

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**Санкт-Петербургский государственный технологический  
университет растительных полимеров**

---

**Ю.Н.Швецов, Э.А.Смирнова**

**РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ БУМАГО- И  
КАРТОПОДЕЛАТЕЛЬНЫХ  
МАШИН**

**Учебно-методическое пособие**

Санкт-Петербург  
2009

**Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный  
технологический университет  
растительных полимеров»**

**Ю.Н.Швецов, Э.А.Смирнова**

**РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
БУМАГО- И КАРТОНОДЕЛАТЕЛЬНЫХ  
МАШИН**

**Учебно-методическое пособие**

**Санкт-Петербург**

**2009**

УДК 676:05(07.07)

Расчет основных параметров бумаго- и картоноделательных машин: учебно-методическое пособие /сост. Ю.Н.Швецов, Э.А.Смирнова; ГОУВПО СПбГТУРП. - СПб., 2009. – 64 с.

Приводится описание методик расчета конструктивных параметров, обезвоживания и мощности на привод основных частей бумаго- и картоноделательных машин.

Предназначено для студентов различных факультетов (химико-технологического, механики автоматизированных производств, экономики и менеджмента, автоматизированных систем управления технологическими процессами) дневной и заочной форм обучения при выполнении разнообразных видов самостоятельных заданий: контрольных работ, курсовых и дипломных проектов.

Рецензенты: генеральный директор ЦНИИБуммаш-инжиниринг  
В.И.Макаров;  
профессор кафедры процессов и аппаратов химической технологии Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии им. С.М.Кирова, доктор технических наук Н.Н.Калинин.

Подготовлено и рекомендовано к печати кафедрой машин автоматизированных систем ГОУВПО Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров (протокол № 1 от 3 сентября 2009 г.).

Утверждено к печати методической комиссией факультета механики автоматизированных производств ГОУВПО Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров (протокол № 1 от 23 сентября 2009г.).

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом в качестве учебно-методического пособия.

© Швецов Ю.Н., Смирнова Э.А., 2009

© ГОУВПО Санкт-Петербургский  
государственный технологический  
университет растительных полимеров,  
2009

## Содержание

Введение.....	4
1. Определение основных параметров бумаго- и картоноделательных машин.....	—
2. Компоновка обезвоживающих элементов на плоскосеточной части .....	8
3. Определение длины сеточной части методом удельных съемов... ..	13
4. Расчет обезвоживания на сеточной части .....	14
4.1. Подготовка исходных данных для расчета обезвоживания на регистровой части .....	15
4.1.1. Конструктивные исходные данные .....	17
4.1.2. Технологические исходные данные .....	19
4.2. Расчет обезвоживания на отсасывающей части .....	23
5. Компоновка прессовой части .....	26
5.1. Выбор схемы прессовой части .....	—
5.2. Расчет сухости полотна в прессовой части .....	29
6. Определение числа сушильных цилиндров сушильной части... ..	33
7. Расчет мощности на привод отдельных частей бумаго- и картоноделательных машин .....	35
7.1. Метод тяговых усилий .....	—
7.2. Метод удельных показателей .....	46
Приложения .....	49
Библиографический список.....	64

## Введение

Выполнение различных видов самостоятельных заданий по курсам, изучаемым студентами на кафедре машин автоматизированных систем, является важной составной частью при их изучении. Именно здесь, основываясь на теоретических представлениях о процессах, протекающих в различных частях бумаго- и картоноделательных машин (БКДМ), а также владея методиками расчета отдельных деталей и узлов оборудования, студент приобретает навыки, необходимые для освоения сути процессов, происходящих на машине при выработке продукции.

Учитывая учебный характер заданий, расчеты предлагается проводить для машин средних параметров по ширине, скорости и производительности. Однако, освоив эти методы, можно беспрепятственно переходить к аналогичным расчетам машин любых конструкций и рабочих параметров.

В приложениях помещены некоторые примеры расчетов (Приложения 1-3) и требования (Приложения 4,5), которые необходимо выполнять при оформлении всех видов контрольных заданий.

### 1. Определение основных параметров бумаго- и картоноделательных машин

При выполнении самостоятельной работы студент получает в качестве исходных данных вид продукции и производительность БКДМ.

Основными параметрами, кроме производительности  $Q$ , являются ширина  $B$  (м) и рабочая скорость  $V_p$  (м/мин) БКДМ. Взаимосвязь этих параметров выражается зависимостью [1,2]

$$Q = 0,06 \times B \times V_p \times q \times K_1 \times K_2 \times K_3, \quad \text{кг/сут}, \quad (1.1)$$

где  $q$  – масса  $1\text{ м}^2$  продукции, г;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий холостой ход и брак при резке и отделке бумаги;

$K_2$  – коэффициент использования скорости машины;

$K_3$  – расчетное число часов работы машины в сутки, ч.

Ширина БКДМ, в зависимости от вида продукции, выбирается согласно данным, приведенным в табл. 1.1, значения коэффициентов  $K_1, K_2, K_3$  - в соответствии с данными табл. 1.2, масса  $1\text{ м}^2$  – согласно ГОСТу или ТУ на заданный вид продукции [3,5].

Естественно, что отсутствие опыта не позволяет обучающемуся оценить, правильно ли выполнено определение основных параметров. Оценить рассчитанную рабочую скорость и ее взаимосвязь с шириной и производительностью студент должен, исходя из приобретенных ранее практических знаний во время прохождения различного вида практик или из данных, приведенных в табл. 1.3, 1.4 [1].

Таблица 1.1

Рекомендуемая обрезная ширина машин

Вид продукции	Обрезная ширина, мм
Бумага газетная	4200, 5300, 6720, 8400, 10080
Бумага офсетная, писчая, иллюстрационная, основа для мелования	2100, 2520, 3200, 3750, 4200, 5300, 6300, 8400
Бумага для глубокой печати	2100, 2520, 3200, 3750, 4200, 5300, 6300
Бумага мешочная, оберточная	1250, 2520, 4200, 5300, 6300
Бумага для гофрирования	1250, 2520, 4200, 6300, 8400, 10500
Бумага санитарно-гигиеническая	2100, 4200, 5300, 6300
Бумага конденсаторная	1680, 2520, 4200
Бумага кабельная, сигаретная, папиросная	2100, 2520, 4200
Бумага электроизоляционная, телефонная	2520, 4200
Бумага афишная, билетная	3200, 4200
Бумага обойная	1680, 2100, 2520, 3750, 4200, 6300
Картон для гладких слоев гофрированного картона	1250, 4200, 6300, 8400, 10500
Картон коробочный	1250, 2100, 4200, 6300
Картон кровельный	2100, 4200

Таблица 1.2

Нормы технологического проектирования предприятий целлюлозно-бумажной промышленности

Наименование показателей	Газетная	Офсетная, писчая	Мешочная, оберточная	Бумага для гофрирования, картон для гладких слоев	Коробочный картон
Коэффициент, учитывающий холостой ход брак, $K_1$	0,92	0,92	0,965	0,975	0,975
Коэффициент использования скорости машины, $K_2$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Суточное число часов работы, $K_3, ч$	22,5	22,5	23	23	23

Таблица 1.3

Параметры бумагоделательных машин

Вид продукции	Ширина, мм	Производительность, т/сут	Скорость по приводу, м/мин
Книжно-журнальная, 60 г/м <sup>2</sup>	8400	520	1100
	2520	100	1000
Газетная, 48 г/м <sup>2</sup>	6720	330	1000
Мешочная, 70 и 78 г/м <sup>2</sup>	6300	320	750
Основа для парафинирования, 20÷40 г/м <sup>2</sup>	4200	56,3	600
Для глубокой печати №1, 75 г/м <sup>2</sup> и офсетная № 1, 70 г/м <sup>2</sup>	4200	143÷160	600
Для офисной техники, 80 г/м <sup>2</sup>	8400	1000	1250
Оберточная, 20÷60 г/м <sup>2</sup>	4200	50	600
Перфокарточная и регистрационная, 170 и 70 г/м <sup>2</sup>	4200	106÷172	450
Для ЭВМ и оргтехники, 40÷95 г/м <sup>2</sup>	4200	53,5÷123	450
Основа для одно- и двустороннего мелования, 40÷80 г/м <sup>2</sup>	4200	89,3÷94,3	600
Туалетная, 32 г/м <sup>2</sup>	2520	43,5	900
Папиросная, сигаретная, 16÷20 г/м <sup>2</sup>	2520	12,5÷15	300
Конденсаторная, 6÷37 г/м <sup>2</sup>	6720	3	150
Фильтровальная, 100÷200 г/м <sup>2</sup>	2520	16	60

Таблица 1.4

Параметры картоноделательных машин

Вид продукции	Ширина, мм	Производительность, т/сут	Скорость по приводу, м/мин	
Бумага-основа для гофрирования, 100-150 г/м <sup>2</sup>	6300	400	600	
	4200	300	600	
Картон для гладких слоев гофрированного картона, 200÷350 г/м <sup>2</sup>	6300	800	600	
	200÷400 г/м <sup>2</sup>	4200	480	600
	125÷250 г/м <sup>2</sup>	4200	212	350
Коробочный картон	160÷170 г/м <sup>2</sup>	4200	225	250
	125÷300 г/м <sup>2</sup>	4200	250	450
Кровельный картон	250÷650 г/м <sup>2</sup>	4200	199	200
Картон хром-эрзац	200÷500 г/м <sup>2</sup>	4200	290	400

В качестве замечания отметим, что нецелесообразно иметь машину большой ширины с невысокой скоростью и наоборот, поскольку большая ширина требует значительных первичных материальных затрат и усложнения конструкции, а высокая скорость, в определенной степени, ведет к снижению качества. Поэтому следует стремиться к оптимальному соотношению ширины машины и ее скорости.

После этого необходимо определить скорости  $V_z$  отдельных частей БКДМ по формуле [8]

$$V_z = k_z \times V_p, \text{ м/мин}, \quad (1.2)$$

где  $k_z$  – коэффициент, учитывающий отношение скорости отдельной части машины к рабочей скорости машины.

Для массовых видов продукции значение коэффициента  $k_z$  составляет: сеточная часть (при отсутствии вакуум-пересасывающего устройства) –  $0,94 \div 0,955$ ; прессовая часть –  $0,98 \div 0,99$ ; сушильная часть –  $1,0$ ; каландр –  $1,0005 \div 1,0015$ ; накат –  $1,001 \div 1,003$ . При наличии вакуум-пересасывающего устройства скорость мокрой части бумагоделательной машины (сеточная и прессовая части) можно принять равной рабочей скорости.

Таблица 1.5

Приводная скорость бумаго-, картоноделательных и сушильных машин		
Вид машины	Обрезная ширина, мм	Скорость по приводу, м/мин
Бумагоделательные	1680	80, 150, 250, 350
	2100	150, 250, 300, 350, 450, 600, 950, 1800
	2520	150, 200, 250, 300, 350, 450
	3200	200, 350, 450, 600, 750, 1000, 1250, 1500
	4200	200, 250, 350, 450, 600, 750, 1000, 1250, 1500, 1750
	5300	450, 600, 750, 950, 1000, 1800
	6300	450, 600, 750, 1000, 1250
	6720	1000, 1250
	8400	600, 750, 1000, 1250, 1500
	10080	1250, 1500
Картоноделательные	2100	150, 250, 350, 450, 600
	3200	150, 250, 350, 450, 600
	4200	150, 200, 350, 450
	6300	350, 450, 600, 750
	8400	600, 750
	10080	1000
Сушильные	2400	50, 60, 350
	4200	200, 350
	6400	150, 200
	7000	350



Далее определяется значение скорости машины по приводу  $V_{пр}$ , которая с учетом возможных за время фактического срока ее службы модернизаций, принимается как минимум равной [2,3].

$$V_{пр} = (1,15 \div 1,25)V_p. \quad (1.3)$$

Окончательно значение  $V_{пр}$  принимается исходя из ближайшего большего значения приводной скорости согласно табл. 1.5 [3].

## 2.Компоновка обезвоживающих элементов на плоскосеточной части

В качестве учебной задачи рассматривается компоновка обезвоживающих элементов на плоскосеточной сеточной части, освоив принципы которой, можно перейти к конструированию сеточной части практически с любым другим способом формования.

Первым валом сеточной части является грудной вал, диаметр и другие необходимые параметры которого приведены в табл.2.1 [1].

Напуск массы осуществляется чуть ранее первой планки формирующего ящика. Формующий ящик по конструктивным соображениям располагается на расстоянии 200÷250 мм от грудного вала. Ширина формирующего ящика может быть выбрана для массовых видов бумаг равной 675 мм.

В настоящее время на БКДМ, работающих при скоростях более 200 м/мин, на регистровой части в качестве обезвоживающих элементов устанавливаются обычно гидропланки. Причем, как правило, в один пакет (ящик), объединяется по 3 ÷ 6 гидропланок.

Общее число гидропланок в зависимости от вида продукции и скорости машины определяется по табл. 2.2 [2]. Опыт эксплуатации гидропланок показал, что для обеспечения необходимого качества продукции они должны располагаться с вполне определенным шагом (табл. 2.3)[2], зависящим от скорости машины. Следует отметить, что с этим шагом  $t_1$  гидропланки располагаются только в начальной зоне, к которой относятся 40÷60 % ( $n_1$ ) от общего числа ( $n$ ) гидропланок (табл. 2.4) [2]:

$$n_1 = (0,4 \div 0,6)n. \quad (2.1)$$

Количество гидропланок в пакетах в начале регистровой части  $z_1$  при шаге между гидропланками  $t_1$  обычно равняется 3÷4. Таким образом, пренебрегая шириной гидропланок, можно считать ширину  $L$  ящика с гидропланками равной

$$L = t_1(z_1 - 1), \quad (2.2)$$

где  $z_1$  – количество планок в пакете.

Оставшиеся гидропланки количеством  $n_2 = n - n_1$  устанавливаются в пакеты с гидропланками той же ширины, которую имел ящик при шаге  $t_1$ , но

количество планок в ящике  $z_2$  увеличивается на  $1\div 2$  штуки  $z_2 = z_1 + (1\div 2)$ .  
 При этом шаг  $t_2$  будет, естественно, меньше:

$$t_2 = \frac{L}{(z_2 - 1)} \quad (2.3)$$

При необходимости общее количество гидропланок может отличаться от определенного по табл. 2.2 на  $1\div 2$  планки (желательно в большую сторону).

Таблица 2.1

Параметры валов	Параметры валов сеточной части			
	Ширина машины, м			
	2,52	4,2	6,3	6,72
<b>ГРУДНЫЕ И СЕТКОВЕДУЩИЕ ВАЛЫ</b>				
Диаметр наружный, мм	538	728	900	900
Толщина стенки, мм	40	40	45	45
Длина цилиндрической части, мм	3150	4800	7100	7400
Расстояние между подшипниковыми опорами, мм	3500	5280	7700	8000
Диаметр цапфы под подшипник, мм	85	-	150	150
Масса вала без подшипников, кг	1000	2000	8000	8100
<b>РЕГИСТРОВЫЕ ВАЛЫ</b>				
Диаметр, мм	170	281	381	430
Толщина стенки, мм	4,0	5,0	7,0	8,0
Длина цилиндрической части, мм	3150	4900	7100	7500
Расстояние между подшипниковыми опорами, мм	3500	5280	7700	8000
<b>ГАУЧ - ВАЛЫ</b>				
Диаметр, мм	800	1000	1300	1300
Длина цилиндрической части, мм	3300	5000	7300	7650
Масса вала с камерой, кг	5100	12700	21800	22000
<b>СЕТКОВЕДУЩИЕ ВАЛИКИ</b>				
Диаметр, мм	281	454	615	615
Толщина стенки, мм	8	11	25	30
Длина цилиндрической части, мм	3300	4900	7100	7465
Расстояние между подшипниковыми опорами, мм	3740	5280	7700	8000

Таблица 2.2

Рекомендуемое количество гидропланок

Скорость, м/мин	Вид продукции				
	газетная	писчая, офсетная №3	мешочная	писчая, офсетная и для глубокой печати №1,2; картон, бумага для гофрирования	бумага тонкая высоко-сортная
100	11	12	12	13	13
200	13	14	15	16	20
300	15	17	19	23	34
400	17	20	25	36	48
500	20	24	37	50	59
600	23	32	53	61	-
700	28	47	60	-	-
800	35	59	-	-	-
900	50	-	-	-	-
1000	59	-	-	-	-

Таблица 2.3

Рекомендуемый шаг между гидропланками

Скорость, м/мин	до	150	250	350	450	550	650	720
	150	250	350	450	550	650	720	900
Шаг, мм	100	100	135	150	200	250	300	333
		135	150	200	250	300	333	375

Расстояние между пакетами с гидропланками принимается равным шагу между гидропланками, а между пакетами с разным количеством  $z_1$  и  $z_2$  планок – в диапазоне  $t_1 \div t_2$ .

Расстояние после пакетов с гидропланками и первым мокрым отсасывающим ящиком (МОЯ) можно принять равным 200÷400 мм, а между МОЯ – 50÷400 мм.

Выбранное число гидропланок должно обеспечить, исходя из опыта эксплуатации БКДМ, концентрацию бумажной массы на сетке 2,0÷2,5 %. После достижения этой концентрации эффективность обезвоживания на гидропланках и регистровых ящиках резко снижается. Далее после гидропланок устанавливаются МОЯ, которые должны довести концентрацию на сетке до 3÷4 %[5].

Таблица 2.4

## Обезвоживающие элементы бумаго- и картоноделательных машин

Вид продукции	Скорость, м/мин	Длина стола, м	Формующий ящик, мм	Ящики гидропланок				Общее количество планок	Мокрые отсасывающие ящики		Отсасывающие ящики	
				ширина, мм	количество, шт.	количество планок, шт.	шаг, мм		ширина, мм	количество, шт.	ширина, мм	количество, шт.
1. Бумага газетная, 48 г/м <sup>2</sup>	800	19	675	750	5	3	375	40	420	4	305	9
				750	5	5	187,5					
2. Бумага писчая №1, 45÷80 г/м <sup>2</sup>	500	22	675	750	7	4	250	52	420	4	305	9
				750	4	6	150					
3. Бумага писчая №2, 60÷70 г/м <sup>2</sup>	700	22	675	1000	4	4	333	46	420	4	305	9
				1000	6	5	250					
4. Бумага для гофрирования, 100÷150 г/м <sup>2</sup>	550	24	675	750	6	4	250	60	420	6	305	11
				750	6	6	150					
5. Бумага мешочная, 70÷105 г/м <sup>2</sup>	600	24	675	600	9	3	300	55	420	6	305	11
				600	7	4	200					
6. Бумага оберточная односторонней гладкости, 20÷60 г/м <sup>2</sup>	450	13	675	1000	3	5	250	27	420	2	305	5
				1000	2	6	200					
7. Картон для гладких слоев гофрокартона, 125÷400 г/м <sup>2</sup>	550	24	675	750	6	4	250	60	420	6	305	11
				750	6	6	150					
				400	7	3	200					
	400	17	675	400	5	4	130	41	420	4	305	11

После мокрых отсасывающих ящиков устанавливаются сухие отсасывающие ящики или просто отсасывающие ящики (СОЯ).

Количество мокрых и сухих отсасывающих ящиков предварительно выбирается пропорционально отношению определенной ранее скорости  $V_p$  к рабочей скорости машин, предназначенных для выпуска аналогичных видов продукции и числу этих ящиков, приведенных в табл. 2.4.

Ширину МОЯ следует принимать равной 240, 420 или 700 мм (коэффициент перфорации 50%), а СОЯ – 220, 290 или 430 мм (коэффициент перфорации 30÷36 %) [2,3].

Последним обезвоживающим элементом плоскосеточной части БКДМ является гауч-вал, диаметр которого выбирается по табл.2.1. Расстояние от последнего СОЯ до оси гауч-вала принимается равным 800 ÷ 1000 мм.

Количество отсасывающих камер гауч-вала и их ширина зависят от вида продукции и скорости машины. При скорости машины до 300 м/мин выбирается однокамерный гауч-вал с шириной камеры 180 мм. При большей скорости устанавливается двухкамерный гауч-вал. Общая ширина камер составляет до 400 мм, причем ширина первой камеры принимается в 1,5÷2 раза больше второй. Вакуум в первой камере в зависимости от вида продукции принимается равным 25÷50 кПа, во второй - 40 ÷78 кПа [2].

На этом заканчивается предварительный этап компоновки сеточной части, длина которой от оси грудного вала до оси гауч-вала, в соответствии с требованиями отраслевого стандарта ЦНИИБуммаша, принимается равной 13, 17, 19, 22 или 24 м [3]. Отметим, что это требование при компоновке сеточной части для выпуска некоторых видов продукции не всегда может быть успешно выполнено, и жестко придерживаться его выполнения при достаточно большой разнице в предварительно получившейся длине и ближайшей из приведенного ряда, не обязательно. Однако, как правило, добиться этого можно, как уже указывалось выше, варьированием расстояний:

- от формующего ящика до первого ящика с гидропланками –  $(t_1 + 400 \text{ мм})$ ;
- от ящиков с гидропланками с шагом  $t_1$  до ящиков с гидропланками с шагом  $t_2 - (t_1 \div t_2)$ ;
- от последнего ящика с гидропланками до первого МОЯ –  $(200 \div 400 \text{ мм})$ ;
- между МОЯ –  $(50 \div 400 \text{ мм})$ ;
- между МОЯ и СОЯ –  $(200 \div 400 \text{ мм})$ ;
- между последним СОЯ и гауч-валом –  $(800 \div 1000 \text{ мм})$ .

Для интенсификации процесса обезвоживания, сопровождающегося разрывом слоя осевших волокон, между 1 и 2, 2 и 3 МОЯ могут быть установлены регистровые валики. Диаметр валиков выбирается по табл. 2.1, причем расстояние от оси валика до стенок МОЯ должно быть не более 400 мм, а от самого регистрового валика до стенки – не менее 50 мм.

Отметим, что компоновка сеточной части является достаточно сложной задачей, требующей от разработчика понимания сути технологических процессов, протекающих на сеточной части.

Схема сеточной части должна быть выполнена в масштабе 1:50 или 1:100 с указанием валов и обезвоживающих элементов, а также размеров обезвоживающих элементов и расстояний между ними. Также следует указать расстояние от оси грудного вала до оси гауч-вала, т.е. габарит сеточной части (пример такой схемы приведен на рис. 2.1).

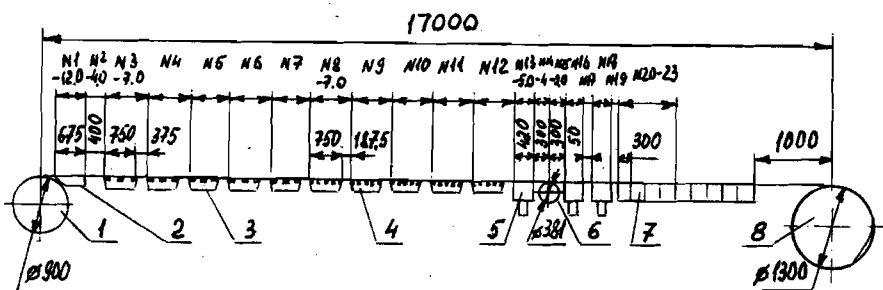


Рис. 2.1. Схема сеточной части: 1 – грудной вал; 2 – формующий ящик; 3 – ящик с 3 гидропланками; 4 – ящик с 5 гидропланками; 5 – мокрый отсасывающий ящик; 6 – регистровый валик; 7 – отсасывающий ящик; 8 – гауч-вал.

### 3. Определение длины сеточной части методом удельных съемов

Предлагаемый метод расчета является достаточно приблизительным и может быть применен только на предварительном этапе компоновки сеточной части. Этот расчет основан на методе удельной производительности (съема), которым называют количество воздушно-сухой бумаги, которое может быть получено с 1 м<sup>2</sup> площади сеточного стола. Величина съема зависит от множества факторов: скорости машины, свойств бумажной массы (композиция, концентрация, степень помола), температуры, компоновки сеточной части и др.

Длина сеточной части  $l$  определяется по формуле [7,8]

$$l = 0.06 \frac{V_c \times q}{k}, \text{ м}, \tag{3.1}$$

где  $V_c$  – скорость сеточной части, м/мин;

$q$  – масса 1 м<sup>2</sup>, г;

$k$  – удельный съем бумаги (табл. 3.1), кг/(м<sup>2</sup> · ч).

Таблица 3.1

Удельные съемы на сеточной части для массовых видов продукции

Вид продукции	Скорость, м/мин	Удельный съем бумаги, кг/(м <sup>2</sup> ·ч)
Бумага конденсаторная 8÷15 г/м <sup>2</sup> 16÷27 г/м <sup>2</sup>	30÷50	2÷4
	50÷80	4÷6
Бумаги писчая и печатная 65 ÷ 80г/м <sup>2</sup> №1 № 2 и 3	250÷350	70÷80
	350÷450	80÷90
	350÷400	90÷100
Бумага газетная 45 ÷ 51 г/м <sup>2</sup>	400÷450	100÷110
	400÷450	120÷130
	500÷650	140÷150
	700÷750	150÷160
Бумага мешочная (70 и 78 г/м <sup>2</sup> ) и оберточная (45 ÷ 75 г/м <sup>2</sup> )	750÷900	160÷170
	300÷400	90÷110
Бумага санитарно-гигиеническая (20÷50 г/м <sup>2</sup> )	600÷650	140÷160
	350÷400	70÷80
Бумага односторонней гладкости (50÷100 г/м <sup>2</sup> )	500÷650	80÷90
	300÷400	100÷120

После расчета длины сеточной части по формуле 3.1 в соответствии с отраслевым стандартом необходимо выбрать длину сеточного стола из ряда 13, 17, 19, 22 или 24 м, округлив ее до ближайшего большего значения.

#### 4. Расчет обезвоживания на сеточной части

Расчет обезвоживания на сеточной части бумаго- и картоноделательных машин производится отдельно для регистровой и отсасывающей частей, поскольку физика процессов на них отличается друг от друга. Обезвоживание на регистровой части заключается, с некоторыми допущениями, в обезвоживании двухфазной среды «волокно - вода» и подчиняется закону Дарси [5]. На отсасывающей части происходит обезвоживание трехфазной среды «волокно - вода - воздух», подчиняющееся закону Дарси-Герсеванова [4]. Границей между регистровой и отсасывающей частями на действующем оборудовании является место окончания «зеркала залива», четко наблюдаемое на сеточной части в месте прекращения зеркального блеска бумажного полотна. Как правило, эта линия находится на 1 ÷ 2 сухом отсасывающем ящике, когда сухость полотна бумаги или картона достигает концентрации осевшего слоя волокон, равного для массовых видов продукции 2,0 ÷ 5,5 % (табл. 4.1) [4].

Таблица 4.1

Концентрация бумажной массы на сеточной части БКДМ

Вид продукции	Концентрация и сухость, %						Количество сухих отсасывающих ящиков	Максимальный вакуум в отсасывающих ящиках, кПа	Кэффициент «кх»
	в напорном ящике, $C_{00}$	после регистровой части	после отсасывающих ящиков	после гауч-вала	регистровой воды, $C_{рег}$	осевшего слоя волокон			
<b>Бумаги с древесной массой</b>									
Газетная	0,6-0,7	2,5-3	11-13	19-20	0,346	4-5	3-9	26,5	0,142
Писче-печатные № 2 и 3	0,7-0,9	2,5-3	11-13	18-20	0,3	4-5	3-9	21,0	0,096
Мундштучная, обойная	0,8-1,1	3-4	11-14	18-21	0,2	4-5	2-10	31,6	0,11
									0,199
<b>Бумаги из сульфитной и сульфатной целлюлоз</b>									
Писчая №1, 70 г/м <sup>2</sup>	0,7-0,8	2-2,5	11-13	18-20	0,18	4-5	2-9	22,3	0,065
Офсетная	0,8-1,2	3-4	11-14	20-22	0,2	4-5	3-10	20	0,065
Для глубокой печати, 90-160 г/м <sup>2</sup>	0,8-1,2	3-4	11-14	20-22	0,35	4-5	3-10	20	0,065
Конденсаторная, 5-7 мк	0,12-0,2	0,8-1,0	6-7	7,5-9	0,035	2-3	6-9	3,3	-
8-13 мк	0,24-0,33	0,8-1,2	6-8	10-11	0,055	2-3	6-9	3,3	-
Мешочная, 70-78 г/м <sup>2</sup>	0,15-0,4	2,0-2,5	10-12	17-19	0,04	4,5-5,5	5-11	14	-
<b>Картон</b>									
Для гладких слоев	0,6-0,9	2,5-3	11-12	19-21	-	4,5-5	6-12	28	-
Коробочный	0,8-1,0	2,5-3	12-14	18-20	-	4,5-5	6-12	30	-
Бумага для гофрирования	0,5-0,7	2-2,5	10-12	18-20	-	4-4,5	6-10	24	-

**4.1. Подготовка исходных данных для расчета обезвоживания на регистровой части**

В настоящем разделе не приводится подробное описание и разбор программы расчета обезвоживания на регистровой части, поэтому некоторые числа и знаки обозначаются как служебные.

В исходные данные входят конструктивные и технологические данные, а также значения коэффициента фильтрации, характеризующего способность бумажной массы к обезвоживанию.

При составлении матрицы исходных данных (табл. 4.2), для примера составленной по схеме, изображенной на рис. 2.1, следует обратить внимание на следующие особенности:

- внутри массивов конструктивных и технологических данных каждая строка, за исключением последней, заканчивается запятой.





#### 4.1.1. Конструктивные исходные данные

Конструктивные исходные данные состоят из двух массивов чисел.

**Первый массив** состоит из трех строк. Первая строка «&BV3 ТВ=» - служебная (строка 1 табл. 4.2). Вторая строка (строка 2 табл. 4.2) состоит из 4 чисел. Первое – тип ввода (для конструктивных данных -1). Второе число – шифр рассчитываемой схемы – состоит из 9 позиций:

- позиция 1 - шифр учебной работы (1- расчетная работа, 2 – курсовой проект, 3 – дипломный проект);
- позиция 2 - шифр преподавателя;
- позиции 3,4,5 – номер студенческой группы;
- позиции 6,7 – шифр студента (соответствует порядковому номеру студента в списке группы);
- позиции 8,9 – две последние цифры календарного года.

Третье число – число участков в массиве конструктивных данных. Четвертое число 0 – служебное.

Третья строка «&END» – служебная. Она означает окончание первого массива конструктивных данных.

**Второй массив.** Первая строка «&BV4 D =>» (строка 4 табл. 4.2) – служебная. Далее заносится отдельно в каждую строку шифр расчетного участка и его конструктивные параметры (строки 5 +17 табл. 4.2). Шифры расчетных участков записываются со знаком “ – “. Справа от шифра участка записываются соответствующие каждому участку значения радиусов и линейные размеры  $R$ ,  $L$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$  (табл. 4.3). Все значения записываются в метрах.

Исходя из опыта компоновки обезвоживающими элементами сеточных частей, практический интерес представляют: формирующий ящик, регистровый валик (гладкий и желобчатый), ящик (пакет) с гидропланками, мокрый и сухой отсасывающие ящики (рис. 4.1).

В расчетном участке -12.0 (соответствует участку формирующий ящик) записываются в метрах значения четырех расстояний  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$  между планками этого обезвоживающего элемента (при количестве планок – 5). Если количество планок будет меньше 5, то отсутствующие значения  $L_i$  записываются 0.0 (строка 5 табл. 4.2).

В расчетном участке «-4.0» (открытый участок сетки) записывается длина участка  $L$  в метрах 0 (строка 6 табл. 4.2).

В расчетном участке «-9.0» (РВ - гладкий регистровый валик) записываются значения радиуса валика  $R$  (м) и расстояния  $L$  (м) от оси валика до следующего обезвоживающего элемента (строка 13 табл. 4.2).

В расчетном участке «-7.0» (ЖРВ - желобчатый регистровый валик с дефлектором и следующим за ним открытым участком сетки) записываются значения радиуса валика  $R$  (м), расстояние от оси валика до дефлектора  $L_1$  (м), расстояние от дефлектора до следующего обезвоживающего элемента  $L_2$  (м).

Таблица 4.3

Шифры расчетных участков и их конструктивных и технологических параметров

Наименование участка	Шифр	Конструктивные данные	Технологические данные
1. Формующий ящик	-12.0	$L_1, L_2, L_3, L_4$	-
2. Открытый участок сетки	-4.0	L	-
3. Гладкий регистровый валик (РВ) со следующим за ним открытым участком сетки	-9.0	R, L	-
4. Желобчатый регистровый валик (ЖРВ) с дефлектором и следующим за ним открытым участком сетки, гидрошланка, пакет с гидрошланками	-7.0	R, $L_1, L_2$	$\delta, \lambda$
5. Мокрый (МОЯ) или сухой (СОЯ) отсасывающий ящик, криволинейная изогнутая поверхность (башмак)	-5.0	L	H

В расчетном участке «-5.0» (мокрый или сухой отсасывающие ящики) записывается значение длины ящика L (м) с учетом коэффициента перфорации (строка 11 табл. 4.2). Коэффициент перфорации для мокрых отсасывающих ящиков принимается равным 0,5, а для сухих отсасывающих ящиков –  $0,3 \div 0,36$  (ширина МОЯ и СОЯ - см. с.12).

В конструкции сеточных частей может быть использована криволинейная изогнутая поверхность (например «башмак» на двухсеточной части типа Сим-формер). Такой обезвоживающий элемент также может быть записан как расчетный участок «-5.0». Длина L (м) будет равняться длине дуги окружности с радиусом, равным радиусу кривизны башмака.

Для записи участков с гидрошланками, учитывая, что обезвоживающая способность гидрошланки эквивалентна примерно 0,4 регистрового валика, участок с гидрошланками может быть заменен расчетным участком «-7.0» (ЖРВ), в котором радиус валика  $R=0,2$  м, длина открытого участка между валиком и дефлектором принимается равной  $L_1=0$ , длина открытого участка сетки после дефлектора  $L_2$  – равной длине открытого участка сетки от дефлектора до следующего обезвоживающего элемента в метрах (строка 7 табл. 4.2).

В случае, если ящик с гидропланками имеет вакуум, т.е. для интенсификации процесса обезвоживания кроме функций гидропланки выполняет одновременно и функции мокрого отсасывающего ящика, то он должен быть записан одновременно как участок «-7.0» и как участок «-5.0» (МОЯ).

Если в конструктивной схеме имеется несколько расчетных участков одного типа с одинаковыми конструктивными параметрами, то конструктивные параметры записываются только для первого расчетного участка. Остальные однотипные участки можно записать следующим образом: «4\*-7.0», т.е. еще 4 аналогичных участка «-7.0» (строка 8 табл. 4.2).

В последней строке конструктивных данных записывается служебное число «-100.0» (строка 19 табл. 4.2).

Признаком окончания массива конструктивных данных является служебная строка «&END» (строка 20 табл. 4.2).

#### 4.1.2. Технологические исходные данные

Технологические исходные данные состоят из трех массивов чисел. Первый массив начинается со служебной строки «&BV3 ТВ =>» (строка 21 табл. 4.2). Вторая строка (строка 22 табл. 4.2) состоит из четырех чисел: первое число – тип ввода (для технологических данных 3), второе число – шифр схемы (см. предыдущий подраздел), третье и четвертое числа – служебные. Третья строка «&END» (строка 23 табл. 4.2) означает конец массива.

Второй массив начинается со служебной строки «&BV4 D=>» (строка 24 табл. 4.2). В программе предусмотрено, что с одними и теми же конструктивными данными можно выполнить несколько расчетов обезвоживания. Для курсовых проектов, как правило, рассчитываются 3 варианта.

В первый вариант технологических данных записываются вначале (строка 25 табл. 4.2) значения коэффициента фильтрации –  $K$ , м/с (табл. 4.4), далее концентрации осевшего слоя –  $C_{сл}$ , % (табл. 4.1), затем концентрации регистровой воды –  $C_{рег}$ , % (табл. 4.1). Значения коэффициента фильтрации (строки 25 ÷ 27 табл. 4.2) записываются при трех разных температурах (например, при 10, 20 и 40 °С) и рассчитываются по следующим формулам:

1. Формула Пуазейля

$$K = K_0(1 + 0,0337t + 0,00221t^2), \quad (4.1)$$

где  $K_0$  – коэффициент фильтрации при 0 °С;  
 $t$  – температура массы, °С.

2. Формула Хазена

$$K = K_{10}(0,7 + 0,03t), \quad (4.2)$$

где  $K_{10}$  – коэффициент фильтрации при 10 °С.

Таблица 4.4

Коэффициенты фильтрации  $K \times 10^4$  (м/с) бумажной массы для различных видов продукции

Скорость сетки, м/мин	Напор, м вод.ст.	Виды бумаги								
		мешочная, t=10°C	для глу- бокой печати, t=10°C	конден- саторная 9÷12г/м <sup>2</sup> , t=47°C	конден- саторная 18 г/м <sup>2</sup> , t=47°C	оберточ- ная, t=47°C	диаграмм- ная, t=30°C	газетная, t=30°C	офсетная, t=20°C	mund- штучная, t=10°C
50	0,0354	-	-	0,370	0,880	-	-	-	-	-
100	0,1416	-	-	0,078	0,256	-	2,000	-	-	0,870
120	0,1713	-	-	0,053	0,192	-	-	-	-	-
150	0,3186	-	-	0,032	0,130	-	1,150	-	-	0,230
200	0,5662	-	-	-	-	0,288	0,780	-	-	0,096
250	0,8848	-	-	-	-	0,195	0,580	-	-	0,048
300	1,2742	0,205	0,228	-	-	0,142	0,440	-	-	0,028
350	1,7343	-	0,177	-	-	0,108	0,350	-	0,252	0,017
400	2,2652	0,133	0,141	-	-	0,087	0,292	-	0,220	-
450	2,8669	0,111	0,116	-	-	-	0,250	-	0,192	-
500	3,5394	0,095	0,098	-	-	-	0,215	-	0,170	-
550	4,2827	0,0825	0,084	-	-	-	-	-	0,152	-
600	5,0968	0,0725	0,072	-	-	-	-	-	0,136	-
650	5,9816	0,0640	-	-	-	-	-	0,700	-	-
700	6,9373	0,0580	-	-	-	-	-	0,665	-	-
750	7,9638	0,0520	-	-	-	-	-	0,640	-	-
800	9,0609	-	-	-	-	-	-	0,610	-	-
850	10,229	-	-	-	-	-	-	0,580	-	-
900	11,4678	-	-	-	-	-	-	0,560	-	-
950	12,7774	-	-	-	-	-	-	0,540	-	-
1000	14,1578	-	-	-	-	-	-	0,522	-	-

Значения коэффициента фильтрации  $K_{\text{лаб}}$  (табл. 4.4) получены на фильтрационном приборе и в реальных условиях на действующем оборудовании отличаются от фактического значения коэффициента фильтрации  $K_{\text{лин}}$ . Поэтому при скоростях выше 100 ÷ 120 м/мин следует пересчитать это значение коэффициента фильтрации с учетом степени помола  $^{\circ}\text{ШР}$  массы в напорном ящике по формуле

$$K_{\text{лин}} = (-0,122 + 0,023 \times ^{\circ}\text{ШР}) \times 10^{-2} \times K_{\text{лаб}}^{0,634}, \text{ м/с.} \quad (4.3)$$

В технологические данные записываются не все участки, включенные в конструктивную схему, а только участки, характеризующиеся параметрами  $\delta$  и  $\lambda$  (коэффициенты желобчатости набегающего и сбегающего водяных клиньев) и вакуума  $H$ , т.е. участки «-7.0» и «-5.0». Значения коэффициентов желобчатости принимаются равным 0,5, а вакуум в мокрых и сухих отсасывающих ящиках записывается в м вод. ст. (1кПа = 0,1 м вод. ст.). Вакуум в 1-м МОЯ принимается равным 1кПа (строка 32 табл. 4.2), а в следующих далее МОЯ принимается с увеличением на 1 кПа от 1-го к последующим ящикам (строки 33÷34 табл. 4.2). Если в качестве обезвоживающего элемента используется криволинейная поверхность типа «бапмак» двухсеточного формирующего устройства Сим – формер, то вакуум на этом элементе записывается как

$$H = \frac{T}{R}, \text{ кН/м}^2, \quad (4.4)$$

где  $T$  – натяжение наружной сетки, кН/м;  
 $R$  – радиус кривизны поверхности, м.

Распределение вакуума по сухим отсасывающим ящикам см. с. 23. В табл. 4.2 вакуум в СОЯ записан в строках 35 ÷ 38. Отметим, что вакуум в 1-м СОЯ должен быть больше, чем в последнем МОЯ.

Участки с гидропланками записываются как участок «-7.0» (строки 28 ÷ 31 табл. 4.2). Причем коэффициент желобчатости для набегающего водяного клина  $\delta = 0$ , а для сбегающего водяного клина  $\lambda = 0,4n$  (здесь  $n$  – число гидропланок в пакете).

После всех участков записывается служебное число -100.0 (строка 38 табл. 4.2).

Так же, как и в блоке конструктивных данных при наличии одинаковых участков их значения записываются только для первого участка, а остальные с учетом их повторяемости (строки 29 и 31 табл. 4.2).

Последней строкой второго массива технологических данных является служебная строка «&END» (строка 39 табл. 4.2).

Третий массив технологических данных начинается со служебной строки «&BV5 C=» (строка 40 табл. 4.2). Во вторую строку (строка 41 табл. 4.2) записываются слева направо величины:

1 – скорость сетки, м/мин;

- 2 – высота слоя массы, напускаемой на сетку, м;  
 3 – концентрация массы в напорном ящике (табл. 4.1), %.

Высота слоя массы, подаваемой на сетку рассчитывается по формуле

$$h_{00} = \frac{q_6}{C_{сл} \times 10^4} \times \frac{C_{сл} - C_{рег}}{C_{00} - C_{рег}}, \text{ м}, \quad (4.5)$$

где  $q_6$  – масса 1 м<sup>2</sup> бумаги, г;

$C_{сл}$  – концентрация бумажной массы на «сухой» линии, % ( $C_{сл} = 7\%$ );

$C_{рег}$  – концентрация регистровой воды, % (табл. 4.1);

$C_{00}$  – концентрация массы в напорном ящике, % (табл. 4.1);

Последняя строка массива технологических данных «&END» (строка 42 табл. 4.2) – служебная.

Данная методика позволяет определить концентрацию и толщину слоя массы на сетке после каждого обезвоживающего элемента. Расчет обезвоживания на регистровой части можно считать законченным, когда при принятых компоновке и значениях исходных параметров (концентрация массы в напорном ящике, концентрация регистровой воды, концентрация осевшего слоя, коэффициент фильтрации бумажной массы, вакуум в МОЯ и СОЯ и др.), концентрация массы на сетке достигает значения концентрации осевшего слоя волокон не далее 1 ÷ 2 СОЯ. Если этого достичь не удалось, следует изменить исходные конструктивные и технологические данные, так как обеспечение нормальной работы сеточной части в этом случае практически невозможно. Поэтому в матрицу исходных данных включаются не все сухие отсасывающие ящики, а только первые 3 ÷ 4.

## 4.2. Расчет обезвоживания на отсасывающей части

Расчет обезвоживания на отсасывающей части сеточного стола заключается в определении необходимого числа отсасывающих ящиков, определении сухости после отсасывающих ящиков и гауч-вала и производится по следующей методике [4]:

1. В соответствии с разработанной конструктивной схемой имеется количество  $n$  и ширина сухих отсасывающих ящиков и камер гауч-вала, их коэффициенты перфорации. Эти параметры выбираются согласно данным, представленным в табл. 2.4, табл. 4.1.

2. По методике расчета обезвоживания на регистрающей части предварительно определяется количество  $n_1$  ящиков, необходимых для достижения концентрации осевшего слоя волокон (2,5 ÷ 5,5 %). Именно после этого начинается собственно расчет обезвоживания на отсасывающей части сеточного стола конкретной продукции со своей массой  $1 \text{ м}^2$ , степенью помола при рассчитанной ранее скорости сеточной части.

3. Рассчитывается вакуум в сухих отсасывающих ящиках

$$H_i = H_{\max} \times e^{-x(z-i)}, \text{ кПа}, \quad (4.6)$$

где  $H_{\max}$  – максимальный вакуум в сухих отсасывающих ящиках, кПа;

$x$  – постоянный коэффициент;

$z$  – количество сухих отсасывающих ящиков;

$i$  – порядковый номер ящика.

Значения  $H_{\max}$ ,  $x$  и  $z$  выбираются по табл. 4.1, после чего находится средний вакуум в отсасывающих ящиках

$$H_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}. \quad (4.7)$$

4. Определяется эффективное время обезвоживания на отсасывающих ящиках

$$t_3 = 10^{a_0 + a_1 \lg H_{\text{ср}}}, \text{ с}, \quad (4.8)$$

где  $a_0$  и  $a_1$  – эмпирические коэффициенты (табл. 4.5).

5. Определяется фактическое значение эффективного времени обезвоживания  $t_{\text{эф}}$  с учетом различия массы  $1 \text{ м}^2$   $q_1$  и степени помола  $^{\circ}\text{ШР}_1$  рассчитываемого вида продукции и массы  $1 \text{ м}^2$   $q_2$  и степени помола  $^{\circ}\text{ШР}_2$  бумажной массы – аналога, испытанного на лабораторной установке

$$t_{\text{эф}} = t_3 \times \left( \frac{q_1}{q_2} \right)^2 \times \left( \frac{^{\circ}\text{ШР}_1}{^{\circ}\text{ШР}_2} \right)^3, \text{ с}, \quad (4.9)$$

где  $t_3$  – эффективное время обезвоживания бумажной массы-аналога, с.



Таблица 4.5

Значения коэффициентов для расчета обезвоживания на отсасывающей части сеточного стола

Вид продукции	Масса 1 м <sup>2</sup> , г а.с.в.	<sup>0</sup> ЩР	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	C <sub>max</sub>	a	b	β	Предприятие
Газетная	40,4		-0,94	-0,652	110	0,15	3,6	1,75	ОАО «Волга»
Картон для плоских слоев(основной слой)	128,2	22	-0,66	-0,647	30	0,176	2,0	1,845	Котласский ЦБК
Картон для плоских слоев (покровный слой)	32,0	24	-1,02	-0,81	45	0,25	3,18	5,0	Котласский ЦБК
Для глубокой печати № 1	67,5	26	-0,96	-0,506	20	0,118	3,5	5,76	Котласский ЦБК
Офсетная № 1	67,1	30	-0,87	-0,416	26	0,222	3,28	2,52	Котласский ЦБК
Мешочная	69,9	28	-0,87	-0,828	30	0,25	2,0	5,39	Котласский ЦБК
Макулатура (80% ЦВВ + +20% макулатура)	137,3	35	-0,78	-0,221	26	0,3	3,45	1,4	Светлогорский ЦКЗ
Макулатура (20% ЦВВ+ +80% макулатура)	141,4	60	-0,29	-0,452	26	0,3	3,45	1,0	Светлогорский ЦКЗ
Макулатура	295	31	0,324	-0,484	32	0,2	3,6	0,2	Светлогорский ЦКЗ
Офсетная №2	44,1	34	-0,89	-0,875	-	-	-	-	Ново-Верхняя БФ
Писчая №1	56,8	28	-0,93	-0,411	32	0,4	3,6	2,4	Туринский ЦБК
Рубероид	342,6	18	-0,16	-0,424	-	-	-	-	Осиповический ЦКЗ
Сульфитная целлюлоза	-	-	-1,43	-0,744	-	-	-	-	Котласский ЦБК

6. Находится время  $t_{я}$  нахождения бумажного полотна над одним отсасывающим ящиком

$$t_{я} = \frac{f \times L_{я}}{V}, \text{ с,} \quad (4.10)$$

где  $f$  – коэффициент перфорации СОЯ (0,3 ÷ 0,36);

$L_{я}$  – ширина одного СОЯ (с. 12), м;

$V_c$  – скорость сеточной части (с. 7), м/с.

7. Определяется количество обезвоживающих отсасывающих ящиков

$$n_2 = \frac{t_{эф}}{t_я} \quad (4.11)$$

8. Определяется эффективный импульс обезвоживания, получаемый бумажным полотном на каждом отсасывающем ящике

$$I_i = H_i \times t_я, \text{ кПа} \times \text{с} \quad (4.12)$$

9. Считая, что эффективный импульс обезвоживания накапливается по ходу полотна, определяем суммарный импульс  $I_{\Sigma i}$  для каждого отсасывающего ящика, суммируя его с суммарным эффективным импульсом  $I_{\Sigma i-1}$  предыдущих отсасывающих ящиков

$$I_{\Sigma i} = I_{\Sigma i-1} + H_i \times t_я, \text{ кПа} \times \text{с} \quad (4.13)$$

10. Определяется сухость полотна после обезвоживающих отсасывающих ящиков

$$C_i = \frac{C_{\max}}{a + e^{-\beta I_{\Sigma i}}}, \%, \quad (4.14)$$

где  $C_i$  – сухость после  $i$  – го ящика;

$C_{\max}$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $\beta$  – эмпирические коэффициенты (табл. 4.5).

Таким образом, найдя число обезвоживающих отсасывающих ящиков, можно определить общее число сухих отсасывающих ящиков  $n$  сеточной части

$$n = n_1 + n_2 + n_3, \quad (4.15)$$

где  $n_1$  – число отсасывающих ящиков, необходимых для окончания процесса обезвоживания на регистрающей части ( $n_1 = 1 \div 2$ );

$n_2$  – число обезвоживающих отсасывающих ящиков;

$n_3$  – число стабилизирующих отсасывающих ящиков, необходимых для обеспечения постоянной сухости после отсасывающих ящиков ( $n_3 = 1 \div 2$ ).

Именно это количество сухих отсасывающих ящиков  $n$  и следует окончательно ставить в компоновочной схеме сеточной части.

Аналогично производится расчет сухости бумажного полотна после отсасывающих камер гауч-вала.

Пример расчета обезвоживания на отсасывающей части плоскосеточной сеточной части приведен в Приложении 1.

## 5. Компоновка прессовой части

### 5.1. Выбор схемы прессовой части

Компоновка валов прессовой части производится в зависимости от вида продукции и скорости машины (рис. 5.1) [6]. Напомним, что к валам прессовой части относятся: гладкий обрешиненный, отсасывающий, гранитный, желобчатый валы и валы с глухими отверстиями. Для передачи полотна с сеточной в прессовую часть при скоростях более 350-400 м/мин следует применять вакуум – пересасывающее устройство с 1-3 камерными отсасывающими или отсасывающе-пересасывающими валами.

Размеры валов прессовой части выбираются согласно табл. 5.1 [1].

Схему прессовой части необходимо выполнить в масштабе 1:50 или 1:100 с указанием наименований и размеров устанавливаемых валов, а также показать наличие и ход прессовых сукон. Также следует показать окончание сеточной и начало сушильной частей.

Таблица 5.1

Параметры валов	Ширина машины, м			
	2,52	4,2	6,3	6,72
1	2	3	4	5
<b>ПРЕССОВЫЕ ОТСАСЫВАЮЩИЕ ОБРЕЗИНЕННЫЕ ВАЛЫ</b>				
Диаметр, мм				
- однокамерные	750	850	1150	1150
- двухкамерные	750	850	-	1150
- трехкамерные	850	950	-	-
Длина цилиндрической части, мм	3180	4910	7200	7500
Расстояние между подшипниковыми опорами, мм	3640	5550	7900	8380
Масса вала, кг	6000	10500	20000	22000
<b>ВАЛЫ ПЕРЕСАСЫВАЮЩИЕ</b>				
Диаметр, мм	700	700	800	800
Длина цилиндрической части, мм	3240	4980	7350	7650
Масса вала, кг	4500	6500	12000	13500
<b>ВАЛЫ ОТСАСЫВАЮЩИЕ СУКНОМОНЕЧНЫЕ</b>				
Диаметр, мм	700	800	1100	1100
Длина цилиндрической части, мм	3240	5000	7350	7650
Масса вала, кг	3500	8500	12000	21000

Окончание табл. 5.1

1	2	3	4	5
<b>ГРАНИТНЫЕ ВАЛЫ</b>				
Диаметр, мм	950	1050	1050	1250
Длина цилиндрической части, мм	3880	5550	5550	7900
Масса вала, кг	4500	4720	4720	7100
<b>ВАЛЫ ПРЕССОВЫЕ ГЛАДКИЕ ОБРЕЗИНЕННЫЕ</b>				
Диаметр, мм	600	700	1050	1150
Длина цилиндрической части вала, мм	3100	4800	7200	7200
Расстояние между подшипниковы- ми опорами, мм	3640	5550	7900	8380
<b>ВАЛЫ ПРЕССОВЫЕ С РЕЗИ- НОВОЙ И ПОЛИУРЕТАНОВОЙ ОБЛИЦОВКАМИ ЖЕЛОБЧАТЫЕ</b>				
Диаметр, мм				
Длина цилиндрической части вала, мм	600	750	1040	1140
	3080	4800	7200	7500
Расстояние между подшипнико- выми опорами, мм	3640	5550	7900	8380
<b>СУКНОВЕДУЩИЕ ВАЛИКИ ПРЕССОВОЙ ЧАСТИ</b>				
Диаметр, мм	267	480	544	544
Длина цилиндрической части, мм	3160	4850	7200	7430
Масса вала, кг	3640	5280	7700	8060
<b>СУШИЛЬНЫЕ ЦИЛИНДРЫ</b>				
Диаметр, мм	1500	1500	1500	1500
Длина цилиндрической части, мм	2980	4680	6850	7150
<b>СУКНО- ИЛИ СЕТКОВЕДУЩИЕ ВАЛИКИ СУШИЛЬНОЙ ЧАСТИ</b>				
Диаметр, мм	271	468	534	534
Длина цилиндрической части, мм	3340	5100	7200	7500
Расстояние между подшипниковы- ми опорами, мм	3740	5530	7850	8150

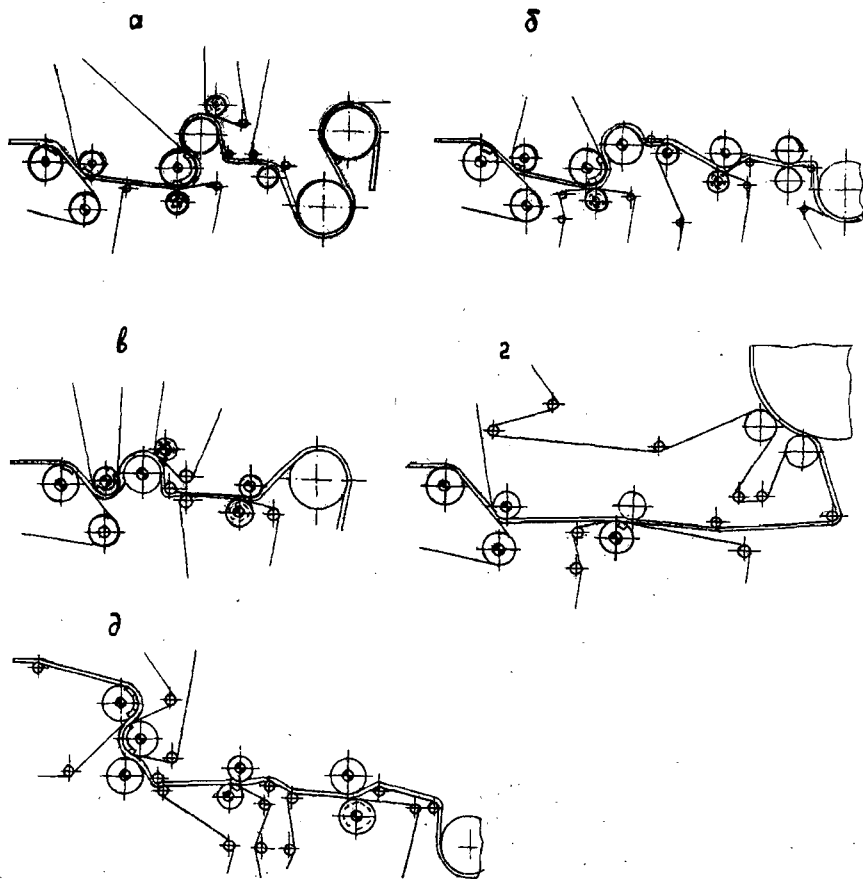


Рис. 5.1. Схемы прессовых частей бумаго- и картоноделательных машин для выработки: а – газетной и писче – печатных видов бумаг № 1 и № 2 на скорости до 1200 м/мин; б – писче – печатных видов бумаг № 1 и № 2 на скорости до 600 м/мин; в – бумаги для гофрирования, мешочной и картона для гладких слоев гофрированного картона на скорости до 750 м/мин; г – бумаги оберточной односторонней гладкости; д – картона коробочного

### 5.2. Расчет сухости полотна в прессовой части

В соответствии с существующей методикой расчета обезвоживания в прессовой части [6], сухость после зоны прессования определяется по формуле

$$C_k = \frac{A \times \alpha_0 \times m \times p_{cp}^{\gamma} \times C_c^{\theta} \times C_n^{\omega} \times q_6^{\beta}}{V_{пр}^{\varepsilon} \times \text{ШР}^{\psi}}, \% \quad (5.1)$$

- где  $C_k$  – сухость бумаги после зоны прессования, %;  
 $A$  – коэффициент, характеризующий конструкцию пресса (табл. 5.2);  
 $\alpha_0$  – коэффициент вида бумаги (табл. 5.3);  
 $m$  – коэффициент, зависящий от массы  $1 \text{ м}^2$  продукции и скорости прессовой части (табл. 5.4);  
 $p_{cp}$  – среднее удельное давление между валами, кгс/см<sup>2</sup>;  
 $C_c$  – сухость сукна перед прессом, %;  
 $C_n$  – сухость бумаги перед прессом, %;  
 $q_6$  – масса  $1 \text{ м}^2$  продукции, г;  
 $\beta$  – коэффициент массы  $1 \text{ м}^2$  продукции (табл. 5.5);  
 $V$  – скорость прессовой части (см. с. 7), м/мин;  
 $\text{ШР}$  – степень помола массы, °ШР;  
 $\gamma, \theta, \omega, \varepsilon, \psi$  – эмпирические коэффициенты (табл. 5.6 и 5.7).

Таблица 5.2  
 Коэффициент А, характеризующий конструкцию пресса

Тип пресса		
обычный	отсасывающий	с желобчатым валом
0,811	$0,753 \times H^{0,023} \times B^{0,047}$	$0,713 \times t^{-0,038} \times b^{-0,063}$

Здесь обозначено:  $H$  – вакуум в отсасывающей камере (равен 500 мм рт. ст.),  $B$  – ширина отсасывающей камеры (равна 90÷100 мм),  $t$  – шаг между желобками (равен 5 мм),  $b$  – ширина желобка (равна 0,5 мм).

Среднее удельное давление между валами может быть рассчитано по формуле

$$p_{cp} = \frac{21,74 \times q^{0,737}}{D^{0,4} \times T^{0,275}}, \text{ кг/см}^2, \quad (5.2)$$

- где  $q$  – линейное давление между валами (табл. 5.8), кН/м;  
 $D$  – диаметр обрешиненного вала, мм;  
 $T$  – твердость резинового покрытия в единицах твердости по прибору ТШМ-2 (общий диапазон изменения твердости резины для прессовых валов равен 15÷30 единицам по прибору ТШМ – 2 . В расчетах допустимо применять: для отсасывающих валов – 20 единиц; для желобчатых валов – 15÷20 единиц).

Таблица 5.3

Значения коэффициента вида бумаги  $\alpha_0$

Вид бумаги	Масса 1 м <sup>2</sup> , г	Тип пресса				
		обыч- ный	отсасы- вающий	с же- лобча- тым ва- лом	с про- межу- точным валиком	с подкла- дной сет- кой и ко- мбиниро- ванный
Офсетная	63	0,98	0,99	1,04	1,0	1,03
Этикеточная	100	0,94	0,87	0,85	0,74	0,89
Литографская	120	0,97	0,86	0,86	0,84	0,85
Газетная	51	0,98	0,96	1,04	1,0	1,03
Газетная при температуре 40÷50 °С	51	-	1,08	-	-	-
Мешочная	78	0,86	0,73	-	-	-
Писчая №1	70	-	0,81	-	-	-
Писчая №1	120	1,09	0,75	-	-	-
Для глубокой печати	75	-	1,02	-	-	-
Светооснова	70	0,86	0,72	-	-	-
Конденсаторная	11	0,84	0,98	-	-	-
Кабельная	91	0,86	0,63	-	-	-
Конденсаторная	6	0,78	0,75	-	-	-

Таблица 5.4

Значения коэффициента  $m_0$ , зависящего от массы 1 м<sup>2</sup> и скорости машины

Масса 1 м <sup>2</sup> продукции, г	Ско- рость маши- ны, м/мин	Тип пресса					
		обычный пресс		отсасывающий пресс		желобчатый пресс	
		до 60°ШР	свыше 60°ШР	до 60°ШР °	свыше 60 °ШР	до 60°ШР	свыше 60°ШР
До 100	До 600	9,07	15,8	-	-	-	-
Свыше 100	До 600	15,8	27,1	-	-	-	-
До 125	До 100	-	-	21,0	36,1	14,7	27,1
До 125	Свыше 100	-	-	21,0	36,1	21,94	39,5
Свыше 125	До 100	-	-	44,7	77,5	35,8	61,1
Свыше 125	Свыше 100	-	-	44,7	77,5	49,75	92,1

Таблица 5.5

Значения коэффициента массы 1 м<sup>2</sup> бумаги (картона) β

Масса 1 м <sup>2</sup> , г	Тип пресса		
	обычный	отсасывающий	с желобчатым валом
До 100	0,037	-	-
Свыше 100	-0,083	-	-
До 125	-	0,026	0,10
Свыше 125	-	-0,13	-0,0694

Таблица 5.6

Значения опытных коэффициентов γ, θ, ω, ε, ψ

Коэффициенты	Тип пресса		
	обычный	отсасывающий	с желобчатым валом
γ	0,091	0,123	0,147
θ	0,291	0,07	0,07
ω	0,25	0,127	0,131
ε	0,085	0,055	табл. 5.7
ψ:			
помол до 60°ЩР	0,145	0,145	0,145
свыше 60°ЩР	0,272	0,272	0,272

Таблица 5.7

Значения коэффициента ε

Скорость машины, м/мин	Тип пресса		
	с желобчатым валом	с подкладной сеткой	комбинированный
До 100	-0,022	-	-
Свыше 100	0,067	-	-
До 200	-	-0,076	-
Свыше 200	-	0,059	-
Свыше 150	-	-	-
			-
			-
			-
			0,0216



Таблица 5.8

Рекомендуемое давление в зонах прессования

Вид продукции	Скорость, м/мин	Линейное давление, кН/м (кг/см)	Сухость после прессовой части, %
Газетная, писчая и офсетная № 1 и 2	до 1200	1 захват – 60 2 захват – 80 3 захват – 100	38 ÷ 42
Писчая и офсетная № 1 и 2	до 600	1 захват – 60 2 захват – 80 3 захват – 100 4 захват – 30	38 ÷ 40
Бумага для гофрирования, мешочная, картон массой 1 м <sup>2</sup> до 250 г	до 750	1 захват – 60 2 захват – 80 3 захват – 100	36 ÷ 40
Бумага оберточная	до 1000	1 захват – 60 2 захват – 80 3 захват – 100	40 ÷ 45
Картон коробочный	-	Предварительный пресс 1 захват – 40 2 захват – 50 1 пресс – 70 2 пресс – 100	40 ÷ 42

Для желобчатых валов, не имеющих резиновой оболочки, сначала определяют ширину площадки контакта по формуле

$$a_0 = 2 \sqrt{2(\delta_c - \delta_{\min}) \times \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}} \quad , \text{ мм}, \quad (5.3)$$

где  $\delta_c$  – толщина сукна перед зоной прессования, равная примерно 4 мм;  
 $\delta_{\min}$  – толщина сукна в зоне прессования, равная 3 мм;  
 $R_1$  и  $R_2$  – радиусы прессовых валов, мм.

Наличие на сукне бумаги увеличивает ширину площадки на 1 ÷ 2 мм.

Значение коэффициента А для прессов с желобчатым валом определяется по формуле

$$A = t^{0,038} \times b^{0,063} \quad , \quad (5.4)$$

где  $t$  – шаг между канавками на поверхности вала, равный 5 мм;  
 $b$  – ширина канавки, равная 0,5 мм.

Для каждой зоны прессования выбор необходимых коэффициентов производится по одному из валов. Для всех зон прессования при расчете валковых прессов сухость сукон принимается равной  $45 \div 50 \%$ , хотя для первой и второй зон она может быть несколько меньше, а для третьей и последующих зон – несколько больше.

Для отсасывающих валов ширина отсасывающих камер принимается равной  $90 \div 100$  мм, твердость резиновой оболочки – 20 единиц по прибору ТШМ – 2, вакуум в зоне прессования – 500 мм рт. ст. Расчет коэффициента  $A$  производится по формуле

$$A = H^{0,023} \times B^{0,047}, \quad (5.5)$$

где  $H$  – вакуум в отсасывающей камере, мм рт. ст.;  
 $B$  – ширина отсасывающей камеры, мм.

Пример расчета обезвоживания в прессовой части приведен в Приложении 2.

## 6. Определение числа сушильных цилиндров сушильной части

Для определения числа сушильных цилиндров следует рассчитать необходимую сушильную поверхность для повышения сухости полотна от сухости после прессовой части  $C_{пр}$  до сухости после сушильной части  $C_k$  (значения  $C_{пр}$  и  $C_k$  берутся из табл.6.1). Здесь можно воспользоваться методом удельных съёмов (удельной производительности), под которым подразумевается количество воды (кг/час), испаренной с  $1\text{ м}^2$  поверхности бумаги с сушильными цилиндрами (полезной поверхностью сушильной части) [7].

Отметим, что этот способ является достаточно приблизительным, так как не учитывает возможную установку сукносушителей, длину участков свободного хода, возможные методы интенсификации процесса сушки и поэтому применим только для предварительных прикидочных расчетов. Более точно, с учетом многих факторов, оказывающих значительное влияние на процесс сушки, число сушильных цилиндров следует рассчитывать по методике, разработанной на кафедре промышленной энергетики СПбГТУРП под руководством проф. А.П. Бельского [9].

Необходимое количество сушильных цилиндров  $n$  определяется по выражению

$$n = \frac{R \times 0.06 \times V_{пр} \times q \times 360}{m \times \pi \times D_{ц} \times \alpha}, \quad (6.1)$$

где  $R$  – постоянная;  
 $V_{пр}$  – приводная скорость машины, м/мин;  
 $q$  – масса  $1\text{ м}^2$ , г;

$m$  – удельный съем воды на сушильной части, кг / (м<sup>2</sup>×ч) (табл. 6.2) [8];  
 $D_{ц}$  – диаметр сушильного цилиндра, м;  
 $\alpha$  – угол охвата цилиндра бумагой ( $\alpha$  принимается равным  $225 \div 235^\circ$ ).

Постоянная  $R$  рассчитывается по формуле

$$R = \frac{(C_k - C_{пр})}{C_{пр}}, \quad (6.2)$$

где  $C_k$  и  $C_{пр}$  – сухости конечная (накат) и после прессовой части (табл.6.1), %.

Отметим, что приведенные в табл. 6.1 [7,8] значения сухости после прессовой части являются относительно устаревшими. Поэтому их следует принимать или исходя из известных данных по конкретным машинам, или по согласованию с руководителем.

Таблица 6.1

Концентрация бумажной массы и сухость бумаги после различных частей бумагоделательной машины

Вид бумаги	Масса 1 м <sup>2</sup> , г	Степень помола, °ШР	Сухость, %	
			после прессо- вой части	после сушильной части
Газетная	48	60 – 65	36 – 38	91 – 93
Писче-печатные № 2 и 3	60 – 65	50 – 55	34 – 38	93 – 94
Мундштучная, обойная	80 – 100	40 – 45	36 – 40	92 – 93
Писче-печатная №1	70 – 80	30 – 40	34 – 40	94 – 96
Офсетная, для глубокой печати, литографская	90 – 160	30 – 40	36 – 42	94 – 96
Чертежная, рисовальная	120 – 200	35 – 40	36 – 40	94 – 96
Картографическая, документная	70 – 90	50 – 65	36 – 40	94 – 96
Фильтровальная	55 – 75	25 – 35	36 – 40	95 – 96
Конденсаторная, 5 – 7 мк 8 – 13 мк	6 – 8,5	98	23 – 25	92 – 93
	10 – 15	96 – 97	25 – 28	92 – 93
Мешочная	70 – 78	25 – 27	32 – 35	92 – 93
Туалетная	12 – 30	18 – 32	28 – 32	94 – 95

Таблица 6.2

Удельный съем воды на сушильной части для массовых видов продукции

Вид продукции	Скорость, м/мин	Удельный съем, кг/(м <sup>2</sup> ×ч)
1	2	3
Конденсаторная: массой 1 м <sup>2</sup> 8 – 15 г 16 – 26 г	30 – 50	2,5 – 5
	50 – 80	5 – 8
Папиросная	80 – 100	10 – 12
Пергамин	125 – 200	12 – 15

Окончание табл. 6.2

1	2	3
Писчая и офсетная №1	250 – 450	17 – 18 (до 25)
Писчая и офсетная №2 и 3	350 – 500	20 – 22 (до 25)
Газетная	540 – 750	22 – 25
Мешочная и оберточная массой 1м <sup>2</sup> 45 – 75 г	600 – 650	28 – 32
Санитарно-гигиеническая массой 1м <sup>2</sup> 20– 50 г	500 – 650 300 – 400	100 – 140 25 – 28
Бумага односторонней гладкости		

## 7. Расчет мощности на привод отдельных частей бумаго- и картоноделательных машин

### 7.1. Метод тяговых усилий

Данный метод позволяет произвести определение мощности в местах ее фактического потребления с учетом особенностей конструкций и работы конкретной части машины [8].

Мощность на привод отдельной части машины равна

$$N = \sum T \times V_{пр} \times K_m \times K_v, \text{ кВт}, \quad (7.1)$$

где  $\sum T$  – сумма тяговых усилий, кН;

$V_{пр}$  – приводная скорость машины, м/с;

$K_m$  – коэффициент увеличения тягового усилия по сравнению со средним (для сеточной и прессовой частей, каландра и наката  $K_m = 1,25 \div 1,3$ ; для сушильной части  $1,25 \div 1,5$ );

$K_v$  – коэффициент увеличения скорости.

Величина последнего коэффициента для машин, работающих на скоростях больше 200 м/мин, рассчитывается по формуле

$$K_v = 1 + 0,0004 \times (V_{пр} - 200). \quad (7.2)$$

Тяговые усилия, потребляемые отдельными частями БКДМ, определяются следующим образом.

#### Сеточная часть

Суммарное тяговое усилие для приведения в движение сеточной части равняется

$$\sum T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7, \text{ кН}, \quad (7.3)$$

- где  $T_1$  – тяговое усилие для преодоления трения в подшипниковых опорах валов;  
 $T_2$  – тяговое усилие для преодоления трения на формирующем ящике;  
 $T_3$  – тяговое усилие для преодоления трения на гидропланках;  
 $T_4$  – тяговое усилие для преодоления трения шаберов о валы;  
 $T_5$  – тяговое усилие для преодоления трения на регистровых валиках;  
 $T_6$  – тяговое усилие для преодоления трения сетки по поверхности отсасывающих ящиков;  
 $T_7$  – тяговое усилие для преодоления трения в уплотнениях гауч-вала.

Для определения тягового усилия на преодоление трения в подшипниковых опорах валов используется формула

$$T_1 = Q \times f \times \frac{d}{D}, \text{ кН}, \quad (7.4)$$

- где  $Q$  – нагрузка на подшипники вала, кН;  
 $f$  – приведенный коэффициент трения ( $f = 0,02$ );  
 $d$  – диаметр цапфы вала, м;  
 $D$  – наружный диаметр вала, м.

Для грудного вала нагрузку на подшипниковые опоры  $Q_{гр}$  можно определить (приняв, что усилия от натяжения ветвей сетки действуют в горизонтальной плоскости) по формуле

$$Q_{гр} = \sqrt{G_T^2 + Q_z^2}, \text{ кН}, \quad (7.5)$$

- где  $G_T$  – вес вала, (табл. 2.1);  
 $Q_z$  – равнодействующая натяжения ветвей сетки.

$Q_z$  определяется по выражению

$$Q_z = 2 q \times b_c, \text{ кН}, \quad (7.6)$$

- где  $q$  – линейное натяжение ветвей сетки (для бронзовых сеток  $2 \div 5$  кН/м; для синтетических –  $5 \div 8$  кН/м);  
 $b_c$  – ширина сетки, м.

В первом приближении ширину сетки можно принять на 0,2 м больше обрезной ширины машины.

Для сетководущего вала при расчете нагрузки на подшипниковые опоры  $Q_{сн}$  используется формула

$$Q_{сн} = \sqrt{G_T^2 + Q_z^2 + 2G_T \times Q_z \times \cos G_T \wedge Q_z}, \text{ кН}, \quad (7.7)$$

- где  $G_T \wedge Q_z$  – угол между весом вала и равнодействующей натяжения ветвей сетки (можно принять равным  $135^\circ$ ).

Для расчета нагрузки на подшипниковые опоры гауч-вала  $Q_{г-в}$  при наличии вакуум-пересасывающего устройства, условно приняв, что все силы действуют в вертикальной плоскости, можно воспользоваться формулой

$$Q_{г-в} = G_T + Q_z + P_b - P_y, \text{ кН}, \quad (7.8)$$

- где  $G_T$  – вес гауч-вала, (табл. 2.1);  
 $P_b$  – усилие от действия вакуума;  
 $P_y$  – давление уплотнений.

Усилие от действия вакуума  $P_b$  для каждой камеры рассчитывается по формуле

$$P_b = a_k \times b_k \times H, \text{ кН}, \quad (7.9)$$

- где  $a_k$  и  $b_k$  – длина и ширина зоны отсоса камеры, м;  
 $H$  – вакуум в камере гауч-вала, кПа (см. с.12).

Усилие от давления уплотнений  $P_y$  рассчитывается по формуле

$$P_y = p \times F = p \times 2a \times (b_1 + b_2) \times (1 - \phi), \text{ кН}, \quad (7.10)$$

- где  $p$  – усилие прижима уплотнений ( $p = 50 \text{ кН/м}^2$ );  
 $F$  – площадь продольных и поперечных уплотнений,  $\text{м}^2$ ;  
 $a$  – ширина уплотнений, м;  
 $b_1$  и  $b_2$  – длина продольных и поперечных уплотнений, м;  
 $\phi$  – коэффициент перфорации (табл. 7.1).

Длину продольных уплотнений приблизительно можно взять на 0,1 м больше выбранной ранее ширины машины, а длину поперечных уплотнений при однокамерном гауч-вале равной 0,25 м, при двухкамерном: 1-я камера – 0,29 м, 2-я камера – 0,12 м.

Таблица 7.1

Характеристика перфорации гауч-валов

Диаметр вала, мм	Количество опорных прямоугольников по окружности вала	Размер прямоугольников, мм/мм	Живое сечение отверстий, %
600	28	67,3×120	25,9
700	32	68,6×120	25,4
800	36	69,8×120	24,9
915	42	68,3×120	25,5
1000	46	68,26×120	25,5
1300	58	70,37×120	24,8
1500	64	73,5×120	23,7

При отсутствии вакуум-пересасывающего устройства нагрузка на гаучвал рассчитывается по формуле

$$Q = \sqrt{(G_T + P_B + P_n - P_y)^2 + Q_z^2}, \text{ кН}, \quad (7.11)$$

где  $P_n$  – давление прижимного валика, кН.

При этом полагаем, что силы  $G_T$ ,  $P_B$ ,  $P_n$  и  $P_y$  действуют в плоскости, близкой к вертикальной.

Давление прижимного валика  $P_n$ , направленное по линии соединения центров отсасывающего и прижимного валов, равно:

$$P_n = q_n \times b, \quad (7.12)$$

где  $q_n$  – линейное давление между валами, принимаемое в пределах от 1000 до 3000 Н/м;

$b$  – длина рубашки вала (табл. 2.1), м.

Тяговое усилие для преодоления трения в подшипниковых опорах  $T_{сн}$  сетководущих валиков, расположенных снаружи сетки, равно:

$$T_{сн} = Q_{сн} \times f \times z_n \times \frac{d}{D}, \text{ кН}, \quad (7.13)$$

а для преодоления трения в подшипниковых опорах  $T_{вн}$  сетководущих валиков, расположенных внутри сетки

$$T_{вн} = Q_{вн} \times f \times z_n \times \frac{d}{D}, \text{ кН}, \quad (7.14)$$

где  $Q_{сн}$  и  $Q_{вн}$  – нагрузка на валики, расположенные снаружи и внутри сетки соответственно;

$z_n$  и  $z_n$  – количество сетководущих валиков, расположенных снаружи и внутри и сетки соответственно.

Нагрузки на валики, расположенные снаружи и внутри сетки, будут соответственно равны:

$$\begin{aligned} Q_{сн} &= G_T + Q_z, \\ Q_{вн} &= G_T - Q_z. \end{aligned}$$

Для расчета нагрузки от натяжения сетки  $Q_z$  угол охвата сеткой поверхности сетководущего валика можно принять равным  $20 \div 30^\circ$ .

Тяговое усилие для преодоления трения на формующем ящике равно:

$$T_2 = f \times b_c \times l_\phi \times h_{00} \times \rho, \text{ кН}, \quad (7.15)$$

где  $f$  – коэффициент трения сетки о поверхность формующего ящика (равен 0,15);

$b_c$  – ширина сетки, м;

$l_\phi$  – ширина формующего ящика по ходу сетки (равна 0,675 м);

$h_{00}$  – высота слоя массы, поступающей на сетку (формула 4.1), м;

$\rho$  – плотность бумажной массы ( $\rho = 10^4 \text{ Н/м}^3$ ).

Тяговое усилие, необходимое для перемещения сетки по гидропланкам, определяется по формуле (без учета вакуума на гидропланках)

$$T_3 = (G_m + G_c) \times f \text{ кН}, \quad (7.16)$$

где  $G_m$  – вес массы на сетке на участке от грудного вала до первого отсасывающего ящика;

$G_c$  – вес сетки на участке от грудного вала до первого отсасывающего ящика;

$f$  – коэффициент трения сетки по гидропланкам (табл. 7.2).

Вес массы на сетке может быть определен по формуле

$$G_m = L \times b_c \times \left( \frac{h_{oo} + h_y}{2} \right) \times \rho, \text{ кН}, \quad (7.17)$$

где  $L$  – расстояние от оси грудного вала до первого отсасывающего ящика (берется из разработанной схемы), м;

$h_y$  – высота слоя массы на сетке перед отсасывающими ящиками, м;

$\rho$  – плотность бумажной массы, равная  $1000 \text{ кН/м}^3$ .

Высота слоя массы на сетке перед отсасывающими ящиками равна :

$$h_y = \frac{q}{c_y \times 10^4}, \text{ м}, \quad (7.18)$$

где  $c_y$  – концентрация массы на сетке перед СОЯ (равна  $3 \div 4 \%$ ).

Вес сетки равен :

$$G_c = L \times b_c \times q_c, \text{ кН} \quad (7.19)$$

где  $q_c$  – вес  $1 \text{ м}^2$  сетки (для бронзовых сеток  $3 \div 4 \text{ Н}$ , для синтетических –  $1,5 \div 2 \text{ Н}$ ).

Тяговое усилие для преодоления трения шабера о вал определяется по формуле

$$T_4 = f_{ш} \times q_{ш} \times b_{ш} \text{ кН}, \quad (7.20)$$

где  $f_{ш}$  – коэффициент трения шабера о вал, равный  $0,2 \div 0,4$ ;

$q_{ш}$  – давление шабера на вал, равное  $0,15 \div 0,25 \text{ кН/м}$ ;

$b_{ш}$  – длина соприкосновения шабера с валом (равна длине рубашки вала, см. табл.2.1), м.

Тяговое усилие для преодоления трения в подшипниковых опорах регистровых валиков  $T_5$  будет определяться весом валика, нагрузкой от веса массы на сетке и весом самой сетки. Приблизительно эта нагрузка может быть рассчитана по формуле



$$Q_p = G_t + qb, \text{ кН}, \quad (7.21)$$

где  $q$  – интенсивность нагрузки на регистровый валик от веса массы на сетке и веса сетки, равная  $0,1 \div 0,3$  кН/м.

Тогда тяговое усилие для преодоления трения в подшипниках регистровых валиков будет равно :

$$T_5 = Q_p \times f \times z_p \times \frac{d}{D}, \text{ кН}, \quad (7.22)$$

где  $z_p$  – количество регистровых валиков.

Тяговое усилие для преодоления трения сетки по поверхности отсасывающих ящиков определяется по формуле

$$T_6 = f_c \times F_{\text{ж}} \times H_{\text{ср}}, \text{ кН}, \quad (7.23)$$

где  $f_c$  – коэффициент трения сетки по поверхности отсасывающих ящиков (табл. 7.2);

$F_{\text{ж}}$  – площадь отверстий отсасывающих ящиков, м<sup>2</sup>;

$H_{\text{ср}}$  – среднеарифметический вакуум в отсасывающих ящиках, кПа.

Таблица 7.2

Коэффициент трения сетки по крышкам отсасывающих ящиков

Материал крышки и сетки	Коэффициент трения
<b>Бронзовая сетка</b>	
Бук в торцевой плоскости	0,19
Бук в плоскости слоев древесины	0,23
Текстолит	0,12
Твердая резина	0,2 ÷ 0,25
Высокомолекулярный полиэтилен	0,080 ÷ 0,089
<b>Синтетическая сетка</b>	
Фторопласт	0,03
Полиуретан	0,03 ÷ 0,06
Керамическое покрытие	0,07
Карбид кремния	0,01 ÷ 0,02
Высокомолекулярный полиэтилен	0,08 ÷ 0,09

Расчет тяговых усилий для преодоления трения на мокрых и сухих отсасывающих ящиках следует проводить отдельно, так как оба типа ящиков могут иметь разные материалы крышек ящиков (следовательно, и разные коэффициенты трения сетки по поверхности ящика), разные коэффициенты перфорации крышек и достаточно сильно различающиеся значения вакуума в самих ящиках.

Площадь отверстий отсасывающих ящиков  $F_{\text{ж}}$  с учетом коэффициента перфорации  $f_n$  для мокрых отсасывающих ящиков принимается равным  $0,45 \div 0,5$ , а для сухих отсасывающих ящиков –  $0,3 \div 0,36$ , и определяется как

$$F_{ж} = f_{я} \times b_{я} \times b_{с} \times n, \text{ м}^2, \quad (7.24)$$

где  $b_{я}$  – ширина мокрого или сухого отсасывающего ящика (с. 13), м;  
 $n$  – количество МОЯ или СОЯ.

Вакуум в мокрых отсасывающих ящиках принимается равным 1 кПа в первом ящике и увеличивается на 1 кПа в каждом последующем (до  $5 \div 7$  кПа в последнем). Вакуум в сухих отсасывающих ящиках принимается из расчета, что его значение в первом СОЯ должно быть выше, чем в последнем МОЯ. Значение вакуума по ходу сетки в сухих отсасывающих ящиках  $H_i$  изменяется по зависимости

$$H_i = H_{\max} \times e^{x(z-i)}, \text{ кПа}, \quad (7.25)$$

где  $H_{\max}$  – вакуум в последнем сухом отсасывающем ящике, кПа (табл. 4.1);  
 $z$  – количество ящиков;  
 $x$  – коэффициент (табл. 4.1).

Тяговое усилие для преодоления трения уплотнений отсасывающей камеры гауч-вала о внутреннюю поверхность цилиндра вала равно :

$$T_7 = p \times F \times f \times \frac{d_0}{D}, \text{ кН}, \quad (7.26)$$

где  $p$  – давление уплотнений на внутреннюю поверхность цилиндра гауч-вала, равное 50 кПа;  
 $F$  – площадь соприкосновения уплотнений с цилиндром (см. ф. 7.10);  
 $f$  – коэффициент трения между внутренней поверхностью цилиндра и уплотнениями, равный 0,15;  
 $d_0$  – внутренний диаметр цилиндра гауч-вала.

Определив по формуле 7.3 суммарное тяговое усилие  $\Sigma T$ , следует учесть, что при достаточной мощности на привод полученная мощность распределяется поровну между гауч-валом и сеткоповоротным валом. С учетом коэффициента полезного действия редуктора, расположенного между приводной цапфой валов и электродвигателем, определяется мощность электродвигателя и подбирается его марка.

Пример расчета мощности на привод сеточной части (по схеме, показанной на рис. 2.1) приведен в Приложении 3. Примерное содержание и требования к оформлению контрольных заданий приведены в Приложениях 4 и 5.

### Прессовая часть

Суммарное тяговое усилие для приведения в движение прессовой части рассчитывается с учетом компоновочной схемы части. Прежде всего следует учесть, какие валы являются приводными, а также четко следовать правилу, что тяговое усилие для преодоления трения в каком-либо месте учитывается только один раз.

Суммарное тяговое усилие для приведения в движение прессовой части равняется:

$$\Sigma T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5, \text{ кН}, \quad (7.27)$$

где  $T_1$  – тяговое усилие для преодоления трения в подшипниках прессового вала;

$T_2$  – тяговое усилие для преодоления трения между валами;

$T_3$  – тяговое усилие для преодоления трения шабера о вал;

$T_4$  – тяговое усилие для преодоления трения в подшипниках сукноведущих валиков;

$T_5$  – тяговое усилие для преодоления трения в сукномойке.

Прежде чем начать расчет мощности на привод в прессовой части, следует четко понимать, что необходимо учитывать конструкцию прессовой части. При расчете двухвальных прессов, когда приводным является один из валов, следует учитывать все возможные составляющие обоих валов и относить их именно к этой точке привода. При расчете же многовальных комбинированных прессов, когда приводными являются или все валы или, например, все кроме одного, к мощности какого-то конкретного вала следует относить составляющие, имеющие отношение только к этому валу.

Тяговое усилие для преодоления трения в подшипниковых опорах валов  $T_1$  определяют по формуле (7.4).

Тяговое усилие для преодоления трения качения между валами  $T_2$  определяют по формуле

$$T_2 = 2k \times Q \left( \frac{1}{D_n} + \frac{1}{D_v} \right), \text{ кН}, \quad (7.28)$$

где  $k$  – коэффициент трения качения между валами, зависящий от твердости материалов соприкасающихся валов, а также от общей толщины сукна и бумаги между валами. Для прессовых валов, если нижний вал обрезиненный,  $k = 0,0007 \div 0,0016$  м, в зависимости от твердости резины и толщины сукна. Чем мягче резина и сукно, тем больше величина  $k$ ;

$Q$  – нагрузка на подшипник вала;

$D_n$  и  $D_v$  – диаметры нижнего и верхнего прессовых валов соответственно (табл. 5.1), м.

Тяговое усилие для преодоления трения шабера о вал  $T_3$  рассчитывается по формуле (7.20).

Тяговое усилие для преодоления трения в подшипниках сукноведущих валиков  $T_4$  рассчитывается по формуле (7.4). Для упрощения расчета допускается рассчитать тяговое усилие для одного самого нагруженного валика и умножить его на число сукноведущих валиков, относящихся к сукну данного прессового вала.

Тяговое усилие для преодоления трения в сукномойке  $T_5$  определяется в зависимости от типа сукномойки. Для установленных на машинах старых конструкций вальцовых сукномоек учитываются тяговые усилия для подшипников нижнего и верхнего валов (принимая во внимание охват вала сукном) и трение качения между валами. Для вакуумной щелевой сукномойки тяговое усилие находится по формуле (7.23) аналогично определению усилий на преодоление трения сетки о поверхность отсасывающих ящиков. Количество щелей в сукномойке принимается равным  $1 \div 2$  при их ширине равной  $0,01$  м, вакуум  $- 40 \div 47$  кПа.

При определении тягового усилия отсасывающего пресса дополнительно следует учесть и усилия, необходимые для того, чтобы преодолеть трение уплотнений о внутреннюю поверхность вала.

Также необходимо учесть коэффициенты увеличения скорости  $K_v$  и коэффициент увеличения нагрузки  $K_m$  (формула 7.1).

### Сушильная часть

Тяговое усилие определяется отдельно для каждой приводной сушильной группы. Это усилие будет равно [8]:

$$\Sigma T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5, \text{ кН}, \quad (7.29)$$

где  $T_1, T_2, T_3$  – тяговые усилия, обусловленные трением в подшипниках сушильных, сукносушильных (при их наличии) цилиндров и сукноведущих валиков, кН;

$T_4$  – тяговое усилие для преодоления трения шаберов о поверхность сушильных цилиндров, кН;

$T_5$  – тяговое усилие для преодоления трения в сальниковых уплотнениях сушильных и сукносушильных цилиндров, кН.

Величина  $T_1$  определяется по формуле

$$T_1 = Q_0 \times f \times \frac{d}{D} \times n, \text{ кН}, \quad (7.30)$$

где  $n$  – число сушильных цилиндров в приводной группе.

При традиционном двухъярусном симметричном расположении сушильных цилиндров нагрузку от натяжения сукна не следует учитывать, так как для цилиндров верхнего и нижнего рядов это влияние взаимно уравновешивается. При расчете нагрузки на подшипники следует учесть вес цилиндра и вес конденсата ( $75 \div 150$  кг). Для упрощения расчетов при наличии сукносушильных цилиндров (при использовании сушильных сукон) их можно отнести к сушильным цилиндрам.

Величина  $T_3$  определяется аналогично нагрузке на сетководущий валик (формула 7.4). Для сукноведущих валиков, расположенных симметрично в нижнем и верхнем ярусах сушильных цилиндров, следует учесть только вес валиков (если вес валика  $G_B$  больше равнодействующей  $Q_Z$  натяжения сукна) или только равнодействующую натяжения сукна (если  $Q_Z > G_B$ ).

Тяговое усилие  $T_4$  определяется по формуле (7.20) с учетом количества установленных шаберов.

Усилие  $T_5$  для преодоления трения в сальниках определяется по выражению (7.26):

$$T_5 = p \times F \times f \times \frac{d_0}{D} \times n_0, \text{ кН},$$

где  $n_0$  – общее число сушильных и сукносушильных (при их наличии) цилиндров.

Величина  $p$  удельного давления уплотнений (сальниковой набивки) при пневматическом прижиме для отсасывающих валов принимается равной  $50 \text{ кН/м}^2$ , для сальников в сушильных цилиндрах –  $150 \div 250 \text{ кН/м}^2$ .

При расчете мощности на привод сушильной части высокоскоростных машин, у которых сушильные цилиндры расположены в один ряд и имеются в компоновке вакуумные валики, методика расчета принципиально не будет отличаться от рассмотренной выше.

В сушильной части следует учесть также коэффициент полезного действия привода сушильной части:

$$\eta = \frac{n}{\frac{n_1}{\eta_1} + \frac{n_2}{\eta_2} + \dots + \frac{n_k}{\eta_k}}, \quad (7.31)$$

где  $n$  – общее число цилиндров в приводной группе;

$n_1$  – число цилиндров, привод которых (от приводной шестерни) осуществлен посредством одной зубчатой передачи;

$n_2$  – число цилиндров, привод которых осуществляется посредством двух зубчатых передач;

$n_k$  – число цилиндров, привод которых осуществляется посредством зубчатых передач;

$\eta$  – коэффициент полезного действия одной зубчатой передачи.

### Каландр

Общее тяговое усилие для каландра равно [8]:

$$\Sigma T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4, \text{ кН}, \quad (7.32)$$

где  $T_1$  – тяговое усилие для преодоления в подшипниках нижнего вала, а в случае дополнительного прижима - и в подшипниках верхнего вала, кН (определяется по формуле 7.4);

$T_2$  – тяговое усилие для преодоления трения шаберов, кН (определяем по формуле 7.20 с учетом количества шаберов);

$T_3$  – тяговое усилие для преодоления трения скольжения между валами, кН.

$T_4$  – тяговое усилие, обусловленное трением качения между валами, кН.

Тяговое усилие для преодоления трения скольжения между валами  $T_3$

рассчитывается по формуле

$$T_3 = \frac{\alpha \times f \times Q_d}{100}, \text{ кН}, \quad (7.33)$$

где  $\alpha$  – скольжение между валами, % (обычно принимается равным  $\alpha = 0,05 \div 0,1\%$ );

$f$  – коэффициент скольжения вала по бумаге (обычно  $f=0,3$ );

$Q_d$  – давление между рассматриваемым и нижележащим валом, являющимся приводным для данной пары, кН.

Тяговые усилия для преодоления трения скольжения определяется для всех валов, за исключением нижнего приводного, а затем суммируются.

При расчете тяговых усилий на преодоление трения качения  $T_4$  следует его рассчитывать отдельно для каждой пары по формуле (7.28), с учетом давления между валами. При  $n$  валах на каландре число пар их будет  $n - 1$ .

### Накат

Общее тяговое усилие для наиболее распространенного периферического наката равно

$$\Sigma T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6, \text{ кН}, \quad (7.34)$$

где  $T_1$  – тяговое усилие для наматывания бумаги, кН;

$T_2$  и  $T_3$  – тяговое усилие для преодоления трения в подшипниках цилиндра наката и тамбурного вала, кН (определяются по формуле 7.4);

$T_4$  – тяговое усилие для преодоления трения качения между цилиндром наката и наматываемым рулоном, кН (определяется по формуле 7.28);

$T_5$  – тяговое усилие для преодоления трения шабера о цилиндр наката, кН (определяются по формуле 7.4);

$T_6$  – тяговое усилие для преодоления трения бумаги по длине наката, кН.

Величина  $T_1$  равна :

$$T_1 = q \times b, \text{ кН}, \quad (7.35)$$

где  $q$  – линейное натяжение бумаги между каландром и накатом в зависимости от веса и вида бумаги, кН/м;

$b$  – ширина бумаги, м.

Величина  $T_6$  для неподвижной дуги равна :

$$T_6 = 2 \times q \times b \times f_6 \times \sin \frac{\alpha}{2}, \text{ кН}, \quad (7.36)$$

где  $q$  – линейное натяжение бумаги, кН/м (при массе  $1 \text{ м}^2$  равной  $60 \text{ г/м}^2$  -  $0,4 \text{ кН/м}$ ,  $100 \text{ г/м}^2$  -  $0,6 \text{ кН/м}$ ,  $200 \text{ г/м}^2$  -  $1,05 \text{ кН/м}$ );

$b$  – ширина бумаги, м;

$f_6$  – коэффициент трения бумаги по дуге ( $f_6 = 0,2 \div 0,3$ );

$\alpha$  – угол охвата бумаги дугой.



Приведенные данные могут быть использованы для определения мощности плоскосеточной сеточной части, двухвальных прессов прессовой части, а также сушильной части, каландра и наката машин средней ширины (до 6,72 м) и малой или средней скоростей, вырабатывающих массовые виды продукции.

Аналогичная формула может быть использована для расчета мощности на привод двухсеточных сеточных частей, многовальных комбинированных прессов прессовой части и остальных частей более современных машин [2]:

$$N = 1,67 \times 10^{-5} \times f_{cp} \times B \times V_{пр}, \text{ кВт}, \quad (7.38)$$

где  $f_{cp}$  – удельный показатель, кВт//м/мин×м (значения  $f_{cp}$  приведены в табл. 7.4).

Таблица 7.4

Средние значения тяговых усилий, отнесенных к 1 м ширины сетки

Наименование секций и приводных валов	$f_{cp}$ , кВт//м/мин×м
1	2
<b>Сеточная часть</b>	
Двухсеточные формующие устройства:	
Пери-формер:	
- сетководущий вал	1150
Дуо-формер:	
- формующий вал	1120*
	1000**
- отсасывающий гауч-вал	1390*
	1000**
Сим-формер:	
- сетководущий вал нижней сетки	3930
- отсасывающий гауч вал	3090
- сетконаправляющий (подсеточный) вал	440
- сетководущий вал верхней сетки	1750
Бел-Бей-формер:	
- формующий вал	930
- отсасывающий гауч-вал	930
- сетководущий вал	930
<b>Прессовая часть</b>	
Многовальные комбинированные прессы:	
- вакуум-пересасывающий вал	490
- пересасывающе-отсасывающий вал	1780
- отсасывающий обрезающий 2-х, 3-х камерный, линейное давление до 80 кН/	2190

• при выработке писче-печатных видов бумаг.  
 \*\* при выработке газетной бумаги.



Окончание табл. 7.4

1	2
- металлический желобчатый вал, линейное давление до 80 кН/м	640
- обрешиненный желобчатый вал, линейное давление до 80 кН/м	900
- центральный (гранитный) вал:	
диаметр менее 1,1 м	470
диаметр от 1,1 до 1,5 м	640
диаметр более 1,5 м, линейное давление до 120 кН/м	770
- вал плавающий с регулируемым прогибом нижний:	
скорость до 10 м/с	1430
скорость более 10 м/с, линейное давление до 120 кН/м	2000
- вал плавающий с регулируемым прогибом верхний:	
скорость до 10 м/с	1890
скорость более 10 м/с, линейное давление до 120 кН/м	2640
- сукноведущий вал:	
натяжение сукна до 2 кН/м	20
натяжение сукна от 2 до 5 кН/м	36
- щелевая сукномойка (ширина сукна до 0,01 м, вакуум до 40 кПа)	80
<b>Шабер:</b>	
- линейное давление до 0,1 кН/м	20
- линейное давление от 0,1 до 0,4 кН/м	80
<b>Валы двухвальных прессов и вальцовых сукномоек (линейное давление до 50 кН/м):</b>	
- отсасывающий обрешиненный однокамерный	770
- отсасывающий металлический однокамерный	660
- обрешиненный	600
- твердый	490
- верхний вал сглаживающего пресса	430
- нижний вал сглаживающего пресса	710
- мягкий вал клеильного пресса	470
- твердый бумаговедущий	30
<b>Сушильная часть</b>	
<b>Сушильный цилиндр в группе:</b>	
- приводной отдельный сушильный цилиндр	400
- холодильный цилиндр	630
<b>Каландр</b>	
2-вальный	1600
4-вальный	2190
6-вальный	3000
<b>Накат</b>	
Цилиндр наката	830
Тамбурный вал	100

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### ПРИЛОЖЕНИЕ 1

#### Пример расчета обезвоживания бумажного полотна на отсасывающей части сеточного стола картоноделательной машины

Картоноделательная машина вырабатывает коробочный картон из 100 % макулатуры.

Исходные данные

- скорость сеточной части,  $V_c - 2,19$  м/с;
- масса  $1 \text{ м}^2$  картона,  $q_1 - 298$  г а.с.в.;
- степень помола массы в баке постоянного уровня,  $^\circ\text{ШР}_1 - 28$   $^\circ\text{ШР}$ ;
- количество отсасывающих ящиков,  $z_1 - 12$ ;
- ширина отсасывающего ящика,  $b_y - 0,3$  м;
- коэффициент перфорации крышек отсасывающих ящиков,  $f_1 - 0,3$ ;
- количество отсасывающих камер гауч-вала  $z_2 - 2$ ;
- ширина отсасывающих камер гауч-вала,  $L_{Г1}$  и  $L_{Г2} - 0,19$  и  $0,122$  м;
- коэффициент перфорации рубашки гауч-вала,  $f_2 - 0,6$ ;
- значения коэффициентов уравнения регрессии для расчета эффективного времени обезвоживания,  $a_0 = 0,324$  и  $a_1 = -0,484$ ;
- максимальный вакуум в отсасывающих ящиках,  $H_{\text{max}} - 30$  кПа;
- значение коэффициента для расчета вакуума в отсасывающих ящиках  $x$ ,  $- 0,075$ ;
- масса  $1 \text{ м}^2$  бумажной массы, испытанной на лабораторной установке,  $q_2 - 295$  г а.с.в.;
- степень помола бумажной массы, испытанной на лабораторной установке,  $^\circ\text{ШР}_2 - 31$   $^\circ\text{ШР}$ ;
- вакуум в отсасывающих камерах гауч-вала,  $H_{Г1}$  и  $H_{Г2} - 60$  и  $80$  кПа;
- концентрация осевшего слоя (4%) в соответствии с расчетом обезвоживания на регистровой части достигается после 2-го СОЯ, т.е.  $n_1=2$  (отсюда количество обезвоживающих и стабилизирующих отсасывающих ящиков  $n_2 + n_3 = 10$ ).
- значения коэффициентов для расчета обезвоживания:  $C_{\text{max}} = 32$ ;  
 $a = 0,2$ ;  $b = 3,6$ ;  $\beta = 0,2$ .

1. Рассчитываем вакуум в сухих отсасывающих ящиках\*:

$$H_3 = H_{\text{max}} e^{-x(z_1-1)} = 30 \cdot e^{-0,075 \cdot (12-3)} = 15,3 \text{ кПа.}$$

Аналогично рассчитываем вакуум в 4-12 СОЯ:

$$H_4 = 16,5 \text{ кПа; } H_5 = 17,7 \text{ кПа; } H_6 = 19,1 \text{ кПа; } H_7 = 20,6 \text{ кПа; } H_8 = 22,2 \text{ кПа; } H_9 = 24,0 \text{ кПа; } H_{10} = 25,8 \text{ кПа; } H_{11} = 27,8 \text{ кПа; } H_{12} = 30 \text{ кПа.}$$

\*Вакуум рассчитывается с третьего отсасывающего ящика, так как первые два ящика, согласно исходным данным относятся к регистровой части.

2. Рассчитываем средний вакуум в отсасывающих ящиках:

$$H_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{z_1} = \frac{15,3 + 16,5 + 17,7 + 19,1 + 20,6 + 22,2 + 24,0 + 25,8 + 27,8 + 30,0}{10} = 21,9 \text{ кПа.}$$

3. Определяем значение эффективного времени обезвоживания на отсасывающих ящиках:

$$t_3 = 10^{a_0 + a_1 \lg H_{cp}} = 10^{0,324 - 0,484 \lg 21,9} = 0,473 \text{ с.}$$

4. Определяем фактическое значение эффективного времени обезвоживания с учетом различия массы  $1 \text{ м}^2$  и степени помола рассчитываемого вида продукции и массы-аналога:

$$t_{эф} = t_3 \cdot \left(\frac{q_1}{q_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{0_{ШР1}}{0_{ШР2}}\right)^3 = 0,473 \cdot \left(\frac{298}{295}\right)^2 \cdot \left(\frac{28}{31}\right)^3 = 0,356 \text{ с.}$$

5. Рассчитываем время нахождения бумажного полотна над отсасывающим ящиком

$$t_4 = \frac{f_1 L}{V} = \frac{0,3 \cdot 0,3}{2,19} = 0,0411 \text{ с.}$$

6. Определяем количество обезвоживающих отсасывающих ящиков

$$n_2 = \frac{t_{эф}}{t_2} = \frac{0,356}{0,0411} = 8,66 \text{ ящиков,}$$

т.е. в обезвоживании участвуют 3 ÷ 10-е отсасывающие ящики целиком и 0,66 11-го отсасывающего ящика. Остальная часть 11-го ящика и 12-й ящик относятся к стабилизирующим и в обезвоживании не участвуют ( $n = 12 - 2 - 8,66 = 1,34$ ).

7. Определяем эффективный импульс обезвоживания на 3 ÷ 11 отсасывающих ящиках. На 3-м СОЯ он составит:

$$I_3 = H_3 \times t_4 = 15,3 \times 0,0411 = 0,629 \text{ кПа·с.}$$

Аналогично рассчитываем эффективные импульсы л на 4 ÷ 11 ящиках:

$$I_4 = 0,678 \text{ кПа·с; } I_5 = 0,727 \text{ кПа·с; } I_6 = 0,785 \text{ кПа·с; } I_7 = 0,847 \text{ кПа·с; } I_8 = 0,912 \text{ кПа·с; } I_9 = 0,985 \text{ кПа·с; } I_{10} = 1,06 \text{ кПа·с; } I_{11} = 27,8 \times 0,0411 \times 0,66 = 0,754 \text{ кПа·с.}$$

8. Определяем суммарный эффективный импульс на 3 ÷ 11 отсасывающих ящиках:

$$I_3 = 0,629 \text{ кПа·с; } I_{\Sigma 4} = 0,629 + 0,678 = 1,307 \text{ кПа·с; } I_{\Sigma 5} = 1,307 + 0,727 = 2,034 \text{ кПа·с.}$$

Аналогично для 6÷11 СОЯ будем иметь:

$$I_{\Sigma 6} = 2,819 \text{ кПа}\cdot\text{с}; I_{\Sigma 7} = 3,66 \text{ кПа}\cdot\text{с}; I_{\Sigma 8} = 4,578 \text{ кПа}\cdot\text{с}; I_{\Sigma 9} = 5,564 \text{ кПа}\cdot\text{с}; \\ I_{\Sigma 10} = 6,624 \text{ кПа}\cdot\text{с}; I_{\Sigma 11} = 7,378 \text{ кПа}\cdot\text{с}.$$

$$\text{Итак: } I_{\Sigma \text{оя}} = 7,378 \text{ кПа}\cdot\text{с}.$$

9. Определяем сухость бумажного полотна после отсасывающих ящиков:

$$C_{\text{оя}} = \frac{C_{\text{max}}}{a + e^{be^{-\beta I_{\Sigma \text{оя}}}}} = \frac{32}{0,2 + e^{3,6e^{-0,2 \cdot 7,378}}} = 12,92\%.$$

10. Рассчитываем средний вакуум в камерах гауч-вала

$$H_{\text{ср г-в}} = \frac{\sum_{i=1}^{z2} H_i}{z} = \frac{60 + 80}{2} = 70 \text{ кПа}.$$

11. Определяем значение эффективного времени обезвоживания на гауч-вале:

$$t_{\text{э2-в}} = 10^{a_0 + a_1 \lg H_{\text{ср2-в}}} = 10^{0,324 - 0,484 \lg 70} = 0,473 \text{ с}.$$

12. Определяем фактическое значение эффективного времени обезвоживания на гауч-вале:

$$t_{\text{э2-в}} = t_{\text{э2-в}} \cdot \left(\frac{q_1}{q_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{0 \text{ ШП}_1}{0 \text{ ШП}_2}\right)^3 = 0,27 \cdot \left(\frac{298}{295}\right)^2 \cdot \left(\frac{28}{31}\right)^3 = 0,203 \text{ с}.$$

13. Рассчитываем время нахождения бумажного полотна над камерами гауч-вала:

$$t_{\text{Iг-в}} = \frac{f_2 L_1}{V} = \frac{0,6 \times 0,19}{2,19} = 0,0521 \text{ с}; \\ t_{\text{IIг-в}} = \frac{f_2 L_2}{V} = \frac{0,6 \times 0,122}{2,19} = 0,0334 \text{ с}.$$

14. Так как фактическое значение эффективного времени обезвоживания больше времени нахождения бумажного полотна над камерами гауч-вала, то при определении эффективного импульса в расчет идут найденные в п.13 значения  $t_{\text{Iг-в}}$  и  $t_{\text{IIг-в}}$ :

$$t_{\text{Iг-в}} = I_{\Sigma \text{оя}} + H_{\Sigma} \times t_{\text{Iг-в}} = 7,378 + 60 \times 0,0521 = 10,504 \text{ кПа}\cdot\text{с}; \\ t_{\text{IIг-в}} = I_{\Sigma \text{г-в}} + H_{\Sigma} \times t_{\text{IIг-в}} = 10,504 + 80 \times 0,0334 = 13,176 \text{ кПа}\cdot\text{с}.$$

15. Определяем сухость бумажного полотна после гауч-вала:

$$C_{2-e} = \frac{C_{max}}{a + e^{be^{-\beta/\Sigma_{2-e}}}} = \frac{32}{0,2 + e^{3,6e^{-0,2 \cdot 13,507}}} = 12,92\%.$$

Таким образом, проведенный расчет обезвоживания на отсасывающей части сеточного стола КДМ, вырабатывающей коробочный картон массой  $1 \text{ м}^2$  298 г на скорости 2,19 м/с (131,4 м/мин), показал, что при заданном распределении вакуума число обезвоживающих отсасывающих ящиков составит 8,66, а стабилизирующих – 1,34. Сухость после отсасывающих ящиков будет равна 12,92%, а после гауч-вала – 21,72%, что достаточно для обеспечения стабильной работы КДМ.

Расчет обезвоживания бумажного полотна в отсасывающей части сеточных столов БКДМ следует производить в комплексе с расчетами в регистровой части, прессовой и сушильных частях.

Возможность на стадии проектирования определить потенциальные возможности БКДМ с точки зрения обезвоживания является несомненным достоинством данного способа, особенно в случае выработки на одной машине продукции нескольких видов. Впрочем, это исключительно важно и для всей технологической цепочки производства бумаги или картона, поскольку любой тип оборудования, выпадающий на нее, будет оказывать ограничивающее действие на всю цепочку.

Правильно запланированный режим обезвоживания позволяет обеспечить максимально возможный срок службы оборудования, минимальную энергоемкость.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

**Пример расчета обезвоживания бумажного полотна в прессовой части**

**Исходные данные**

Расчет обезвоживания производится для 4-вального комбинированного пресса (Сим-пресс), в состав которого входят: нижний и верхний желобчатые валы диаметром 825 мм, отсасывающий и 3- камерный вал диаметром 1410 мм и гранитный вал диаметром 1600 мм. Прессовая часть входит установлена на машине, вырабатывающей газетную бумагу массой  $1 \text{ м}^2 q_6 = 45 \text{ г}$  (при степени помола массы  $80 \text{ }^\circ\text{ШР}$ ) на скорости  $V_{\text{пр}} = 1098 \text{ м/мин}$ .

Расчет сводится к определению сухости бумаги после каждой зоны прессования и производится по формуле 5.1

$$C_k = \frac{A \times \alpha_0 \times m_0 \times p_{\text{ср}}^{\gamma} \times C_c^{\theta} \times C_0^{\omega} \times q_6^{\beta}}{V_{\text{пр}} \times 80^{\psi}}, \%$$

Первая зона прессования образована желобчатым и отсасывающим валами, линейное давление прессования между которыми равно  $70 \text{ кг/см}$ .

Среднее удельное давление между валами, определяемое по формуле 5.2, равно

$$P_{\text{ср}} = \frac{21,74 \times q^{0,737}}{D^{0,4} \times T^{0,275}}, \text{ кг/см}^2.$$

$$P_{\text{ср}} = \frac{21,74 \times 70^{0,737}}{0,825^{0,4} \times 20^{0,275}} = 12,1 \text{ кг/см}^2.$$

$$C_k = \frac{0,983 \times 1,04 \times 41,7 \times 12,1^{0,147} \times 50^{0,07} \times 17^{0,131} \times 45^{0,1}}{1098 \times 80^{0,272}} = 30,4 \%$$

Остальные исходные данные и результаты расчетов для всех зон обезвоживания в прессовой части сведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов для расчета сухости бумажного полотна в 4 – вальном комбинированном прессе, исходных величин и сухости бумаги после каждой зоны прессования

Наименование коэффициентов и величины	Зоны прессования		
	I	II	III
Линейное давление прессования, $q$ , кг/см	70	80	90
Удельное давление, $p_{ср}$ , кг/см <sup>2</sup>	12,1	13,35	18,9
Степень помола, °ШР	80	80	80
Масса 1 м <sup>2</sup> бумаги, $q_б$ , г	45	45	45
Скорость валов, $V_{пр}$ , м/мин	1098	1098	1098
Сухость сукна, $C_c$ , %	50	50	50
Коэффициент $A$	0,983	1,43	0,983
Коэффициент $\alpha_0$	1,04	1,08	1,04
Коэффициент $m_0$	41,7	36,1	41,7
Коэффициент $\gamma$	0,147	0,123	0,147
Коэффициент $\theta$	0,07	0,07	0,07
Коэффициент $\omega$	0,131	0,127	0,131
Коэффициент $\beta$	0,1	0,026	0,1
Коэффициент $\epsilon$	0,067	0,055	0,067
Коэффициент $\psi$	0,272	0,272	0,272
Сухость бумаги на входе, $C_0$ , %	17,0	30,4	34,9
Сухость бумаги на выходе из зоны прессования, $C_k$ , %	30,4	34,9	35,8

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### Расчет мощности на привод сеточной части бумагоделательной машины

#### Исходные данные

- бумагоделательная машина (для расчета взята схема сеточной части с рис. 2.1) вырабатывает газетную бумагу массой  $1\text{ м}^2 - 48\text{ г}$ ;
- обрезная ширина полотна –  $6,72\text{ м}$ ;
- приводная скорость машины –  $1000\text{ м/мин}$ ;
- сеточная часть оборудована обезвоживающими элементами:
  - формующим ящиком шириной  $0,675\text{ м}$ ,
  - 5 ящиков с 3 гидропланками, установленными с шагом  $375\text{ мм}$ ;
  - 5 ящиков с 5 гидропланками, установленными с шагом  $250\text{ мм}$  (общая длина участка с гидропланками составляет  $10,71\text{ м}$ );
  - 3-мя мокрыми отсасывающими ящиками шириной  $0,42\text{ м}$  (коэффициент перфорации  $0,5$ ; вакуум в ящиках равен: в 1 –  $1\text{ кПа}$ , во 2 –  $2\text{ кПа}$ , в 3 –  $3\text{ кПа}$ );
  - между 1 и 2 МОЯ для интенсификации процесса обезвоживания установлен гладкий регистровый валик диаметром  $430\text{ мм}$ ;
  - 9-ю сухими отсасывающими ящиками шириной  $0,3\text{ м}$  (коэффициент перфорации  $0,36$ ),
  - в нижней ветви имеются по 4 сетководущих валика, расположенных снаружи и внутри сетки диаметром  $0,542$  и  $0,48\text{ м}$  соответственно.

Общее тяговое усилие для привода сетки в движение будет равно

$$T = T_{\text{в}} + T_{\text{ш}} + T_{\text{фя}} + T_{\text{гп}} + T_{\text{моя}} + T_{\text{соя}} + T_{\text{у}}, \text{ кН,}$$

где  $T_{\text{в}}$  – тяговое усилие для преодоления трения в подшипниковых опорах валов;

$T_{\text{ш}}$  – тяговое усилие для преодоления трения шаберов о валы;

$T_{\text{фя}}$  – тяговое усилие для преодоления трения по формующему ящику;

$T_{\text{гп}}$  – тяговое усилие для преодоления трения на гидропланках;

$T_{\text{моя}}$  – тяговое усилие для преодоления трения по мокрым отсасывающим ящикам;

$T_{\text{соя}}$  – тяговое усилие для преодоления трения по отсасывающим ящикам;

$T_{\text{у}}$  – тяговое усилие для преодоления трения уплотнений в гауч-вале.

Перед расчетом потерь в подшипниках необходимо рассчитать для каждого конкретного случая действующие на валы нагрузки. Вариант результатов таких расчетов приведен в табл. 2.

Тяговое усилие для преодоления трения в подшипниках грудного вала  $T_{\text{гп}}$  равно

$$T_{\text{гп}} = Q_{\text{гп}} \times f \times \frac{d}{D}, \text{ кН,}$$

где  $Q_{\text{гп}}$  – нагрузка на грудной вал;



$f$  – приведенный коэффициент трения в подшипнике, отнесенный к диаметру цапфы (для роликовых подшипников равен 0,02);  
 $d$  и  $D$  – диаметры цапфы и вала соответственно.

Таблица 2

Характеристики валов и действующие на валы нагрузки

Наименование вала	Диаметр вала, мм	Диаметр цапфы, мм	Нагрузка на вал, кН
Грудной вал	900	150	106
Гауч-вал	1300	680	218,45
Сеткоповоротный вал	900	180	74
Регистровый валик	430	60	-
Сетководущие валики снаружи сетки	542	95	35
Сетководущие валики внутри сетки	480	95	15

$$T_{гр} = 106 \times 0,02 \times \frac{0,15}{0,9} = 0,355 \text{ кН.}$$

Тяговое усилие для преодоления трения в подшипниках гауч-вала  $T_{гв}$  равно

$$T_{гв} = Q_{гв} \times f \times \frac{d}{D}, \text{ кН,}$$

где  $Q_{гв}$  – нагрузка на гауч-вал.

$$T_{гв} = 218,45 \times 0,02 \times \frac{0,68}{1,3} = 2,3 \text{ кН.}$$

Тяговое усилие для преодоления трения в подшипниках сеткоповоротного вала  $T_{сп}$  равно

$$T_{сп} = Q_{сп} \times f \times \frac{d}{D}, \text{ кН,}$$

где  $Q_{сп}$  – нагрузка на сеткоповоротный вал.

$$T_{сп} = 74 \times 0,02 \times \frac{0,18}{0,9} = 0,3 \text{ кН.}$$

Тяговое усилие для преодоления трения в подшипниках регистрового валика определяется весом валика, нагрузкой от веса массы и сетки. Нагрузка на валик будет равна

$$Q_p = G_b + q \times b_c, \text{ кН,}$$

где  $G_b$  – вес регистрового валика;

$q$  – интенсивность нагрузки на валик от веса массы и сетки, равная  $100 \pm 300 \text{ Н/м}$ ;

$b_c$  – ширина сетки, м.

$$Q_p = 14 + 0,2 \times 6,9 = 15,38 \text{ кН.}$$

Тяговое усилие для преодоления трения в подшипниках регистрового валика составит

$$T_p = Q_p \times f \times \frac{d}{D}, \text{ кН,}$$

где  $Q_p$  – нагрузка на регистровый валик.

$$T_p = 15,38 \times 0,02 \times \frac{0,06}{0,43} = 0,0425 \text{ кН.}$$

Тяговое усилие для преодоления трения в подшипниках сетководущих валиков  $T_{сн}$ , расположенных снаружи сетки, равно

$$T_{сн} = Q_{сн} \times f \times \frac{d}{D} \times z_{сн}, \text{ кН,}$$

где  $Q_{сн}$  – нагрузка на сетководущий валик, расположенный снаружи сетки;

$z_{сн}$  – количество сетководущих валиков, расположенных снаружи сетки.

$$T_{сн} = 35 \times 0,02 \times \frac{0,095}{0,542} \times 4 = 0,49 \text{ кН.}$$

Тяговое усилие для преодоления трения в подшипниках сетководущих валиков  $T_{вн}$ , расположенных внутри сетки, равно

$$T_{вн} = Q_{вн} \times f \times \frac{d}{D} \times z_{вн}, \text{ кН,}$$

где  $Q_{вн}$  – нагрузка на сетководущий валик, расположенный внутри сетки;

$z_{вн}$  – количество сетководущих валиков, расположенных внутри сетки.

$$T_{вн} = 15 \times 0,02 \times \frac{0,095}{0,48} \times 4 = 0,24 \text{ кН.}$$

Таким образом, общая нагрузка на преодоление трения в подшипниках валов  $T_b$  составит:

$$\begin{aligned} T_b &= T_{гp} + T_{гв} + T_{сн} + T_p + T_{сн} + T_{вн} = \\ &= 0,355 + 2,3 + 0,3 + 0,0425 + 0,49 + 0,24 = 3,73 \text{ кН.} \end{aligned}$$

Тяговое усилие для преодоления трения шабера о поверхность грудного вала равно:

$$T_{грш} = f_{ш} \times q_{ш} \times b_{ш}, \text{ кН},$$

где  $f_{ш}$  – коэффициент трения шабера о вал, равный  $0,2 \div 0,25$ ,  
 $q_{ш}$  – давление шабера на вал ( $0,15 \div 0,25$  кН/м);  
 $b_{ш}$  – длина соприкосновения шабера с валом, м.

$$T_{грш} = 0,2 \times 0,25 \times 7,1 = 0,355 \text{ кН}.$$

Тяговое усилие для преодоления трения шаберов о поверхность сетководущих валиков равно:

$$T_{сш} = f_{ш} \times q_{ш} \times b_{ш} \times (z_{вн} + z_{сн}) = 0,2 \times 0,25 \times 7 \times (4 + 4) = 2,84 \text{ кН}.$$

Тяговое усилие для преодоления трения шаберов о поверхность валов и валиков сеточной части  $T_{ш}$  будет равно

$$T_{ш} = T_{грш} + T_{сш} = 0,355 + 2,84 = 3,195 \text{ кН}.$$

Тяговое усилие для преодоления трения о поверхность формирующего ящика равно:

$$T_{\phi} = f \times b_c \times l_{\phi} \times h_{\infty} \times \rho, \text{ кН},$$

где  $f$  – коэффициент трения сетки о поверхность формирующего ящика;  
 $b_c$  – ширина сетки, м;  
 $l_{\phi}$  – ширина формирующего ящика, м;  
 $h_{\infty}$  – высота слоя массы, поступающего на сетку (формула 4.1);  
 $\rho$  – плотность массы ( $10$  кН/м<sup>3</sup>).

$$h_{\infty} = \frac{q}{C_{сл} \cdot 10^4} \cdot \frac{C_{сл} - C_{рег}}{C_{ня} - C_{рег}}, \text{ м}.$$

$$h_{\infty} = \frac{48}{7 \times 10^4} \times \frac{7 - 0,2}{0,7 - 0,2} = 0,00932 \text{ м}.$$

$$T_{\phi} = 0,15 \times 6,9 \times 0,675 \times 0,00932 \times 10 = 0,065 \text{ кН}.$$

Тяговое усилие для преодоления трения на гидропланках равно:

$$T_{гп} = (G_m + G_c) \times f, \text{ кН},$$

где  $G_m$  – вес массы на сетке на участке от оси грудного вала до первого мокрого отсасывающего ящика;

$G_c$  – вес сетки на сетке на участке от оси грудного вала до первого мокрого отсасывающего ящика;

$f$  – коэффициент трения сетки по гидропланкам (табл. 7.2).

Вес массы на сетке определяется по формуле

$$G_m = L \times b_c \times \left( \frac{h_{00} + h_y}{2} \right) \times \rho, \text{ кН},$$

где  $L$  – расстояние от оси грудного вала до первого мокрого отсасывающего ящика (берется из самостоятельно разработанной схемы сеточной части), м;

$b_c$  – ширина сетки, м;

$h_{00}$  – высота слоя массы, поступающего на сетку, м;

$h_y$  – толщина слоя массы на сетке перед мокрыми отсасывающими ящиками, м;

$\rho$  – плотность бумажной массы, кН/м<sup>3</sup>.

Высота слоя массы перед мокрыми отсасывающими ящиками определяется как

$$h_y = \frac{q_6}{C_y \times 10^4}, \text{ м},$$

где  $q_6$  – масса 1 м<sup>2</sup>, г;

$C_y$  – концентрация массы перед мокрыми отсасывающими ящиками (для массовых видов продукции составляет 2 ÷ 2,5%).

$$h_y = \frac{48}{2,5 \times 10^4} = 0,00192 \text{ м}.$$

Вес массы на сетке равен:

$$G_m = 10,71 \times 6,9 \times \left( \frac{0,00932 + 0,00192}{2} \right) \times 10 = 7,6 \text{ кН}.$$

Вес сетки на участке с гидропланками определяется по формуле

$$G_c = L \times b_c \times q_c = 10,71 \times 6,9 \times 2 \times 10^{-3} = 0,148 \text{ кН}.$$

Тогда тяговое усилие для преодоления трения на гидропланках составит:

$$T_{тн} = (7,6 + 0,148) \times 0,089 = 0,69 \text{ кН}.$$

Тяговое усилие для преодоления трения по крышкам мокрых отсасывающих ящиков

$$T_{\text{моя}} = f_c \times F_{\text{моя}} \times \rho_{\text{ср, моя}}, \text{ кН}.$$

Площадь отверстий мокрых отсасывающих ящиков  $F_{\text{моя}}$  равна:

$$F_{\text{моя}} = f \times b_{\text{моя}} \times b_c \times n, \text{ м}^2 = 0,5 \times 0,42 \times 6,9 \times 3 = 4,35 \text{ м}^2.$$

Среднеарифметическое значение вакуума в МОЯ равно:

$$p_{\text{ср моя}} = \frac{p_1 + p_2 + p_3}{3} = \frac{1 + 2 + 3}{3} = 2 \text{ кПа.}$$

Тяговое усилие для преодоления трения по мокрым отсасывающим ящикам

$$T_{\text{моя}} = 0,089 \times 4,35 \times 2 = 0,774 \text{ кН.}$$

Тяговое усилие для преодоления трения по крышкам сухих отсасывающих ящиков

$$T_{\text{соя}} = f_c \times F_{\text{соя}} \times p_{\text{ср соя}}, \text{ кН.}$$

Площадь отверстий сухих отсасывающих ящиков  $F_{\text{соя}}$  равна:

$$F_{\text{соя}} = f \times b_{\text{соя}} \times b_c \times n = 0,3 \times 0,3 \times 6,9 \times 9 = 5,4 \text{ м}^2.$$

Значение вакуума в СОЯ равно:

$$H_j = H_{\text{max}} \times e^{-x(z-i)}, \text{ кПа.}$$

Вакуум в первом и втором сухих отсасывающих ящиках равен:

$$H_1 = 26,5 \times 2,71^{-0,142(9-1)} = 8,5 \text{ кПа.}$$

$$H_2 = 26,5 \times 2,71^{-0,142(9-2)} = 9,8 \text{ кПа.}$$

Аналогично определяются значения вакуума в остальных отсасывающих ящиках:  $H_3 = 11,3 \text{ кПа}$ ,  $H_4 = 13,1 \text{ кПа}$ ,  $H_5 = 15,0 \text{ кПа}$ ,  $H_6 = 17,3 \text{ кПа}$ ,  $H_7 = 20,0 \text{ кПа}$ ,  $H_8 = 23,0 \text{ кПа}$ ,  $H_9 = 26,5 \text{ кПа}$ .

Среднеарифметическая величина вакуума в СОЯ составит:

$$p_{\text{ср}} = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 + p_8 + p_9}{9} = \frac{8,5 + 9,8 + 11,3 + 13,1 + 15,0 + 17,3 + 20,0 + 23,0 + 26,5}{9} = 16,1 \text{ кПа.}$$

$$T_{\text{соя}} = 0,089 \times 5,4 \times 16,1 = 7,74 \text{ кН.}$$

Тяговое усилие для преодоления трения об уплотнения отсасывающей камеры гауч-вала о внутреннюю поверхность цилиндра вала

$$T_y = p \times F \times f \times \frac{d_0}{D}, \text{ кН.}$$

$$T_y = 50 \times 2 \times 6,9 \times 0,025 \times 0,15 \times \frac{1,21}{1,3} = 2,4 \text{ кН.}$$

Суммарное тяговое усилие, необходимое для приведения сеточной части в движение будет равно :

$$T = 3,73 + 3,195 + 0,065 + 0,69 + 0,774 + 7,74 + 2,4 = 18,594 \text{ кН.}$$

Увеличение тягового усилия при возможном повышении скорости с учетом коэффициента  $K_v$ , равно :

$$K_v = 1 + 0,0004 (V_{пр} - 200) = 1 + 0,0004 (1000 - 200) = 1,32.$$

С учетом возможного увеличения тягового усилия по сравнению со средним, учитываемым коэффициентом  $K_m$ , который для сеточной части равен  $1,25 \div 1,3$ , мощность для приведения сеточной части в движение будет окончательно равна :

$$N = T \times V_{пр} \times K_v \times K_m = 18,594 \times 16,7 \times 1,32 \times 1,3 = 533,0 \text{ кВт.}$$

Полученная мощность распределяется поровну между гауч-валом и сеткоповоротным валом. С учетом коэффициента полезного действия редуктора, расположенного между приводной частью цапфой валов и электродвигателем, определяется мощность электродвигателя и подбирается его марка.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### Примерное содержание контрольной работы для студентов заочной формы обучения

1. По заданной производительности и виду продукции выбрать и рассчитать основные параметры работы машины: ширину и скорости рабочую, отдельных секций и приводную.
2. Произвести компоновку сеточной части машины. Выполнить ее в масштабе 1:50 или 1:100.
3. Определить длину сеточной части методом удельных съемов.
4. Подготовить исходные данные для расчета обезвоживания на регистровой части.
5. Произвести расчет обезвоживания на отсасывающей части сеточного стола.
6. Произвести выбор схемы прессовой части. Выполнить ее в масштабе 1:50 или 1:100.
7. Произвести расчет сухости по зонам прессования выбранной прессовой части.
8. Определить число сушильных цилиндров методом удельных съемов.
9. Произвести расчет мощности на привод сеточной (прессовой) части методом тяговых усилий.
10. Произвести расчет мощности на привод остальных частей машины методом удельных показателей.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

**Требования к выполнению контрольных заданий**

1. Задание выполняется на листах формата А4 или в тетради с необходимым количеством страниц.
2. Расчеты выполняются в следующей последовательности: приводится формула с раскрытием входящих в нее величин, после чего производится расчет с подстановкой в нее численных показателей.
3. Расчеты следует вести, как правило, с принятой в инженерной практике точностью, то есть до трех значащих цифр.
4. Следует обязательно давать ссылки на цитируемый текст, выбранные методики расчета и источники получения каких-либо стандартных или нормируемых показателей и величин.
5. В конце работы приводится библиографический список литературы, выполненный в соответствии с действующим ГОСТом на библиографические ссылки.
6. Студенты заочной формы обучения обязательно регистрируют работу в деканате и сдают преподавателю на проверку.
7. К контрольной работе необходимо приложить задание на контрольную работу, выданное преподавателем.



## Библиографический список

1. Справочник механика целлюлозно-бумажного предприятия /под редакцией М.И. Калинина – М.: Лесная промышленность, 1986.– 552 с.
2. Чичаев В. А., Глезин М. Л., Екимова В. А. и др. Оборудование целлюлозно-бумажных предприятий. Т.2. Бумагоделательные машины.–М.: Лесная промышленность, 1981. -264 с.
3. Технологический расчет процессов обезвоживания на регистровой части бумагоделательных машин с использованием ЭВМ: методические указания к курсовому и дипломному проектированию/сост. И. Д.Кугушев, А. Е.Слущкий, А. П. Спирин , Ю. Н.Швецов; ЛТИ ЦБП. – Л., 1988. -27 с.
4. Швецов Ю. Н., Кугушев И. Д., Слущкий А. Е. Расчет обезвоживания в отсасывающей части бумаго- и картоноделательных машин: учебное пособие/ СПбГТУРП. – СПб., 1992. – 50 с.
5. И. Д. Кугушев, А. Ф. Каменев, А. Е. Слущкий. Расчет обезвоживания на регистровой части бумагоделательных машин: учебное пособие/ ЛТА.– Л., 1982. – 104 с.
6. Новиков Н. Е. Прессование бумажного полотна. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 240 с.
7. Иванов С. Н. Технология бумаги. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 494 с.
8. Эйдлин И. Я. Бумагоделательные и отделочные машины. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 624 с.
9. Теплотехнический расчет многоцилиндровой сушильной части бумагоделательной машины: методические указания/ Сост. А.П. Бельский, В.Ю. Лакомкин; СПбГТУРП. – СПб., 2006. – 36 с.

Учебное издание

Юрий Николаевич Швецов  
Элеонора Александровна Смирнова

## **РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ БУМАГО- И КАРТОНОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН**

**Учебно-методическое пособие**

Редактор и корректор Н.П.Новикова  
Техн. редактор Л.Я.Титова

Темплан 2009 г., поз. 102

---

Подп. к печати 24.11.09. Формат 60x84/16. Бумага тип. №1. Печать офсетная.  
4,25 уч.-изд. 4,25 усл.печ.л. Тираж 100 экз. Изд. № 102. Цена «С». Заказ 2094

---

Ризограф ГОУВПО Санкт-Петербургского государственного  
технологического университета растительных полимеров, 198095, СПб.,  
ул. Ивана Черных, 4.