) \cdot \beta_c \cdot [(t_1 - t_6) \cdot n_1 + (t_2 - t_6) \cdot n_2 + (t_3 - t_6) \cdot n_3 + (t_4 - t_6) \cdot n_4 + (t_5 - t_6) \cdot n_5], \text{ кДж}/\text{ч},$$

где  $K_5$  – коэффициент теплопередачи пара воздуху через стенку цилиндра и сушильную сетку,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ ,

$$K_5 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_u}{\lambda} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_c}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}),$$

$$K_5 = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,025}{62,8} + \frac{0,003}{0,04} + \frac{1}{15,93}} = 7,23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$$

$$q_7 = 7,23 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot (2,6 - 2,39) \cdot 0,63 \cdot [(80 - 75) \cdot 3 + (100 - 75) \cdot 5 + (130 - 75) \cdot 8 + (86 - 75) \cdot 5 + (94 - 75) \cdot 3] = 3117,63 \text{ Вт}$$

$$\text{или } 3117,63 \cdot 3,6 = 11223,47 \text{ кДж}/\text{ч}.$$

$$Q_{\text{ном}} = 127744,67 + 1228297,82 + 88957,08 + 126753,23 + 125790,52 + 15962,18 + 11223,47 = 1724728,97 \text{ кДж}/\text{ч} \text{ или } \frac{1724728,97}{0,06 \cdot 140 \cdot 2,39 \cdot 80} = 1073,87 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

$$Q_{\text{общ}} = 4638469,67 + 1724728,97 = 6363198,64 \text{ кДж}/\text{ч}$$

$$\text{или } \frac{6363198,64}{0,06 \cdot 140 \cdot 2,39 \cdot 80} = 3961,94 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

Термический коэффициент полезного действия сушильной части бумагоделательной машины:

$$\eta = \frac{Q_{пол}}{Q_{общ}} \cdot 100 = \frac{4638469,67}{6363198,64} \cdot 100 = 72,9\%.$$

### **Расчет расхода пара на сушку бумаги**

Удельный расход пара на 1 кг бумаги:

$$D = \frac{Q_{общ}}{i - c \cdot t}, \text{ кг/кг},$$

где  $i$  – теплосодержание насыщенного водяного пара при давлении 0,4 МПа, кДж/кг;

$c$  – коэффициент теплопроводности бумаги, Вт/(м·град);

$t$  – температура насыщения водяного пара, °С;

## **10.3. Расчет теплового баланса в производстве санитарно-гигиенических видов бумаг**

Сушильная часть состоит из Янки-цилиндра, который оснащен колпаком скоростной сушки. Колпак скоростной сушки обогревается газом. Янки-цилиндр работает без сукна или сетки, поэтому такие машины называются самосъемочными.

Основным элементом сушки является Янки-цилиндр. Внутри подается через паровую головку пар, а с помощью сифона удаляется конденсат. Янки-цилиндр приводится во вращение с помощью прессового вала или шестерни. Нагрев сушильного цилиндра осуществляется насыщенным паром давлением от 1 до 4 атм.

### **Исходные данные:**

Скорость бумагоделательной машины, $V$ , м/мин	1350,0
Необрезная ширина бумажного полотна на накате, $b_n$ , м	4,3
Масса 1 м <sup>2</sup> бумаги, $q$ , г	19,0
Начальная сухость бумаги, $T_n$ , %	43,0
Конечная сухость бумаги, $T_k$ , %	94,0
Температура бумаги перед сушильной частью, $t_n$ , °С	45,0
Температура бумаги после сушильной части, $t_k$ , °С	95,0
Диаметр Янки-цилиндра, $d$ , м	3,66
Ширина Янки-цилиндра, $b$ , м	4,5
Толщина стенки цилиндра, $\delta_{ц}$ , м	0,035

Максимальная часовая производительность брутто, при безобрывной работе машины, кг/ч.

$$P_{\text{ч}} = 0,06 \cdot B_{\text{H}} \cdot U \cdot q,$$

где 0,06 – коэффициент перевода минут в часы и граммов в килограммы;

$B_{\text{H}}$  – необрезная ширина бумаги, 4,3 м;

$U$  – скорость БДМ, 1350 м/мин.;

$q$  – масса 1 м<sup>2</sup> бумаги, 19 г.

$$P_{\text{ч}} = 0,06 \cdot 4,3 \cdot 1350 \cdot 19 = 6617,7 \text{ кг/ч}$$

$$P_{\text{а.с.в.}} = 6617,7 \cdot 0,94 = 6220,638 \text{ кг/ч}$$

Тепловые потери:

Поступает на сушку влаги с бумагой:

$$W_{\text{H}} = 6617,7 \cdot \frac{(100 - 43)}{43} = 8772,3 \text{ кг/ч};$$

Уходит с воздушно-сухой бумагой:

$$W_{\text{K}} = 6617,7 \cdot \frac{(100 - 94)}{94} = 422,41 \text{ кг/ч};$$

Испаряется воды при сушке:

$$W_{\text{исп}} = 8772,3 - 422,41 = 8349,89 \text{ кг/ч};$$

Расход газа:

При коэффициенте избытка воздуха  $a = 7,65$  температура сушильного воздуха составит  $t_{\text{n}} = 450^{\circ}\text{C}$ , расход воздуха на 1 м<sup>3</sup> сжигаемого газа составит 101 м<sup>3</sup>.

Влагосодержание сушильного воздуха  $\lambda_{\text{n}} = 0,017$  кг воды/кг возд.

Температура сушильного воздуха на выходе  $t_{\text{k}} = 250^{\circ}\text{C}$

Влагосодержание сушильного воздуха  $\lambda_{\text{k}} = 0,1$  кг воды/кг возд.

Принимаем количество влаги, испаряемое за счет сушильного газа, равное 45 % от общего количества, что равняется:

$$W'_{\text{исп}} = 8349,9 \cdot 0,45 = 3757,45 \text{ кг/ч, т.е. полезное тепло}$$

$Q_1$  – расход тепла на нагрев абсолютно сухой бумаги;

$Q_2$  – расход тепла на нагрев воды поступающей в сушильную часть;

$Q_3$  – расход тепла на испарение влаги.

$$Q_1 = G \cdot C_{\text{б}} \cdot (t_{\text{k}} - t_{\text{n}})$$

$$Q_1 = 6220,64 \cdot 1,26 \cdot 50 = 391900,32 \text{ кДж/ч,}$$

где  $G$  – количество а.с.в., поступающего в сушильную часть;

$C_{\text{б}} = 1,22 - 1,3$  кДж – теплоемкость абсолютно сухой бумаги;

$t_{\text{n}}, t_{\text{k}}$  – температура бумаги до и после сушки.

$$Q_2 = W_{\text{H}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{k}} - t_{\text{n}})$$

$$Q_2 = 8772,3 \cdot 4,19 \cdot (95 - 45) = 1837796,85 \text{ кДж/ч,}$$

где  $W_{\text{H}}$  – масса воды в мокром полотне бумаги, поступающая на сушку;

$C_{\text{в}} = 4,19$  кДж/кг·град – теплоемкость воды.

$$Q_3 = W_{исп} \cdot (i - C_v \cdot t_c)$$

$$Q_3 = 8349,89 \cdot (2662 - 4,19 \cdot 90) = 19078663,66 \text{ кДж/ч},$$

где  $W_{исп}$  – количество влаги, испаряемое в сушильной части;

$i = 2662 \text{ кДж/кг}$  – теплосодержание пара, удаляемого из бумажного полотна при средней температуре сушки;

$t_c = 90 \text{ }^\circ\text{C}$  – средняя температура сушки (принимается близкой к температуре бумаги после сушки).

$$Q_{пол} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_{пол} = 391900,32 + 1837796,85 + 19078663,66 = 21308360,83,$$

$$\text{или } \frac{21308360,83}{6617,7} = 3219,9 \text{ кДж/ч};$$

$$L = \frac{W'_{исп}}{(\lambda_k - \lambda_n)},$$

$$L = \frac{3757,45}{(0,1 - 0,017)} = 45270,48 \text{ кг/ч}$$

Потери тепла с газом:

Принимаем потери тепла в окружающую среду 15 %:

$$Q_{уход} = Q \cdot 0,15 = 21308360,83 \cdot 0,15 = 3196254,12 \text{ кДж/ч}$$

Количество газа которое необходимо сжечь:

$$G_r = \frac{(Q_{пол} + Q_{уход})}{Q_{рн} \cdot \eta}$$

$$G_r = \frac{21308360,83 + 3196254,12}{35600 \cdot 0,7} = \frac{24504614,95}{24920} = 983,33 \text{ кг/ч}$$

$$\text{или } V_r = \frac{G_r}{P_{воз}} = \frac{983,33}{0,72} = 1365,736 \text{ м}^3$$

Количество воздуха, которое необходимо смешивать с сушильным газом для достижения температуры  $450 \text{ }^\circ\text{C}$ , равняется:

$$V_r \cdot 101,5 = 1365,736 \cdot 101,5 = 138622,2 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Общий объем воздуха, поступающего в сушильную камеру, составит:

$$V_{общ} = \frac{L}{P_{возд}} = \frac{45270,48}{1,29} = 35093,39 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Расход пара на сушку. Полезное тепло:

$Q_1$  – расход тепла на нагрев абсолютно сухой бумаги;

$Q_2$  – расход тепла на нагрев воды поступающей в сушильную часть;

$Q_3$  – расход тепла на испарение влаги.

$$Q_1 = G \cdot C_b \cdot (t_k - t_n)$$

$$Q_1 = 4354,45 \cdot 1,26 \cdot (95 - 45) = 274330,35 \text{ кДж/ч},$$

где  $G$  – количество а.с.в. поступающего в сушильную часть.

$$G = P \cdot T_k \cdot 0,7 = 6617,7 \cdot 0,94 \cdot 0,7 = 43354,45$$

$C_{\delta} = 1,22 - 1,3$  кДж/кг – теплоемкость абсолютно сухой бумаги,  
 $t_n, t_k$  – температура бумаги до и после сушки.

$$Q_2 = W_n \cdot C_B \cdot (t_k - t_n)$$

$$Q_2 = 5014,85 \cdot 4,19 \cdot (95 - 45) = 1050611,075 \text{ кДж/ч,}$$

где  $W_n$  – масса воды в мокром полотне бумаги поступающая на сушку

$$W_n = W_{\text{исп.с.}} - W_{\text{исп.г.}} + W_k$$

$$W_n = 8349,89 - 3757,45 + 422,41 = 5014,85 \text{ кг/ч}$$

$C_{\delta} = 4,19$  кДж/кг·град – теплоемкость воды

$$Q_3 = W_{\text{исп}} \cdot (j - C_B \cdot t_c)$$

$$Q_3 = 5014,85 \cdot (2662 - 4,19 \cdot 90) = 11458430,76 \text{ кДж/ч,}$$

где  $j = 2662$  кДж/кг – теплосодержание пара, удаляемого из бумажного полотна при средней температуре сушки  $90^{\circ}\text{C}$ .

$t_c = 90^{\circ}\text{C}$  – средняя температура сушки.

$$Q_{\text{пол}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_{\text{пол}} = 274330,35 + 1050611,075 + 11458430,76 = 12783372,19 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{или } \frac{12783372,19}{4354,45} = 2935,7 \text{ кДж/кг}$$

Потери тепла:

а) Тепловые потери днищем Янки-цилиндра ( $q_1$ ), кДж/ч:

$$q_1 = 2 \cdot F \cdot K \cdot (t_n - t_{\delta})$$

где  $q_1$  – тепловые потери днищем янки-цилиндра, кДж/ч;

$F$  – торцевая поверхность цилиндра,  $\text{м}^2$ :

$$F = \pi R^2;$$

$$F = \pi R^2 = 3,14 \cdot 1,83 \cdot 1,83 = 10,52 \text{ м}^2;$$

$K$  – коэффициент теплопередачи воздуха через торцевую поверхность (стенку) цилиндра,  $\text{Вт/м}^2\text{C}$ ;

$t_n$  – температура пара в цилиндре,  $\text{C}^{\circ}(= 200^{\circ}\text{C})$ ;

$t_{\delta}$  – температура окружающего воздуха,  $\text{C}^{\circ}(= 70^{\circ}\text{C})$ ;

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплопередачи от греющего пара к стенке цилиндра ( $= 5815 \text{ Вт/м}^2\text{C}^{\circ}$ );

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности стали ( $= 60,5 \text{ Вт/мC}^{\circ}$ );

$\delta$  – толщина стенки сушильного цилиндра ( $0,035 \text{ м}$ );

$\alpha_2$  – коэффициент теплопередачи от стенки цилиндра бумаге,  $\text{Вт/м}^2\text{C}^{\circ}$ :

$$\alpha_2 = 5,58 + 3,95 \cdot \nu,$$

где  $\nu$  – скорость воздуха (ср.) на поверхности днища цилиндра,  $\text{м/сек}$ .

Принимаем ее равной половине максимальной рабочей скорости машины:

$$v = \frac{v_{\text{раб. скор. маш.}}}{2 \cdot 60};$$

$$v = \frac{1350}{2 \cdot 60} = 11,25;$$

$$\alpha_2 = 5,58 + 3,95 \cdot 11,25 = 50,02 \text{ Вт/м}^2\text{с}^0;$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,035}{60,5} + \frac{1}{50,02}} = \frac{1}{0,020652} = 48,42 \text{ Вт/м}^2\text{с}^0;$$

$$q_1 = 2 \cdot 10,52 \cdot 48,42 \cdot (200 - 70) = 132438,38 \text{ кДж/ч.}$$

б) Тепловые потери с открытой боковой поверхностью Янки-цилиндра, не покрытой бумагой ( $q_2$ ), кДж/ч:

$$q_2 = K \cdot \pi \cdot d \cdot [(1 - \beta) \cdot B_{\text{Ц}} + \beta (B_{\text{Ц}} - B_{\text{Н}})] \cdot (t_n - t_{\text{в}}),$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи от греющего пара бумаге, Вт/м<sup>2</sup>с<sup>0</sup>;

$d$  – диаметр Янки-цилиндра (= 3,66 м);

$\beta$  – коэффициент обхвата бумажным полотном сушильного цилиндра (= 0,8–0,85);

$B_{\text{Н}}$  – необрезная ширина бумаги, м (= 4300);

$B_{\text{Ц}}$  – ширина Янки-цилиндра ( $B_{\text{Н}} + 200$  мм);

$t_n$  – температура пара в цилиндре (= 200 °С);

$t_{\text{в}}$  – температура наружного воздуха (= 70°С);

$$B_{\text{Ц}} = 4300 + 200 = 4500 \text{ мм} = 4,5 \text{ м};$$

$$q_2 = 48,42 \cdot 3,14 \cdot 3,66 [(1 - 0,8) \cdot 4,5 + 0,8(4,5 - 4,3)] \cdot (200 - 70) = 76680,46 \text{ кДж/ч.}$$

в) Тепловые потери боковой поверхностью Янки-цилиндра, покрытые бумагой ( $q_3$ ), кДж/ч:

$$q_3 = K \cdot \pi \cdot d \times B_{\text{Н}} \cdot \beta (t_n - t_{\text{в}});$$

$$q_3 = 48,42 \cdot 3,14 \cdot 3,66 \cdot 4,3 \cdot 0,8 \cdot (200 - 70) = 248849,81 \text{ кДж/ч}$$

Всего тепловые потери составят:

$$Q_{\text{пот}} = q_1 + q_2 + q_3;$$

$$Q_{\text{пот}} = 132438,38 + 76680,46 + 248849,81 = 457968,65 \text{ кДж/ч}$$

Полезный расход тепла на сушку бумаги:

$$Q_{\text{пол}} = Q_1 + Q_2 + Q_3,$$

где  $Q_1$  – количество тепла для нагрева абс.сух.волокна, находящегося в воздушно-сухой бумаге; кДж/ч

$Q_2$  – количество тепла для нагрева воды в мокром полотне, поступающем на сушку; кДж/ч

$Q_3$  – количество тепла, необходимое для испарения воды из воздушно-сухой бумаги; кДж/ч

$$Q_{пол} = 12783372,19 + 21308360,83 = 34091733,02 \text{ кДж/ч,}$$

$$\text{или } Q_{пол} = 34091733,02 / 6617,7 = 5151,6 \text{ кДж/кг}$$

$$Q_{пот} = 3196254,12 + 457968,65 = 3654222,77 \text{ кДж/ч.}$$

Следовательно:

$$Q_{общ} = Q_{пол} + Q_{пот} ; \text{ кДж/ч}$$

$$Q_{общ} = 34091733,02 + 3654222,77 = 37745955,79 \text{ кДж/ч,}$$

$$\text{или } Q_{общ} = 37745955,79 / 6617,7 = 5703,79 \text{ кДж/кг}$$

Термический коэффициент полезного действия сушильной части машины:

$$\eta = \frac{Q_{пол}}{Q_{общ}} \cdot 100 \%;$$

$$\eta = \frac{5151,6}{5703,79} \cdot 100 \% = 90,3 \%$$

При давлении свежего пара  $3,43 \cdot 10^5$  Па (теплосодержание 2731,5 кДж/кг)

удельный расход пара на 1 кг бумаги составит :

$$D = \frac{Q_{общ}}{i - c \cdot t} ; \text{ кг/кг ,}$$

где  $i = 2731,5$ ;

$c = 4,19$ ;

$t = 138,19$  °С.

$$D = \frac{5703,79}{2731,5 - 4,19 \cdot 138,19} = 2,6 \text{ кг/кг}$$

При потерях в трубопроводе 5 %, фактический расход пара на 1 кг бумаги составит  $2,6 \cdot 1,05 = 2,73$  кг/кг.

## 11. РАСЧЕТ И ПОДБОР НАСОСОВ

### 11.1. Расчет и подбор вакуумных насосов

Вакуумные насосы применяются для создания разряжения в отсасывающих ящиках, в камерах отсасывающего гауч-вала, пересасывающего вала, в камерах прессовых валов, сукномойках.

Производительность вакуумных насосов определяют по методу удельной производительности, т.е. по производительности насоса, приходящейся на 1 м ширины 1 м/мин скорости машины.

Производительность вакуумного насоса равна:

$$Q_n = \frac{k \times B \times v}{1000} \text{ м}^3 / \text{мин,}$$

где  $k$  – удельная производительность, л/мин;

$B$  – ширина машины, м;

$v$  – скорость машины, м/мин.

Таблица 28 – Удельная производительность и величина необходимого вакуума

Обезвоживающие элементы	К, л/мин	Вакуум, МПа
Отсасывающие ящики	18	0,02-0,03
Гауч-вал:		
Первая камера	35	0,05-0,06
Вторая камера	40	0,06-0,07
Пересасывающий и передаточный вал	30	0,04-0,06
1-й и 2-й отсасывающие прессы	35	0,06-0,07
Вальцовая отсасывающая сукномойка	20	0,02-0,03

Для бумагоделательной машины обрезающей ширины 6300 мм, шириной сетки 7100 мм, максимальной рабочей скорости 750 м/мин и имеющей пересасывающее устройство, 2 отсасывающих прессы, необходимо установить следующие вакуумные насосы:

1. Вакуумный насос отсасывающих ящиков:

$$Q_n = \frac{18 \times 7,1 \times 600}{1000} = 76,68 \text{ м}^3/\text{мин}$$

К установке принимаем насос типа БМ 118/345:  $Q = 118 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;  $N = 22 \text{ кВт}$

2. Вакуумный насос первой камеры гауч-пресса:

$$Q_n = \frac{35 \times 7,1 \times 600}{1000} = 149,1 \text{ м}^3/\text{мин}$$

К установке принимаем насос типа БМ 190/10  $Q = 190 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;  $N = 15 \text{ кВт}$

3. Вакуумный насос второй камеры гауч-пресса:

$$Q_n = \frac{40 \times 7,1 \times 600}{1000} = 170,4 \text{ м}^3/\text{мин}$$

К установке принимаем насос типа БМ 118/345  $Q = 190 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;  $N = 15 \text{ кВт}$

4. Вакуумный насос пересасывающего устройства:

$$Q_n = \frac{30 \times 7,1 \times 600}{1000} = 127,8 \text{ м}^3/\text{мин}$$

К установке принимаем насос типа БМ 118/345  $Q = 190 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;  $N = 15 \text{ кВт}$

5. Вакуумный насос первого прессы:

$$Q_n = \frac{35 \times 7,1 \times 600}{1000} = 149,1 \text{ м}^3/\text{мин}$$

К установке принимаем насос типа БМ 118/345  $Q = 190 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;  $N = 15 \text{ кВт}$

6. Вакуумный насос второго прессы:

$$Q_n = \frac{35 \times 7,1 \times 600}{1000} = 149,1 \text{ м}^3/\text{мин}$$

К установке принимаем насос типа БМ 118/345  $Q = 190 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;  $N = 15 \text{ кВт}$

Характеристики вакуумных насосов приведены в таблице 29.

Таблица 29 – Характеристика вакуумных водокольцевых насосов (ВВН) и установок (УНВ)

Наименование, тип, модель	Производительность, м <sup>3</sup> /мин	Давление всасывания, МПа	Мощность, кВт	Масса, кг
ВВН 1-0,75	0,75	0,04	2,2	90
ВВН 1-1,5	1,75	0,04	2,8	134
ВВН 1-3	3,3	0,04	5,16	280
ВВН -3Н	3,2	0,03	5,6	380
ВВН 1-6	6,0	0,04	9,6	590
ВВН 1-12	12,2	0,04	18,6	890
ВВН 2-50М	50,0	0,02	70	3500
ВВН 2-150	135	0,02	216	13300
ВВН 2-300	320	0,02	475	21000
УНВ-01	9	-	22	810
УНВ-02	15	-	37	1360
УНВ-03	22	-	55	2730
УНВ-04	31	-	75	3270
УНВ-05	57	-	110	6110
ДВВН-150	150	-	250	-

## 11.2. Расчет и подбор центробежных насосов

Для перемещения по трубопроводам бумажной массы, волокнистых полуфабрикатов, воды и растворов химикатов используются в основном центробежные насосы различного назначения. Место установки и количество насосов определяются конкретной технологической схемой и видом вырабатываемой продукции.

Как правило, центробежные насосы используются для:

- Поддачи полуфабрикатов (целлюлозы, древесной массы) из размольно-подготовительного отдела в композиционный бассейн;
- Поддачи массы из гидроразбивателя, гауч-мешалки, сортировки в бассейн оборотного брака;
- Поддачи массы из бассейна оборотного брака в композиционный бассейн;
- Поддачи массы из композиционного бассейна в машинный;
- Поддачи массы на центрклинеры;
- Разбавления массы оборотной водой и поддачи ее в напорный ящик (смесительный насос);
- Поддачи теплой воды на промывку прессовых сукон;
- При приготовлении суспензии наполнителей, растворов химикатов, красителей, проклеивающих веществ.

При заданной производительности расчет насосной установки осуществляется следующим образом:

1. В зависимости от вида перекачиваемой жидкости или концентрации волокнистой суспензии выбирается скорость движения и рассчитывается диаметр трубопровода.
2. Рассчитывается гидравлическое сопротивление системы.
3. Определяется мощность, потребляемая насосом и насос подбирается по каталогу.

При расчете диаметра трубопровода, выбирается скорость движения жидкости, пара или газа, руководствуясь установленными практикой пределами, м/с:

Вода и другие, чистые и маловязкие жидкости

(растворы кислот, щелочей) .....1-3

Вязкие жидкости (смола, масла, суспензии наполнителей).....0,5-1,0

Волокнистые суспензии концентрацией, %:

до 3 .....1,0-2,5

3-10.....0,5-1,0

свыше 10.....до 0,5

газ:

при естественной тяге.....4-6

под давлением .....15-25

насыщенный водяной пар.....20-30

перегретый пар.....до 60

Скорость потока и диаметр трубопровода связаны между собой уравнением расхода:

$$Q = W \cdot S = W \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) = 0.785 \cdot W \cdot d^2,$$

где Q – расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;

W – скорость движения, м/с;

D – диаметр трубопровода, м

Рассчитывается внутренний диаметр трубопровода, выбирают ближайший по стандартному каталогу (табл. 30).

При прокладке стальных труб можно ориентироваться на ниже приведенные параметры труб – условных проход, (номинальный внутренний диаметр) и наружный диаметр, мм.

Таблица 30 – Каталог стандартных диаметров трубопровода

Условный проход	Наружный диаметр	Условный проход	Наружный диаметр
15	20	200	219
20	25	250	273
25	32	300	325
32	38	350	377
40	45	400	426
50	57	500	530
65	76	600	630
80	89	700	720
100	108	800	820
125	133	900	920
150	139	1000	1030

Материал труб (стали) выбирают в зависимости от свойств перекачиваемой жидкости. Для воды и сходных с ней по свойствам неагрессивных жидкостей используют углеродистые стали, для агрессивных сред – коррозионно-стойкие легированные стали с добавками никеля, хрома, молибдена, ванадия и титана.

При детально известной технологической схеме производство продукции (длина трубопровода, геометрическая высота подъема, виды количество местных сопротивлений) или проверочном расчете гидравлическое сопротивление рассчитывается:

$$\Delta p_c = (W^2 * \rho / 2) * (1 + \lambda * L / d + \sum \xi_{м.с.}) + \rho * g * H_r + \Delta p_{доп},$$

где  $\Delta p_c$  – гидравлическое сопротивление сети, Па;

$\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$\lambda$  – коэффициент трения;

$\sum \xi_{м.с.}$  – сумма местных сопротивлений;

$H_r$  – геометрическая высота подъема, м;

$\Delta p_{доп} = \rho_1 - \rho_0$  – дополнительный перепад давления ( $\rho_0$  – давление всасывания,  $\rho_1$  – нагнетания), Па.

Потери напора рассчитывают по уравнению:

$$H_c = 1,2 (W^2 / 2g) * (1 + 0,03 L / d) + H_r + \Delta p_{доп} / \rho * g, \text{ м}$$

Насос подбирается по каталогу по двум параметрам: производительности и напору с запасом 15–20 %. Мощность, которую должен развивать электродвигатель насоса на входном валу, рассчитывают:

$$N = \frac{1.2 * Q * \Delta P c}{3600 * 1000 * \eta} = \frac{1.2 * Q * \rho * g * H c}{3600 * 1000 * \eta} = \frac{1.2 * Q * c * g * H c}{3600 \eta},$$

где N – мощность насоса, кВт;

Q – производительность (подача), м<sup>3</sup>/ч;

η – КПД, ед.

насос	центробежный	осевой	поршневой
КПД	0,4-0,7 (малая и средняя подача) 0,7-0,9 большая подача	0,7-0,9	0,65-0,85

Основные виды центробежных насосов представлены в таблицах 1 – 5 в приложении.

В качестве примера расчет насоса, для подачи массы из бассейна гауч-мешалки в композиционный бассейн.

**Исходные данные:**

количество сухого брака – 15,725 кг/ч;

влажность брака – 7 %;

концентрация массы – 2,5 %;

расстояние – 50 м;

геометрическая высота подъема – 10 м.

$$Q = \frac{1.3 * Q * (100 - w)}{c} = \frac{1.3 * 15.725 * 93}{2.5} = 760 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Принимаем скорость движения массы в трубопроводе 2,5 м/с. Диаметр трубы равен:

$$Q = w * S = 0,785 * d^2 * w$$

$$d = \frac{Q}{0.785w} = \left( \frac{760}{0.785 * 3600 * 2} \right)^{0.5} = 0,367 \text{ м}$$

Принимаем стандартный трубопровод с условным проходом 350 мм уточненная скорость:

$$w' = w * (d/d')^2 = 2 * (0,370/0,350)^2 = 2,2 \text{ м/с}$$

Потери напора:

$$H_c = 1,2 * (2,2^2/2 * 9,8) * (1 + 0,03 * 50/0,35) + 10 = 11,6 \text{ м}$$

Потребляемую мощность определяем по уравнению:

$$N = \frac{1,2 * Q * g * H_c}{3600 \eta} = \frac{1,2 * 760 * 11,6 * 9,8}{3600 * 0,7} = 41,1 \text{ кВт}$$

Принимаем к установке массный насос БМ 800/50 или два насоса БМ 530/22,4

## 12. РАСЧЕТ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ ПРИВОДА БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Расчет проводится по методу удельных показаний, по этому методу определяется фактическая потребляемая мощность, которая относится к 1 м ширины и 1 м скорости.

Расчет производится по формуле:  $N = K \times B_c \times v$ , кВт,

где  $K$  – удельный показатель расхода мощности,  $\frac{\text{кВт}}{\text{м/мин} \times \text{м}}$ ;

$B_c$  – ширина сетки, м;

$v$  – скорость машины, м/мин.

Удельная мощность определяется для каждой приводной секции и должна соответствовать типу машины (табл. 31). Удельный расход мощности бумагоделательной машины складывается из удельных мощностей отдельных секций.

**Пример расчета:** Приводными секциями бумагоделательной машины являются: гау-вал, сеткоповоротный вал, два сетководущих вала, вакуум-пересасывающий вал, два отсасывающих вала 1-го и 2-го прессов, желобчатый вал 3-го пресса, вал сглаживающего пресса, валы 4-х сукномоек. Сушильная часть состоит из 74 сушильных цилиндров, 12 сукносушильных цилиндров, 2 холодильных цилиндров. Бумага проходит клеевый пресс, два шестивальных каландра и наматывается в рулоны на периферическом накате.

Таблица 31 – Удельный расход в зависимости от типа бумагоделательной машины

п/п №	Секция привода	Типы машин по обрезной ширине, мм		
		1680;2520	4200;6300	6720;8400;10080
1	Гауч-вал	0,085	0,060	0,055
2	Поворотный вал	-	0,050	0,044
3	Сетководущий вал	-	0,01	0,004
4	Грудной вал	-	-	0,012
5	Пересасывающий вал	0,0047	0,006	0,0065
6	Пересасывающий пресс	-	0,030	-

7	Отсасывающий вал пресса	0,029	0,030	0,034
8	Желобчатый вал	-	0,043	-
9	Нижний вал мокрого пресса	-	-	0,020
10	Приводной вал башмачного пресса	-	0,043	0,043
11	Прижимной (верхний) вал пресса	0,008	0,008	0,008
12	Отсасывающий вал сукномойки	0,012	0,018	0,023
13	Прижимной (верхний) вал сукномойки	0,008	0,008	0,008
14	Цилиндр (бумагосушильный, сукносушильный, холодильный) на 1 м диаметра	0,002	0,0019	0,0023
15	Клеительный пресс	-	0,0077	0,0077
16	Сглаживающий пресс	0,0067	-	-
17	Каландр: -двухвальный -шестивальный -восьмивальный	0,0085 - - -	0,024 0,0044 0,053	0,024 0,0044 0,053
18	Накат	0,0077	0,02	0,01

Тогда К машины составит:

$$K = K_1 + K_2 + 2K_3 + K_5 + 2K_7 + K_8 + 4K_{11} + 4K_{12} + K_{13} * 75 * 1,5 + K_{14} + K_{15} + K_{16} + 2K_{17} + K_{18};$$

$$K = 0,060 + 0,050 + 2 * 0,01 + 0,006 + 2 * 0,030 + 0,043 + 4 * 0,020 + 4 * 0,008 + 0,0019 * 74 * 1,5 + 0,015 + 0,0077 + 0,007 + 2 * 0,044 + 0,02 = 0,6996$$

$$N = 6,9 * 650 * 0,6996 = 3137,71 \text{ кВт}$$

### 13. РАСЧЕТ И ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОБОРОТНОГО БРАКА

Оборотный брак, образующийся на бумагоделательной машине, делится на мокрый и сухой брак. Мокрый брак образуется на сеточном столе и в прессовой части, сухой брак образуется в сушильной части, на каландре, накате, резке и упаковке бумаги.

Для переработки мокрого брака на бумагоделательной машине устанавливают гауч-мешалку. Располагается она под гауч-валом. Для переработки сухого брака устанавливают гидроразбиватели: один под накатом, второй под продольно-резательным станком (ПРС).

Объем гауч-мешалки рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{Q_{бр.ч} * (100 - n) * T * 1.2}{C}, \text{ м}^3,$$

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

$n$  – влажность мокрого брака, %;

$T$  – время пребывания массы в гауч-мешалке, ч (стандартно 15-30 минут);

1,2 – коэффициент запаса заполнения гауч-мешалки;

$C$  – концентрация массы в гауч-мешалке, %.

*Производительность гидроразбивателя под накатом:*

$$Q_{гр} = Q_{бр.ч} * 24 * 0,8, \text{ т/сут},$$

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

24 – время работы гидроразбивателя, ч;

0,8 – коэффициент, учитывающий производительность гидроразбивателя (составляет от 80–100 % от суточной максимальной производительности бумагоделательной машины).

*Производительность гидроразбивателя под ПРС:*

$$Q_{гр} = \frac{\left(\frac{P}{1000}\right) * Q_{бр.ч} * 24}{K_c}, \text{ т/сут},$$

$P$  – количество абсолютно-сухого брака, образующегося на машине кг/ч;

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

$K_c$  – коэффициент сухости бумаги.

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

Кроме того, при расчете оборудования для переработки оборотного брака учитываем отсечки на сетке машины и кромки (а), отсекаемые на продольно-резательном станке (б). По отношению к полной производительности машины отсечки и кромки составляют:

$$Q_{отсечки \text{ и кромки}} = (a + б) * 100 V_n * 1000, \%$$

где  $a$  – отсечки и кромки на бдм;

$б$  – отсечки и кромки на продольно-резательном станке;

$V_n$  – необрезная ширина бдм;

$$Q_{бр} = Q_{бр.ч} * 0,06 + Q_{отсечки \text{ и кромки}}$$

В зале бумагоделательных машин предусматривается оборудование для предварительного роспуска мокрого брака (мешалка под гауч-валом) и сухого брака (гидроразбиватели). В приложении в таблицах 6 – 10 приведены технологические характеристики оборудования для переработки оборотного брака.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В настоящее время мировая бумажная промышленность выпускает более 6000 видов бумаги и бумажных изделий. Современные технологии позволяют эксплуатировать бумагоделательные машины на высоких скоростях. Для обеспечения безобрывной работы бумагоделательных машин необходимо знать и уметь эксплуатировать оборудование и уметь выполнять инженерные расчеты по нему.

В настоящем учебно-методическом пособии приведены методики и примеры расчета основных узлов бумагоделательных и картоноделательных машин и справочные данные по основному оборудованию для различных видов выпускаемой продукции.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основные расчеты по материальному балансу производства бумаги: учеб пособие / сост. Л. Н. Парамонова, А. С. Смолин. – ВШТЭ СПбГУПТД, СПб., 2018. – 47 с. – Текст: непосредственный.
2. Машины для производства бумаги и картона / под ред. Курова В. С., Кокушина Н. Н. – СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2017. – 646 с. – Текст: непосредственный.
3. Иванов, С. Н. Технология бумаги / С. Н. Иванов. – М.: Школа бумаги, 2006. – 695 с. – Текст: непосредственный.
4. Пузырев, С. С. Технология целлюлозно-бумажного производства. Сырье и производство полуфабрикатов. В 3 т. Ч. 3. Производство полуфабрикатов / С. С. Пузырев, Э. В. Виролайнен и др. – СПб.: Политехника, 2004. – 316 с. – Текст: непосредственный.
5. Комаров, В. И. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 2. Производство бумаги и картона. Ч. 1. Технология производства и обработки бумаги и картона / В. И. Комаров, Л. А. Галкина, Л. Н. Лаптев и др. – СПб.: Политехника, 2012. – 420 с. – Текст: непосредственный.
6. Гаузе, А. А. Оборудование для подготовки бумажной массы: учебник для вузов / А. А. Гаузе, В. Н. Гончаров, И. Д. Кугушев. – М.: Экология, 1992. – 352 с. – Текст: непосредственный.
7. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 1, ч. 2. Сырье и производство полуфабрикатов: справочные материалы. – СПб.: Политехника, 2003. – 633 с. – Текст: непосредственный.
8. Комаров, В. И. Механика деформирования целлюлозных тароупаковочных материалов: учебное пособие / В. И. Комаров, А. В. Гурьев, В. П. Елькин. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – 171 с. – Текст: непосредственный.
9. Фляте, Д. М. Свойства бумаги / Д. М. Фляте. – Изд. 4-е, испр. и доп. – СПб.: НПО «Мир и семья-95», ООО «Интерлайн», 1999. – 384 с. – Текст: непосредственный.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1 – Насосы центробежные для бумажной массы

Типоразмер насоса	Подача, м <sup>3</sup> /ч	Напор, м	Частота вращения, об/мин	КПД, %	Мощность, кВт	Предельная концентрация массы, %
БМ 40/16	40	16	1450	60	3,0	4
БМ 56/31,5	56	31,5	2060	56	9,0	2
БМ 67/22,4	67	22,4	1450	62	7,0	4
БМ 80/15	80	15	980	63	5,5	5
БМ118/31,5	118	31,5	1450	63	17,0	5
БМ 125/20	125	20	980	66	11,0	6
БМ 190/45	190	45	1450	66	37,0	6
БМ 190/10	190	10	980	69	8,0	8
БМ 236/28	236	28	980	68	28,0	7
БМ 315/15	315	15	980	70	19,5	8
БМ 355/63	355	63	1450	68	94,0	7
БМ 475/31,5	475	31,5	1450	70	61,5	8
БМ 530/22,4	530	22,4	980	72	47,5	8
БМ 800/50	800	50	1450	72	159,0	8
БМ 900/31,5	900	31,5	980	73	111,0	8
БМ 900/12,5	900	12,5	730	77	41,6	8
БМ 1320/71	1320	71	1450	73	367,0	8
БМ 1500/45	1500	45	980	73	264,0	8
БМ 1500/18	1500	18	730	78	99,0	8

Таблица 2 – Насосы центробежные смесительные

Типоразмер насоса	Подача, м <sup>3</sup> /ч	Напор, м	Частота вращения, об/мин	КПД, %	Мощность, кВт	Масса, кг
БС 100/100	100	100	2950	64	44	230
БС 160/100	160	100	2950	64	70	-
БС 200/50	200	50	1450	66	45	-
БС 200/31,5	200	31,5	1450	68	26	-
БС 315/50	315	50	1450	68	66	-
БС 400/22	400	22	980	76	33	-
БС 630/90	630	90	1450	68	235	-
БС 630/50	630	50	1450	76	115	-
БС 800/22	800	22	980	78	65	1250
БС 1250/50	1250	50	1450	80	220	-
БС 2000/22	2000	22	980	78	160	-
БС 2500/50	2500	50	730	81	430	6000
БС 4000/50	4000	50	730	81	680	6000
БС 4000/22	4000	22	730	77	300	-
БС 8000/22	8000	22	485	83	590	1400
БС 10000/22	10000	22	485	86	700	1400

Таблица 3 – Насосы динамические для сточных жидкостей

Типоразмер насоса	Подача, м <sup>3</sup> /ч	Напор, м	Частота вращения, об/мин	КПД, %	Мощность, кВт
СД 16/25	16	25	2900	49	2,5
СД 16/10		10	1450	54	0,9
СД 25/14	25	14		2900	58
СД 32/40	32	40	1450		54
СД 50/56	50	56		2900	58
СД 50/22,5		22,5	1450		61
СД 50/10		10		80	45
СД 80/32	80	32	2900		63
СД 80/32				63	12,0

СД 80/18	80	18	1450	62	6,8
СД 100/40	100	40	2900	61	19,0
СД 160/45	160	45	1450	64	32,0
СД 160/10		10	960	63	7,5
СД 250/63	250	63	1450	65	70,0
СД 250/40		40		63	45,5
СД 250/22,5		22,5		63	25,5
СД 250/14		14	960	64	16,0
СД 450/95	450	95	1450	61,5	200,0
СД 450/56		56	1450	64	113,0
СД 450/22,5		22,5	960	65	45,0
СД 450/10		10	730	72	17,0
СД 800/32	800	32	960	66	111,0
СД 800/14		14	730	73	42,0
СД 1400/56	1400	56	960	67	330,0
СД 1400/18		18	730	74	97,0
СД 2400/75	2400	75	750	66,5	750,0
СД 2700/26,5	2700	26,5	740	74	275,0
СД 3600/80	3600	80	750	80	1030,0
СД 4000/28	4000	28	368	72	445,0
СД 7200/80	7200	80	600	80	2060,0
СД 7200/29		29	485	74,5	800,0
СД 9000/63	9000	63	500	83	1950,0
СД 9000/45		45		80	1380,0

Примечания:

1. Коэффициент полезного действия насосов с рабочими колесами, которые имеют отбойные лопатки, или насосов с открытыми рабочими колесами или полупогруженных насосов, допускается на 6 % менее указанного.
2. Насосы с подачей свыше 2500 м<sup>3</sup>/ч должны изготавливаться только вертикальными.

Таблица 4 – Насосы центробежные для химических производств

Типоразмер насоса	Подача		Напор, м	Частота, кВт/ч	КПД, %	Частота вращения об/мин	Высота всасывания, м
	м <sup>3</sup> /ч	л/с					
X2/25	2	0,56	25	1,1	15	3000	5
X3/40	3	0,80	40	2,0	22	2900	5
X8/18	8	2,20	18	1,3	40	2900	5
X8/30	8	2,20	30	1,6	43	2900	5
X20/18	20	5,50	18	2,2	60	2900	5
X20/31	20	5,50	31	4,1	54	2900	5
X20/53	20	5,50	53	5,7	50	2900	5
X45/21	45	12,5	21	3,9	66	2900	5
X45/31	45	12,5	31	7,3	65	2900	5
X45/90	45	12,5	90	20,0	56	2900	5
X45/90a	42	11,70	80	18,0	54	2900	5
X45/90б	39	10,80	70	17,0	52	2900	5
X90/19	90	25,0	19	6,5	75	2900	5
X90/19a	79	22,0	15	4,3	75	2900	5
X90/33	90	25,0	33	12,7	70	2900	5
X90/33a	79	22,0	27	9,0	70	2900	5
X90/49	90	25,0	49	14,0	74	2900	6
X90/49a	83	23,0	42	18,0	74	2900	6
X90/85	90	25,0	85	32,0	65	2900	6
X90/85a	83	23,0	72	28,0	65	2900	6
X90/85б	76	21,0	61	20,0	65	2900	6
X90/140	90	25,0	140	72,0	48	2900	6
X90/140a	82	22,8	120	57,0	48	2900	6
X90/140б	75	20,8	100	42,0	48	2900	6
X160/49/2	160	45,0	49	31,0	75	2900	8
X160/49/2a	137	38,0	37	19,0	75	2900	8
X160/29	160	45,0	29	19,0	75	1450	8
X160/29a	145	40,0	23	14,0	72	1450	5
X280/29	280	80,0	29	30,0	77	1450	5
X280/29a	256	71,0	23	21,0	77	1450	6

X280/72	280	80,0	72	90,0	70	1450	6
X500/25	540	150	25	75,0	80	960	6
X500/37	540	150	37	160,0	70	960	6

Таблица 5 – Насосы центробежные общего назначения для воды

Типоразмер насоса	Подача		Напор, м	Частота вращения об/мин	КПД, %	Мощность, кВт
	м <sup>3</sup> /ч	л/с				
К8/18	8	2,2	19	2900	51	0,8
К20/18	20	5,5	18	2900	67	1,45
К20/30	20	5,5	30	2900	63	2,65
К45/30	45	12,5	30	2900	70	5,4
К45/55	45	12,5	55	2900	64	10,5
К90/20	90	25	20	2900	78	6,5
К90/35	90	25	35	2900	77	11
К90/55	90	25	55	2900	73	18,5
К90/85	90	25	85	2900	65	33
К160/20	160	44,5	20	1450	81	10,9
К160/30	160	44,5	30	1450	78	18
К290/18	290	80,5	18	1450	84	16,5
К290/30	290	80,5	30	1450	82	28
Д200/36	200	55	36	1450	72	35
Д200/95	200	55	95	2950	70	80
Д320/50	320	89	50	1450	76	60
Д320/70	320	89	70	2950	78	85
Д500/65	500	140	65	1450	76	130
Д630/90	630	175	90	1450	80	230
Д800/57	800	220	57	1450	83	170
Д1000/40	1000	280	40	980	87	150
Д1250/65	1250	350	65	980	86	260
Д2000/21	2000	555	21	980	86	150
Д2000/100	2000	555	100	980	75	760
Д2500/62	2500	594	62	980	87	500

Окончание табл. 5

Д3200/33	3200	889	33	980	88	400
Д3200/75	3200	889	75	980	87	800
Д4000/95	4000	1111	95	980	88	1350
Д5000/32	5000	1389	32	730	83	500
24НС 38/44...220	38	10,6	44...220	2950	65-68	7,5...35
ЦНС 60/66...330	60	16,6	66...330	2950	70	17...87

Таблица 6 – Технические характеристики гидроразбивателей горизонтального типа

Параметры	ГРГ-1,5	ГРГ-3
Производительность при непрерывной работе, т/сут	6	15
Вместимость ванны, м <sup>3</sup>	1,5	3
Диаметр отверстий сита, мм	12,16,20,24	12,16,20,24
Крыльчатка:		
Диаметр, мм	450	600
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	500	500
Мощность электродвигателя, кВт	15	37
Масса, кг	890	2100
Габаритные размеры, мм:		
длина	2285	2900
ширина	2287	2500
высота	1592	2100

Таблица 7 – Технические характеристики гидроразбивателей вертикального типа

Параметры	ГРВн-6	ГРВн-12	ГРВн-16	ГРВн-124	ГРВн-32
Производительность при непрерывной работе, т/сут	18...60	30...120	45...160	75...240	120...320
Вместимость ванны, м <sup>3</sup>	6	12	16	24	32
Диаметр отверстий сита, мм	3,6,12	6,12,20,24	6,12,20,24	6,12,20,24	6,12,20,24
Условный проход патрубков для выхода готовой массы, DN	200	300	300	300	300
Мощность электродвигателя, кВт	75	90	160	315	315

Таблица 8 – Технические характеристики установок для переработки мокрого брака

Параметры	Вместимость ванны, м <sup>3</sup>			
	с рабочими органами на горизонтальном валу		с рабочими органами на консольном валу	
	12	16-18	16	20
Количество пропеллеров, шт	2	4	1	2
Диаметр пропеллера, мм	840	840	900	900
Частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup>	350	290...300	220	220
Мощность электродвигателя, кВт	30	75-90	30	230

Окончание табл. 8

Габаритные размеры, мм:				
длина	1700	1750	1350	2000
ширина	2500	4900	3000	5000
высота	2100	2100	2300	2300
Масса, кг	4500	8200	3700	6100

Таблица 9 – Техническая характеристика установок для переработки сухого брака

Параметры	Вместимость ванны, м <sup>3</sup>				
	4	8,12	16	36	32,40,50
Диаметр пропеллера, мм	600	850	1050	1050	1450
Количество роторных агрегатов, шт	1	1	1	2	2
Частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup>	500	400	270	330	235
Мощность электродвигателя, кВт	37	110-132	110-132	2*160	2*200
Габаритные размеры, мм:					
длина	950	2000	2000	2600	3450
ширина	2100	3300	3000	4700	6750
высота	1900	1900	2400	2400	2750
Масса, кг	4500	6000	9000	12000	16000-22000

Таблица 10 – Техническая характеристика гидроразбивателей

Модель	Производительность, т/сут	Вместимость ванны, м <sup>3</sup>	Мощность двигателя, кВт
Sunds IP11	20	2,0	37
Sunds IP12	40	3,7	55
Sunds IP21	90	7,5	75
Sunds IP22	130	13	90
Sunds IP23	160	17	110
Sunds IP31	200	24	132
Sunds IP32	240	31	160
Sunds IP33	290	40	200
Mitsubishi Beloit 375	4,0	2,8	45
Mitsubishi Beloit 500	5,3	3,7	55
Mitsubishi Beloit 750	8,6	6,0	75
Mitsubishi Beloit 1000	10,8	7,5	90
Mitsubishi Beloit 1500	15,8	11,5	110
Mitsubishi Beloit 2000	21,6	15	150
Mitsubishi Beloit 3000	32,4	22,5	185
Mitsubishi Beloit 4000	43,2	30	220
Mitsubishi Beloit 6000	64,8	45	300

Учебное издание

Смирнова Екатерина Григорьевна  
Кейзер Павел Матвеевич  
Симонова Елена Игоревна  
Малютина Дарья Игоревна

**Государственная итоговая аттестация**  
**Основные технологические расчеты выпускной**  
**квалификационной работы**

*Учебно-методическое пособие*

Редактор и корректор М. Д. Баранова  
Техн. редактор Д. А. Романова

Темплан 2024 г., поз. 5010

---

Подписано к печати 29.01.2025.	Формат 60x84/16.	Бумага тип № 1.
Печать офсетная.	Печ. л. 6,1.	Уч.-изд. л. 6,1.
Тираж 50 экз.	Изд. № 8.	Цена «С».
		Заказ №

---

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