

**Г. З. Шульман
А. В. Тверитина**

**ТЕОРИЯ И КОНСТРУКЦИЯ
БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН**

Часть II

Текст лекций

**Санкт-Петербург
2023**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»**
Высшая школа технологии и энергетики
Кафедра машин автоматизированных систем

ТЕОРИЯ И КОНСТРУКЦИЯ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

Часть II

Текст лекций для студентов всех форм обучения
по направлению подготовки
15.03.02 — Технологические машины и оборудование

Составители:
Г. З. Шульман
А. В. Тверитина

Санкт-Петербург
2023

Утверждено
на заседании кафедры МАС
25.01.2023 г., протокол № 5

Рецензенты:
Б. Е. Борилкевич, А. Н. Евдокимов

Текст лекций, состоящий из двух частей, соответствует программам и учебным планам дисциплины «Теория и конструкция бумагоделательных машин» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование». Текст лекций охватывает весь объём материалов по дисциплине. Издание предназначено для самостоятельной работы студентов.

Текст лекций предназначен для бакалавров очной и заочной форм обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД в качестве
текстов лекций

Редактор и корректор А. А. Чернышева
Техн. редактор Д. А. Романова

Темплан 2022 г., поз. 5163/22

Подписано к печати 04.05.2023.	Формат 60x84/16.	Бумага тип № 1.
Печать офсетная.	Печ.л. 6,0.	Уч.-изд. л. 6,0.
Тираж 30 экз. (1 завод)	Изд. № 5163/22.	Цена «С». Заказ №

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

6. СУШИЛЬНАЯ ЧАСТЬ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ И КАРТОНОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН	5
6.1. Краткий обзор новых процессов сушки картонного полотна	11
6.2. Определение влажности бумажного или картонного полотна	14
6.3. Процесс обезвоживания в сушильной части БДМ, КДМ и сушильных машин	15
6.4. Сушильные цилиндры	17
6.5. Устройства для подачи пара и удаления конденсата из цилиндров	21
6.6. Пароконденсатные системы	25
6.7. Холодильный цилиндр	27
6.8. Компоновка цилиндров	28
6.9. Вентиляция сушильной части	29
6.10. Определение расхода воздуха для вентиляции сушильной части	31
7. МАШИННЫЕ КАЛАНДРЫ	33
7.1. Каландр	33
7.2. Конструкции и типы машинных каландров	36
7.3. Вылегчивание валов	38
7.4. Софткаландр	40
8. НАКАТ	45
9. СУПЕРКАЛАНДРЫ	49
9.1. Принцип работы	50
10. РАСКАТ	56
11. ПРОДОЛЬНО-РЕЗАТЕЛЬНЫЕ СТАНКИ	57
11.1. Механизм продольной резки бумажного полотна	58
11.2. Несущие валы	62
11.3. Механизм сталкивания	62
11.4. Раскат и тормоз	63
12. ВАЛЫ БУМАГО- И КАРТОНОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН	63
12.1. Основные конструкции валов	65
12.2. Валы для транспортирования бумажного или картонного полотна и одежды машины	69
12.3. Валы каландров и суперкаландров для обработки бумажного и картонного полотна давлением	70

12.4. Расправляющие валы	72
12.5. Обрезиненный вал.....	73
12.6. Двухвальные прессы с отсасывающим валом.....	74
12.7. Желобчатые валы	78
12.8. Вал с глухосверлёнными отверстиями	79
12.9. Покрытия прессовых валов.....	81
12.10. Бомбирование валов и определение величины бомбировки	85
12.11. Уравновешивание валов (балансировка)	87
13. ПРИВОД.....	89
14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ.....	91
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	95

6. СУШИЛЬНАЯ ЧАСТЬ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ И КАРТОНОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

Сушильная часть является самым тяжёлым агрегатом бумагоделательных и картоноделательных машин. После сушильной части картонное полотно приобретает сухость $94 \div 96 \%$.

Усовершенствование картоноделательных машин предусматривает новые конструкции сушильных частей. При разработке новых конструкций сушильных частей высокопроизводительных машин стали использовать «беспаразитный» привод сушильных цилиндров, одноярусное расположение цилиндров на машине, использование вакуумных бумаговедущих и картоноведущих валиков, использование подачи горячего воздуха с помощью специальных шаберов или sprays с насадками в межцилиндровое пространство и отсос влажного воздуха современной системой вентиляции. В современных сушильных частях активно используются инфракрасные сушильные панели, особенно в завершающей стадии сушки.

Сушильные части БДМ и КДМ могут быть различных конструкций и различного предназначения. Они могут быть цилиндрического типа, где используется контактная и конвективная сушки, сушильные части на основе конвективной сушки типа «Флект», тоннельного типа на основе теплоэлектронагревателей.

Сушильные части для машин, вырабатывающих санитарно-гигиенические виды бумаг, могут оснащаться янки-цилиндрами и колпаками скоростной сушки.

Наиболее распространённые сушильные части бумагоделательных или картоноделательных машин – цилиндрического типа. Они включают в себя станины, стойки, продольные балки, поперечные балки, на которых устанавливаются сушильные и холодильные цилиндры, бумаговедущие и сетководущие валики, сеткоправки, сетконатяжки, осциллирующие шабера, устройства канатиковой заправки, нож косого среза в конце сушильной части.

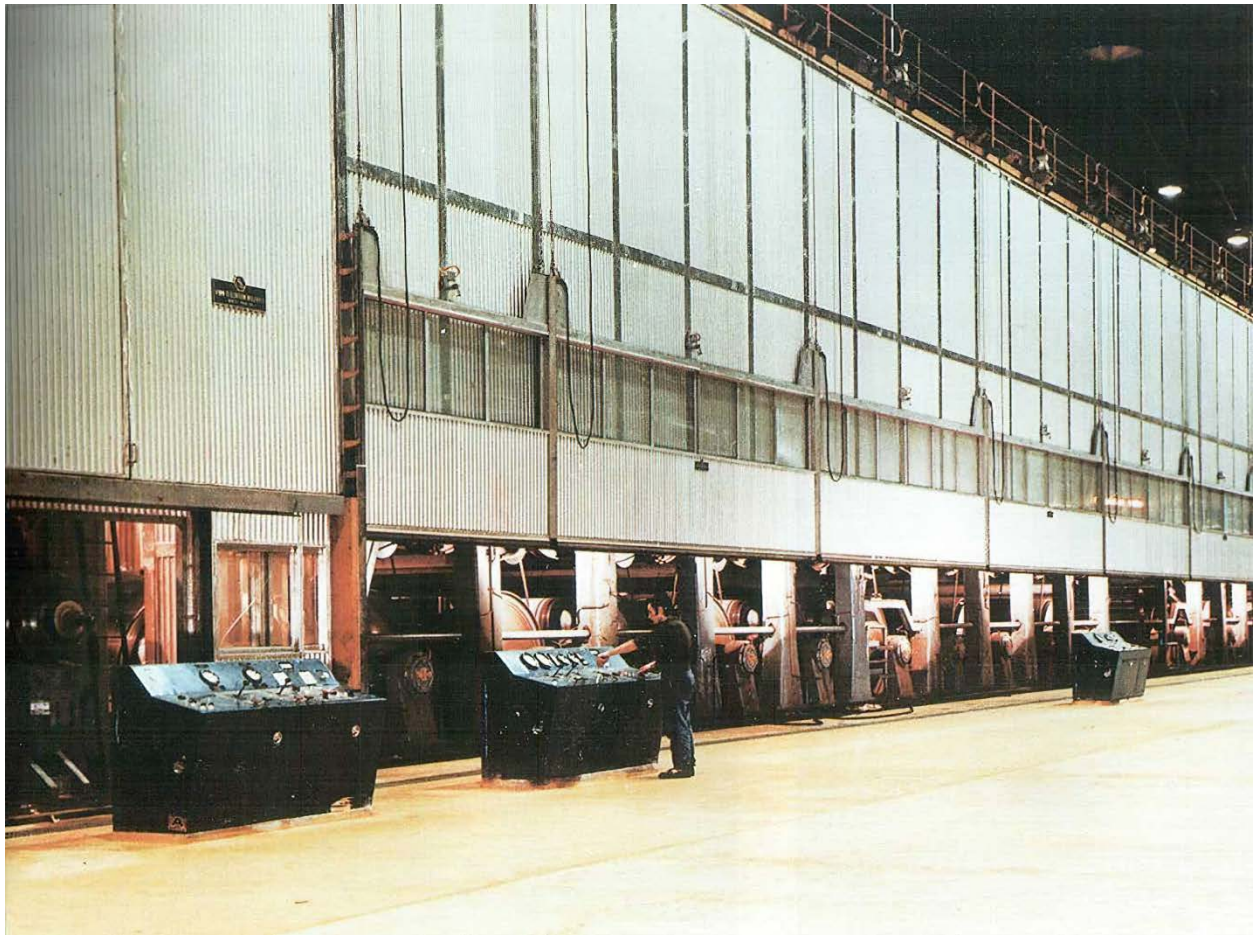


Рис. 59. Сушильная часть

Цилиндровые сушильные части – самые крупные части БДМ и КДМ. На станины и стойки сушильных частей и коробок передач паразитного привода (если он имеется) устанавливаются такие устройства, как инфракрасные излучатели, приводы групп цилиндров, трубопроводы для подачи циркуляционной смазки, трубопроводы отвода конденсата, неконденсирующихся газов и пара. Вся сушильная часть разбивается на группы сушильных цилиндров по приводу и по пару. Количество групп сушильных цилиндров зависит от вырабатываемой продукции и композиции волокнистой суспензии. Чем больше в волокнистую суспензию входит целлюлозы высокого градуса помола, тем больше групп по приводу, и тем больше поперечная усадка бумажного или картонного полотна.

Группы по приводу отсчитываются по ходу полотна. При наличии клеильного пресса полотно должно высушиваться до $86 \div 92$ % сухости. После клеильного пресса досушивающая часть может также включать в себя несколько групп по приводу. Досушивающая часть после клеильного пресса начинается с хромированного сушильного цилиндра. В некоторых случаях в первой подгруппе все цилиндры могут обслуживаться одной сушильной сеткой. Это делается для того чтобы, проходя все сушильные цилиндры, полотно

прижималось то одной, то другой стороной к поверхности цилиндров. Такая проводка с помощью одной сушильной сетки называется слаломной проводкой.

Сушильная часть также делится на группы цилиндров по пару. Отсчёт групп цилиндров по пару ведётся от последнего цилиндра сушильной части. Количество групп по пару зависит от технологии вырабатываемой продукции. При наличии клеильного пресса и установки для подмеловки картона влажность полотна после клеильного пресса может составлять $75 \div 85$ %. Далее после клеильного пресса, после значительного увлажнения, полотно попадает на первый сушильный цилиндр (хромированный) досушивающей группы. В конце группы, как правило, устанавливаются $1 \div 2$ холодильных цилиндра для охлаждения и увлажнения полотна и придания большей эластичности перед машинным каландром. Для выравнивания влажности полотна перед машинным каландром используются спрыски с влажным туманом или паровые спрыски.

Неравномерная влажность полотна может привести к обрыву.

Процесс сушки происходит за счёт испарения воды из полотна до достижения требуемой сухости.

В настоящее время существуют различные конструкции цилиндрических сушильных частей в виде одноярусного расположения сушильных цилиндров (самое современное), двухъярусного расположения сушильных цилиндров (самое распространённое), трёхъярусное и четырёхъярусное расположение (в сушильных машинах – пресспатах). Весь процесс обезвоживания в цилиндрической сушильной части осуществляется за счёт контактной сушки (сушильными цилиндрами) и конвективной (горячим воздухом).

Имеются также другие конструкции сушильных частей, где процесс сушки осуществляется только путём подачи горячего воздуха с разной температурой в различные зоны сушильного шкафа типа «Флект», т. е. с помощью конвективного способа.

Туннельная сушка используется для выработки специальных и технических видов картона, а также при выработке слюдяного полотна. Сушка полотна происходит электрическим способом путем нагрева теплоэлектронагревателей, расположенных на специальных рамках, большое количество которых выглядит как туннель.

В сушильных частях типа «Флект» обезвоживание происходит исключительно за счёт конвективной сушки и применяется для выработки листовой целлюлозы массой от 800 г/м^2 до 1400 г/м^2 и картонов большей массы.

В настоящее время применяются цилиндрические сушильные части различной конструкции: одноярусные (рис. 60), двухъярусные (рис. 61), трёхъярусные (на машинах старой конструкции), комбинированные (рис. 62). Комбинированная сушильная часть может состоять из двухъярусной и одноярусной частей.

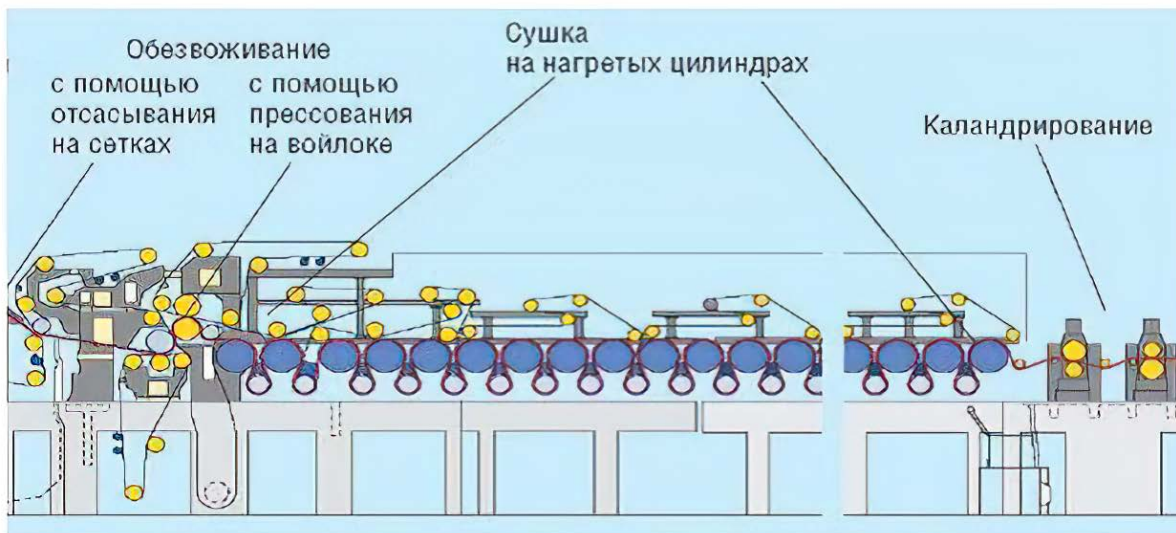


Рис. 60. Схема одноярусной сушильной части фирмы «Voith Paper»

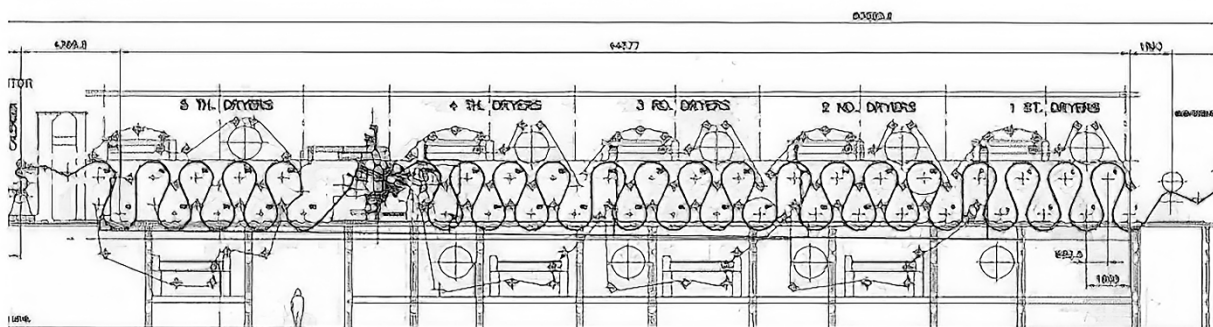


Рис. 61. Схема двухъярусной сушильной части фирмы «Beloit Walmsley»

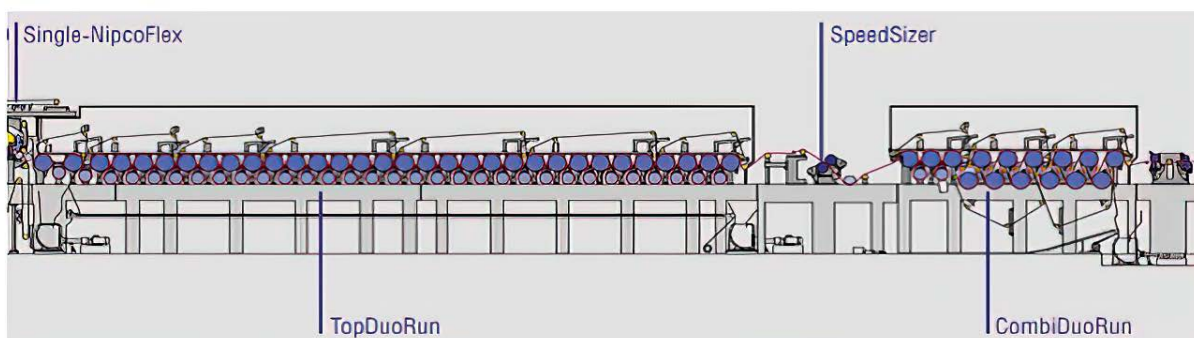


Рис. 62. Схема комбинированной сушильной части фирмы «Voith Paper»

Современные цилиндрические сушильные части оснащаются новейшими устройствами, обеспечивающими удобство заправки полотна при обрывах, системами вентиляции межцилиндрического пространства (такие устройства, как

Драй Софт фирмы «Voith» на (рис. 63)), вакуумными сетководущими валами, повышающими сухость полотна, более совершенными устройствами для подачи пара в цилиндры, отвода конденсата, пара и неконденсирующихся газов.

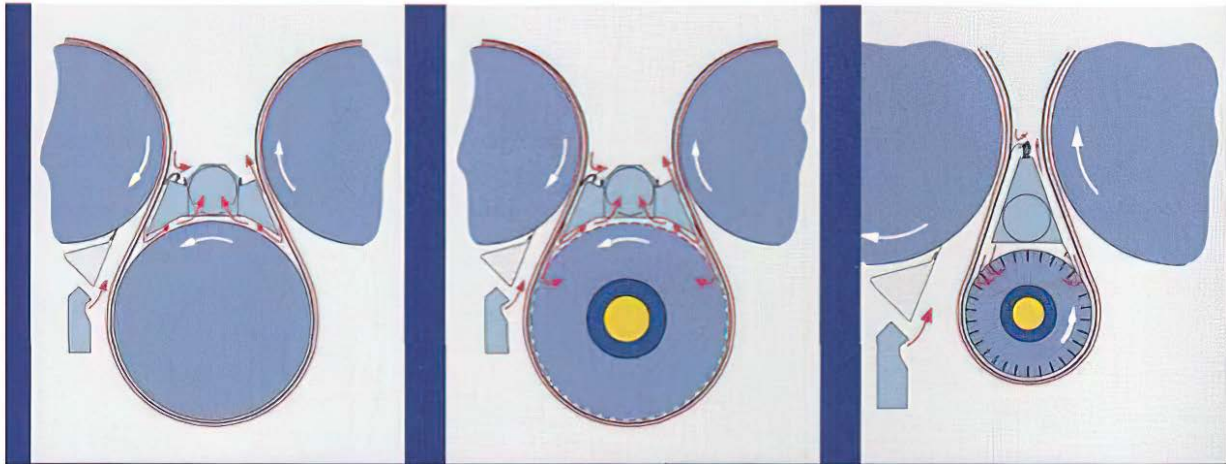


Рис. 63. Устройства Драй Софт фирмы «Voith Paper»

Ассортимент сушильных секций Valmet OptiRun может предоставить идеальные решения в конструкциях сушильных частей. Семейство сушильных секций OptiRun состоит из четырёх решений, которые охватывают все конфигурации сушильных частей, обеспечивая оптимальную сушильную способность и отличные эксплуатационные характеристики. Агрегаты сушильной части OptiRun (фирма «Valmet») доступны как со стальными, так и с чугунными сушильными цилиндрами.

В дополнение к традиционной геометрии эти сушильные части также изготавливаются с более компактной геометрией. Преимущества включают экономию энергии благодаря использованию меньшего количества вентиляторов, улучшенную сушильную способность благодаря большому углу охвата цилиндра и минимальному износу из-за незначительного изгиба полотна.

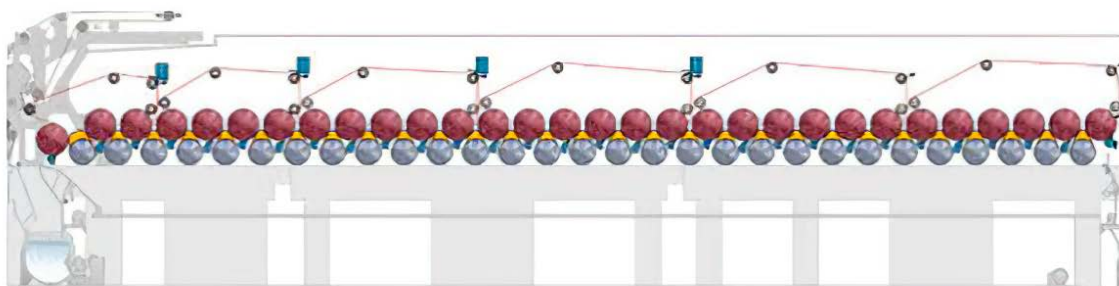


Рис. 64. Одноярусная сушильная часть. OptiRun Single (фирма «Valmet»)

OptiRun Double – для секций и групп двухъярусной сушильной части.

Увеличенные сушильные группы повышают эффективность сушки за счёт подачи тепла на обе стороны бумаги.

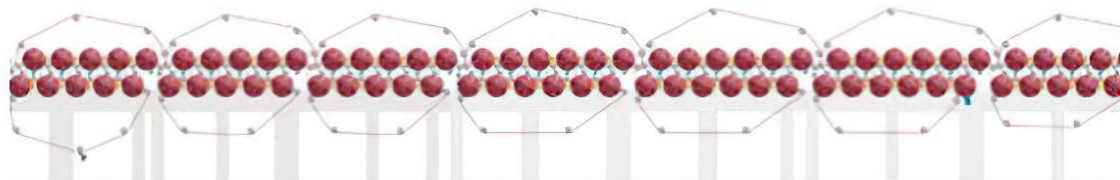


Рис. 65. Двухъярусная сушильная часть. OptiRun Double (фирма «Valmet»)

Комбинация одноярусных сушильных групп в начале сушильной части двухъярусными сушильными группами сочетает в себе лучшие черты одно- и двухъярусных групп и позволяет более точно регулировать тепловые процессы в каждой группе сушильных цилиндров.

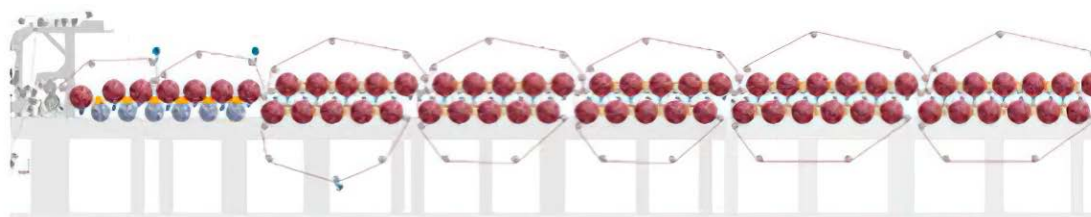


Рис. 66. Комбинированная сушильная часть. OptiRun Hybrid (фирма «Valmet»)

Одно из решений OptiRun Triple при модернизации сушильных частей при ограниченных производственных площадях – это применение трёхъярусного расположения сушильных цилиндров, обеспечивающих увеличение обезвоживающей способности сушильной части.

Эта конструкция сушильных частей применяется для выработки картонов большой массы.

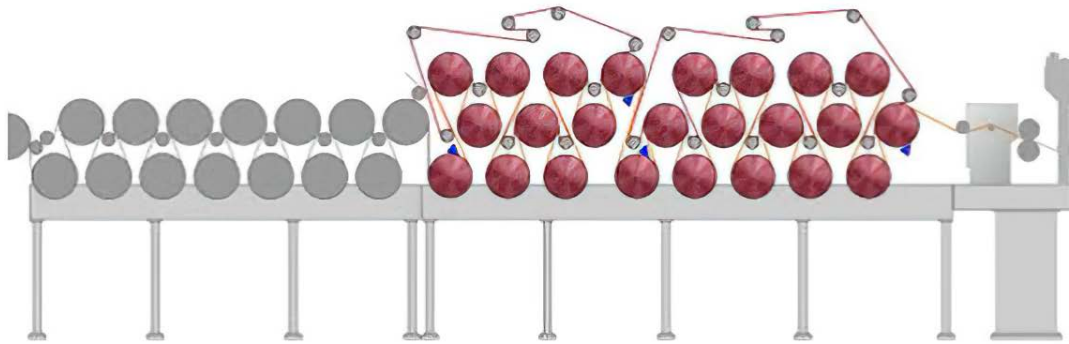


Рис. 67. Трёхъярусная сушильная часть. OptiRun Triple (фирма «Valmet»)

6.1. Краткий обзор новых процессов сушки картонного полотна

В ряде стран (Финляндия, Швеция) применяют многоцилиндровые сушильные части, в которые входят чугунные сушильные цилиндры. Протяжённость таких сушильных частей может составлять более 100 м. В технологии сушки с 2000 по 2020 год произошли значительные изменения. В конструкции сушильных частей была внедрена «ударная сушка» с конвективным процессом типа «Convac».

Ударная сушка – это очень эффективный способ сушки картонного полотна. Эффективность сушки достигается путем вдувания горячего воздуха с большой скоростью на лист сушимого полотна. Система вентиляции обеспечивает циркуляцию горячего воздуха в сушильной части машины. Этот метод даёт значительно более высокую удельную скорость испарения, чем обычная цилиндровая сушка, что позволяет использовать более короткие сушильные части бумагоделательных и картоноделательных машин и экономит площадь машинного зала. Воздух нагревается с помощью газовых горелок, обеспечивая гибкость процесса сушки.

На рис. 68 показана вертикальная сушильная часть с использованием устройства подачи горячего воздуха OptiDry Vertical, поднимающего производительность без увеличения длины сушильной части бумагоделательных или картоноделательных машин.

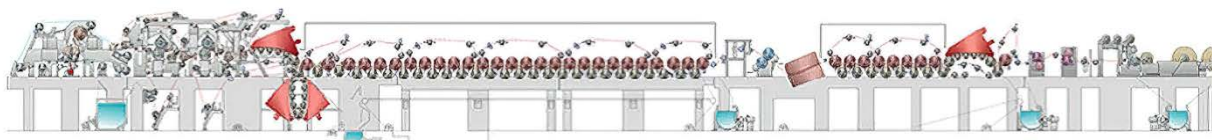


Рис. 68. OptiDry Vertical с ударными сушильными частями

«Ударный» способ сушки используется в различных машинах для выработки бумаги и картона, в том числе и в многоцилиндровых сушильных

частях. На рис. 69 показано устройство для вертикальной сушки горячим воздухом.



Рис. 69. OptiDry вертикальная сушильная часть (фирма «Valmet»)

На рис. 70 представлена воздушная система для вертикальной ударной сушильной установки OptiDry, которая включает:

- циркуляционные вентиляторы воздуха;
- газовые горелки;
- линию притока воздуха;
- линию вытяжки воздуха;
- установку рекуперации тепла.

Новая «ударная» сушильная часть включает в себя две вытяжки, которые выдувают горячий воздух непосредственно на полотно, при этом воздух нагревается газовыми горелками. Вентиляторы циркуляции воздуха, а также газовые горелки встроены в вытяжки, что сводит к минимуму потребность в пространстве для внешнего оборудования. Конструкция «кармана» предотвращает попадание влажного воздуха и тепла в окружающую среду. Два колпака окружают петлю сушимого полотна, которое поддерживается рифлёными цилиндрами. Полотно проходит между выдувными шкафов (колпаков) с просверленными в них отверстиями с каждой стороны прохождения полотна.

Большая часть воздуха циркулирует внутри карманов. Влажный горячий воздух выводится из вытяжных шкафов и проходит через блок рекуперации тепла, где нагревает приточный воздух. Не допускается соприкосновение окружающего воздуха с горячим воздухом в колпаках. Система спроектирована таким образом, что она работает независимо от вентиляции машинного зала.

Вытяжки хорошо изолированы по соображениям безопасности и минимизации потерь тепла.

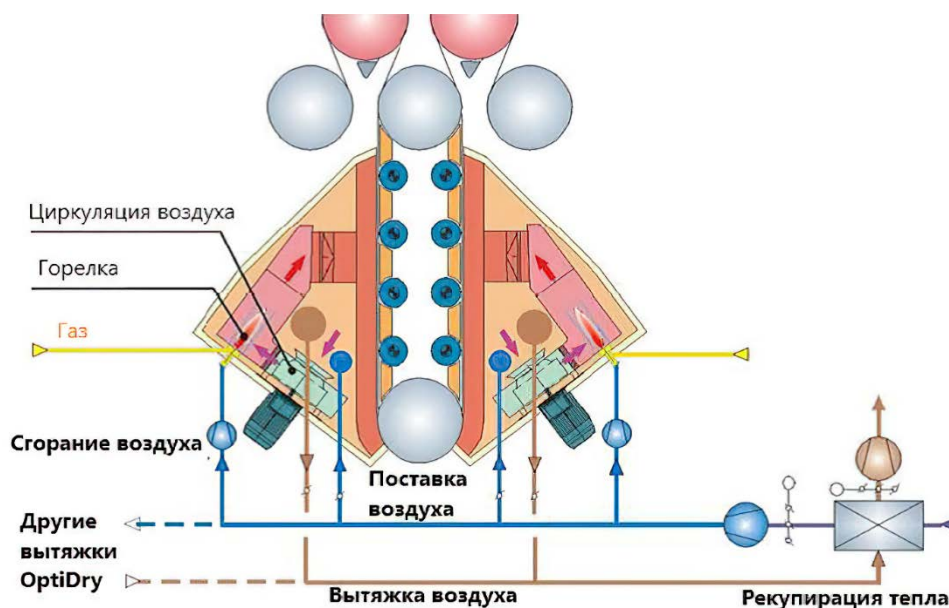


Рис. 70. Воздушная система для установки вертикальной ударной сушки OptiDry

Новая концепция сушки путём «ударов» OptiDry была усовершенствована по сравнению с предыдущей версией, которая требовала вакуумного цилиндра большого диаметра, но из-за конструктивных ограничений, связанных с размером цилиндра, был установлен цилиндр меньшего диаметра. Изготовление больших цилиндров – это довольно дорого, установка требует много времени и обширных изменений в существующей машине, что усложняло предыдущую концепцию. Кроме того, ограничение длины сушильной части с использованием вакуумного цилиндра было основным пунктом разработки.

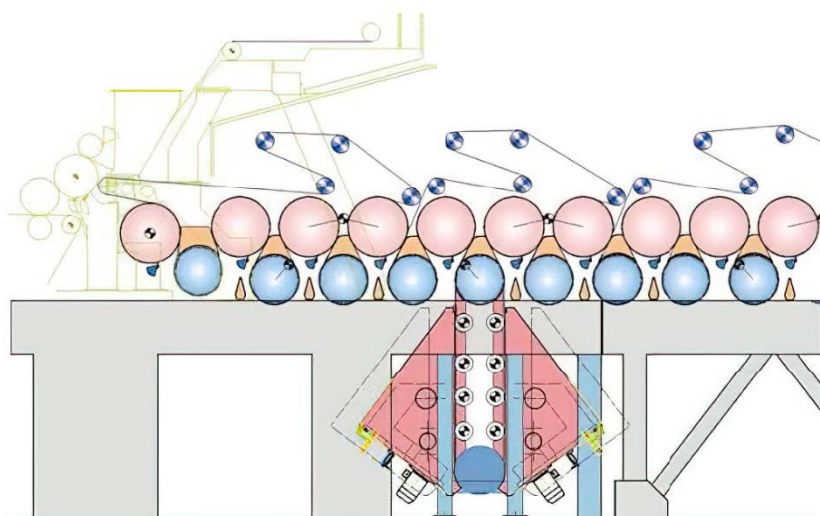


Рис. 71. Концепция вертикальной сушки OptiDry в одной агрегаты сушильной части

6.2. Определение влажности бумажного или картонного полотна

Существует несколько способов определения влажности твёрдых материалов, в том числе и бумажного или картонного полотна.

Относительная влажность W_0 – это отношение массы влаги, содержащейся в бумаге или картоне $g_{вл}$, к массе влажной бумаги или картона $g_{вл.б.}$, выраженное в процентах:

$$W_0 = \frac{g_{вл}}{g_{вл.б.}} \cdot 100 \% = \frac{g_{вл.б.} - g_{с.б.}}{g_{вл.б.}} \cdot 100 \%, \%$$

где $g_{с.б.}$ – масса сухой бумаги.

Абсолютная влажность бумаги W_a представляет собой отношение массы влаги $g_{вл}$, содержащейся в бумаге или картоне, к массе абсолютно сухой бумаги или картона $g_{с.б.}$, выраженное в процентах:

$$W_a = \frac{g_{вл}}{g_{с.б.}} \cdot 100\% = \frac{g_{вл.б.} - g_{с.б.}}{g_{с.б.}} \cdot 100 \%, \%$$

Влагосодержание бумаги или картона – это отношение массы влаги, содержащейся в бумаге или картоне, к массе абсолютно сухой бумаги или картона:

$$U = \frac{g_{вл}}{g_{с.б.}}, \frac{\text{кг влаги}}{\text{кг сухой бумаги или картона}}.$$

В целлюлозно-бумажной промышленности распространено понятие сухости (концентрации) бумажного или картонного полотна, которое представляет собой отношение массы сухой бумаги или картона к массе влажной бумаги или картона, выраженное в процентах:

$$S = \frac{g_{с.б.}}{g_{вл.б.}} \cdot 100 \% = \frac{g_{с.б.}}{g_{вл.} + g_{с.б.}} \cdot 100 \%, \%$$

Очевидно, что:

$$W_0 + S = 100 \%$$

Между приведёнными выражениями существуют следующие зависимости:

$$U = \frac{W_a}{100} = \frac{W_0}{100 - W_0} = \frac{100 - S}{100}, \frac{\text{кг влаги}}{\text{кг сухой бумаги или картона}}.$$

6.3. Процесс обезвоживания в сушильной части БДМ, КДМ и сушильных машин

В целлюлозно-бумажной промышленности для обезвоживания картонного, бумажного полотна и целлюлозы в сушильной части машин наибольшее распространение получила контактная сушка, при которой тепло передаётся влажному полотну непосредственно от нагретой поверхности сушильных цилиндров. Нагревание цилиндров осуществляется при частичной конденсации водяного пара, поступающего из пароконденсатной системы машины. Имеются конструкции сушильных цилиндров, нагреваемых газовыми горелками и электронагревателями.

Контактная сушка имеет достаточно большое преимущество в сравнении с другими способами. К достоинствам этого способа сушки можно отнести достаточно высокие экономические показатели, а также довольно высокое качество вырабатываемой продукции. Однако, несмотря на достоинства, присутствуют и недостатки, к которым следует отнести высокую металлоёмкость и недостаточную интенсивность процесса.

Параллельно с контактной сушкой в картоноделательных и бумагоделательных машинах используется конвективная сушка нагретым воздухом. Несмотря на то, что при конвективной сушке энергетические затраты, как правило, выше чем при контактной, она находит применение на всех современных БДМ и КДМ, а также сушильных машинах. К достоинствам конвективного метода сушки следует отнести: простоту конструктивного исполнения, широкие возможности регулирования влажности по ширине полотна.

Последнее время широкое применение нашли устройства с термомеханическим выносом влаги. При этом методе сушки происходит не только испарение влаги за счёт подвода тепла, но и механическое вытеснение влаги, и замещение ее в порах материала газообразным агентом. Сушка с прососом воздуха или газа обладает весьма значительной интенсивностью (до 10 раз выше, чем в многоцилиндровой сушильной части).

В процессе контактной сушки при соприкосновении влажного полотна с горячей поверхностью сушильного цилиндра начинается контактный, или, как его иногда называют, кондуктивный теплообмен. Некоторое количество тепла передаётся также радиацией, поскольку абсолютно полного контакта между бумагой и поверхностью цилиндра, очевидно, не имеется. Одновременно начинается процесс испарения влаги, сопровождающийся поглощением теплоты фазового превращения.

Образовавшийся в зоне контакта пар под действием градиента давления стремится проникнуть вглубь материала, при этом в тот момент, когда сушимый материал ещё не прогрелся на всю толщину, пар конденсируется в слое материала, передавая ему тепло, и способствует более интенсивному прогреву. Тот момент, когда пар проникает сквозь толщу материала, определяет начало первого периода сушки, когда скорость влагоудаления постоянна. Таким

образом, после окончания прогрева материала имеет место парообразование с обеих его сторон. Когда влага из наружных слоёв материала практически удалена, начинается перемещение зоны испарения вглубь материала. Температура слоя, контактирующего с греющей поверхностью, повышается, при этом разность температур между греющей поверхностью и поверхностью материала уменьшается, вследствие чего менее интенсивным становится и теплообмен. При сушке бумаги на цилиндрах оказывают влияние также участки свободного хода полотна между цилиндрами, где происходит свободное испарение с обеих сторон материала, а также охлаждение наружных слоёв материала, что повышает интенсивность теплообмена на сушильных цилиндрах при соприкосновении охлаждённых слоёв материала с сушильным цилиндром.

В то же время на участках свободного хода полотна интенсивность испарения может снизиться за счёт уменьшения средней температуры материала.

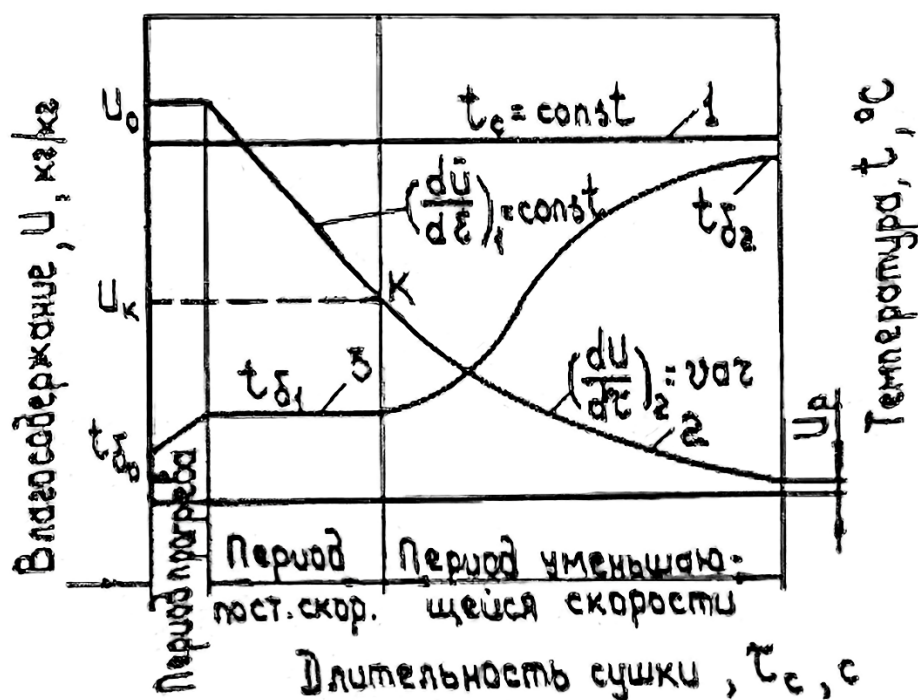


Рис. 72. Кинетическая кривая и термограмма при постоянной температуре источника энергии:

1 – температура источника энергии; 2 – кривая изменения влажесодержания бумаги; 3 – температура бумаги

В период прогрева температура бумажного или картонного полотна возрастает до $90 \div 100 ^\circ C$. Температура бумаги в первом периоде сушки составляет не более $100 ^\circ C$ и остаётся постоянной, соответствующей температуре испаряемой жидкости в течение всего первого периода сушки (рис. 72). По окончании первого периода, после так называемой первой

критической точки, скорость сушки начинает снижаться, а температура материала возрастает. Это связано с тем, что по мере развития процесса сушки уменьшается интенсивность внутреннего переноса влаги, поступающей к поверхности материала. При этом влагосодержание у поверхности материала уменьшается и становится равной гигроскопическому. Поверхность испарения начинает углубляться, а температура материала определяет начало второго периода убывающей скорости сушки.

Скорость сушки снижается на протяжении всего второго периода и становится близкой к нулю по достижении малых влагосодержаний, близких к равновесным.

Процесс контактной сушки отличается значительной сложностью. Среди факторов контактной сушки на сушильных цилиндрах основными являются: температура сушильного цилиндра, качество обработки греющей поверхности, геометрические параметры сушильной части (диаметр цилиндров и их взаимное расположение), параметры окружающего воздуха, род материала, прижимающего полотно к поверхности сушильного цилиндра, скорость перемещения полотна и др.

6.4. Сушильные цилиндры

В настоящее время обычно применяют одностенные чугунные сушильные цилиндры. Стальные цилиндры (одностенные и двухслойные) применяются сравнительно редко.

К одностенному цилиндру (рис. 73) с торцов прикреплены крышки с чугунными пустотелыми или запрессованными стальными цапфами, которыми цилиндр опирается на подшипники. У современных бумагоделательных машин выпуск пара в цилиндр и удаление из него конденсата производится с приводной стороны. Диаметр сушильных цилиндров большинства отечественных машин 1500 мм. При существующих скоростях машин такой диаметр цилиндра является оптимальным. На некоторых машинах установлены цилиндры диаметром 1800 мм, что уменьшает длину сушильной части. Температура утолщённых фланцев и краёв сушильного цилиндра, не обогреваемых паром, ниже температуры остальной части цилиндра. Ввиду этого при недостаточной длине цилиндра сушка краёв бумажного полотна происходит менее интенсивно и влажность их выше. Обычно общая длина цилиндра на $200 \div 250$ мм больше длины обогреваемой паром внутренней поверхности цилиндра и примерно на $10 \div 14$ % больше обрезной ширины бумаги.

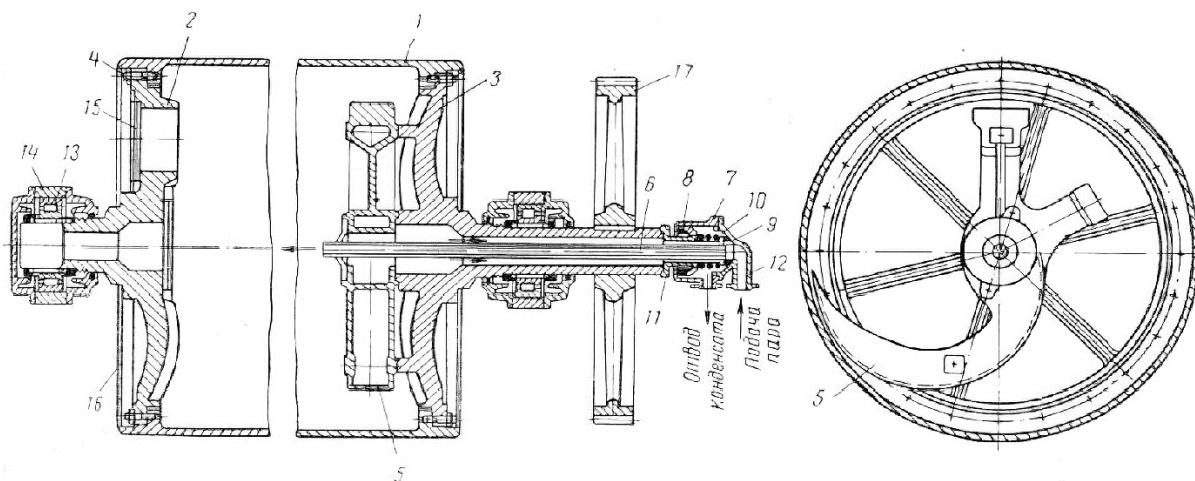


Рис. 73. Одностенный сушильный цилиндр:

1 – цилиндр; 2, 3 – крышки с лицевой и приводной сторон; 4 – шпильки для крепления крышки к цилиндру; 5 – черпак; 6 – труба для подачи пара в цилиндр; 7 – корпус сальника; 8, 9 – графитовые кольца большое и малое; 10 – пружина; 11, 12 – стакан и крышка сальника; 13, 14 – подшипник и его корпус; 15 – крышка люка; 16 – щит; 17 – шестерня

Чугунные сушильные цилиндры отливаются в вертикальных кессонах. Механические свойства этого чугуна близки к чугуну СЧ 18. Состав такого чугуна: $C = 3,15 \div 3,6 \%$, $Mn = 0,7 \div 1,1 \%$, $Si = 1,3 \div 1,7 \%$, $S \leq 0,6 \%$, $P \leq 0,3 \%$. Целесообразно применять модифицированный чугун, позволяющий повысить давление пара в цилиндре. Твёрдость наружной поверхности цилиндра по Бринеллю $170 \div 220$ единиц. Внутреннюю поверхность растачивают с целью придания стенке одинаковой толщины, что облегчает уравнивание цилиндра и обеспечивает практически одинаковую теплопроводность стенок. При скорости машин до 350 м/мин ограничиваются статическим уравниванием цилиндров; допустимый неуравновешенный груз составляет 0,03 % от веса цилиндра. При скорости машин свыше 350 м/мин цилиндры уравниваются динамически. Допускается отклонение длины окружности (по наружном диаметру) от плюс 1 мм до минус 1,5 мм, конусность не более 0,5 мм. Для устранения внутренних напряжений цилиндры и крышки подвергают естественному старению: 2 месяца до предварительной грубой обточки, а затем 4 месяца до окончательной обработки.

Различаются чугунные крышки сушильных цилиндров одностенные и двухслойные. Преимущественно применяют одностенные, сферические крышки, отлитые заодно с цапфами; с внутренней стороны крышки имеют рёбра жёсткости и четыре прилива для закрепления крышки на станке, что позволяет с одного установка обработать поверхность для посадки крышки в цилиндр и цапфу. Крышки крепятся к цилиндру 24 ÷ 36 шпильками М20 ÷ М30. Для герметичности между крышкой и фланцем цилиндра укладывают

клингеритовые прокладки или асбестовый шнур. Для уменьшения тепловых потерь крышки закрываются щитками.

В целях внутреннего осмотра цилиндра при гидравлическом испытании, монтажа и ремонта устройств для отвода конденсата лицевая крышка имеет люк (лаз) размером 300×400 мм. Наличие люка усложняет отливку крышек.

В настоящее время при давлении пара, не превышающем $0,3 \div 0,5$ МПа, обычно применяются одностенные чугунные цилиндры. При давлении пара свыше $0,5$ МПа целесообразна замена чугунных цилиндров и крышек стальными. Цилиндры изготовляют сварными из специальных труб или из листовой стали; толщина стенки $6 \div 15$ мм.

Стальные сушильные цилиндры целесообразно изготовлять двустенными (рис. 74) из двух оболочек. Пар через пустотелые спицы подается в кольцевое пространство между оболочками. Конденсат удаляется вращающимся сифоном или путём сдувки паром, поступающим с большой скоростью. В двустенных цилиндрах скорость пара повышается, так как занимаемый им объём меньше, в связи с чем повышается теплоотдача. В таких цилиндрах уменьшаются тепловые потери: поверхность торцов цилиндра ввиду наличия спиц меньше, чем в одностенных; кроме того, внутренняя поверхность оболочки может быть покрыта теплоизолирующим слоем. Следует отметить, что изготовление стальных цилиндров (одностенных и двустенных) более сложный процесс, и это пока ограничивает их широкое применение.

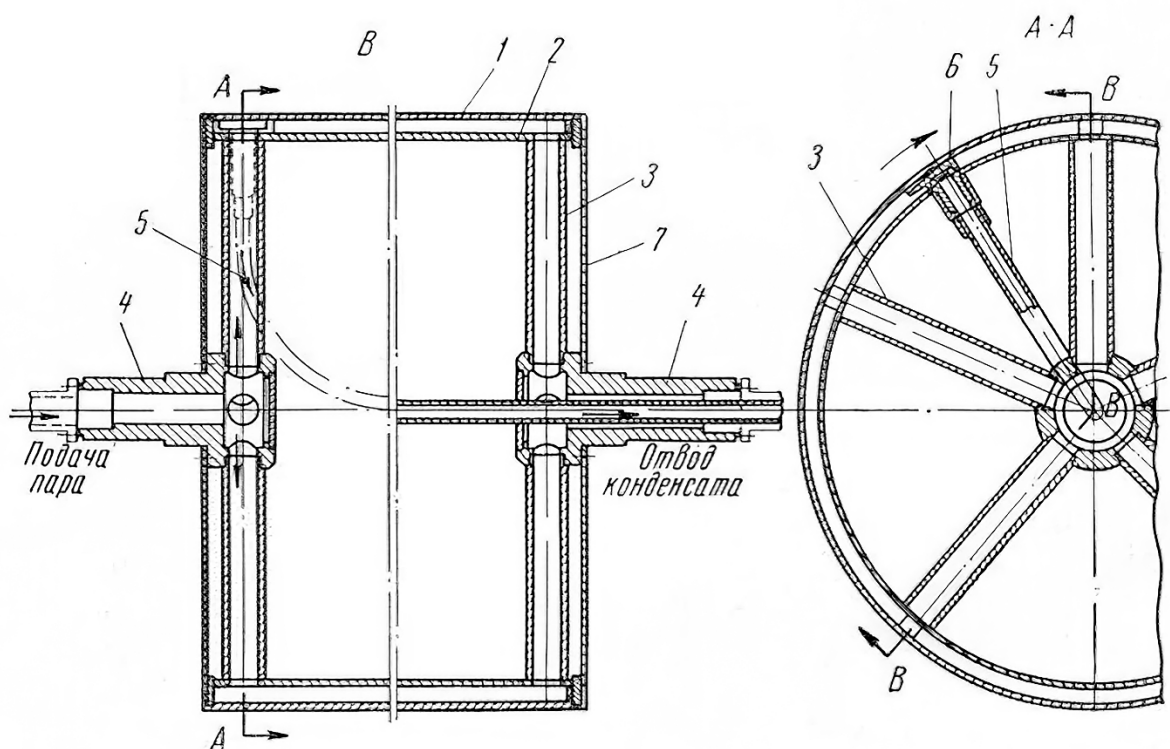


Рис. 74. Двухслойный стальной сушильный цилиндр:

- 1, 2 – наружная и внутренняя оболочки цилиндра; 3 – пустотелые спицы;
- 4 – цапфы цилиндра; 5 – сифонная труба для удаления конденсата;
- 6 – наконечник сифонной трубы; 7 – щиток

В некоторых странах стали изготавливать сушильные цилиндры из листовой нержавеющей стали путём вальцевания и сварки. Такие цилиндры производит бразильская фирма «Nergem». Австрийская фирма «Andritz» в конструкциях янки-цилиндров использует двухслойную конструкцию корпуса цилиндра, который включает в себя внутреннюю оболочку с подребрённой поверхностью, улучшающей теплоотдачу и нарушающую сплошность конденсатного кольца.

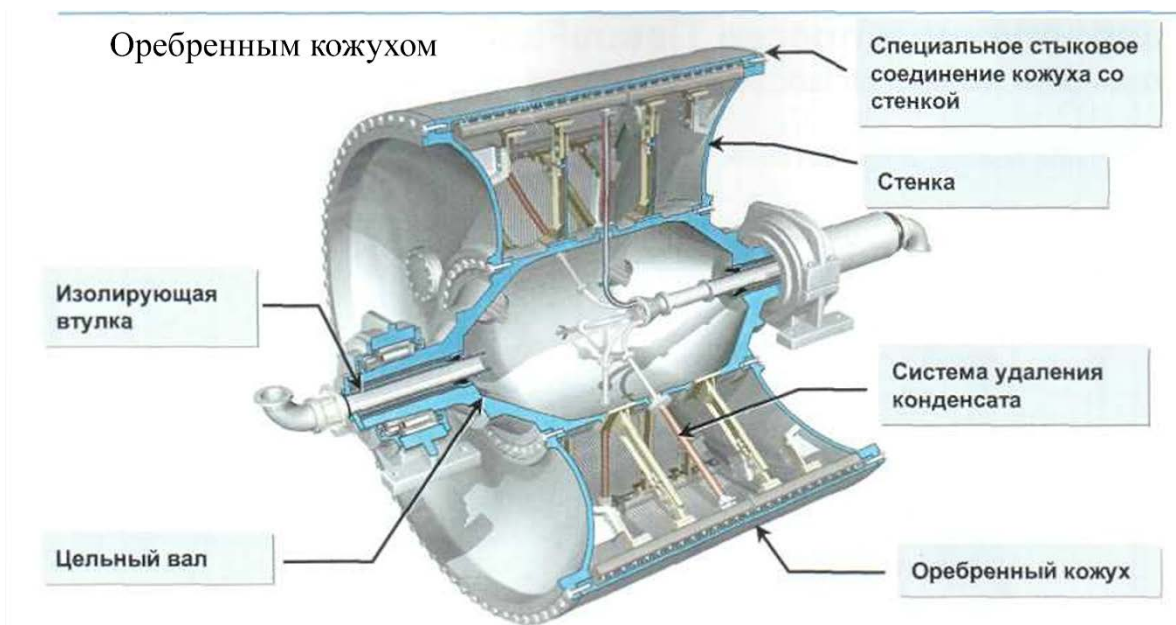


Рис. 75. Двухслойный сушильный цилиндр (янки-цилиндр) для выработки санитарно-гигиенической бумаги



Рис. 76. Конфигурация внутренней поверхности цилиндра для выработки санитарно-гигиенической бумаги

В конструкциях сушильных цилиндров предусматривается установка термопланок, которые представляют собой несколько продольно расположенных пластин в полости цилиндра (рис. 77), которые служат для предотвращения образования сплошного конденсатного кольца и тем самым увеличения теплоотдачи. С помощью термопланок предоставляется возможность выравнивать профиль влажности по ширине полотна.

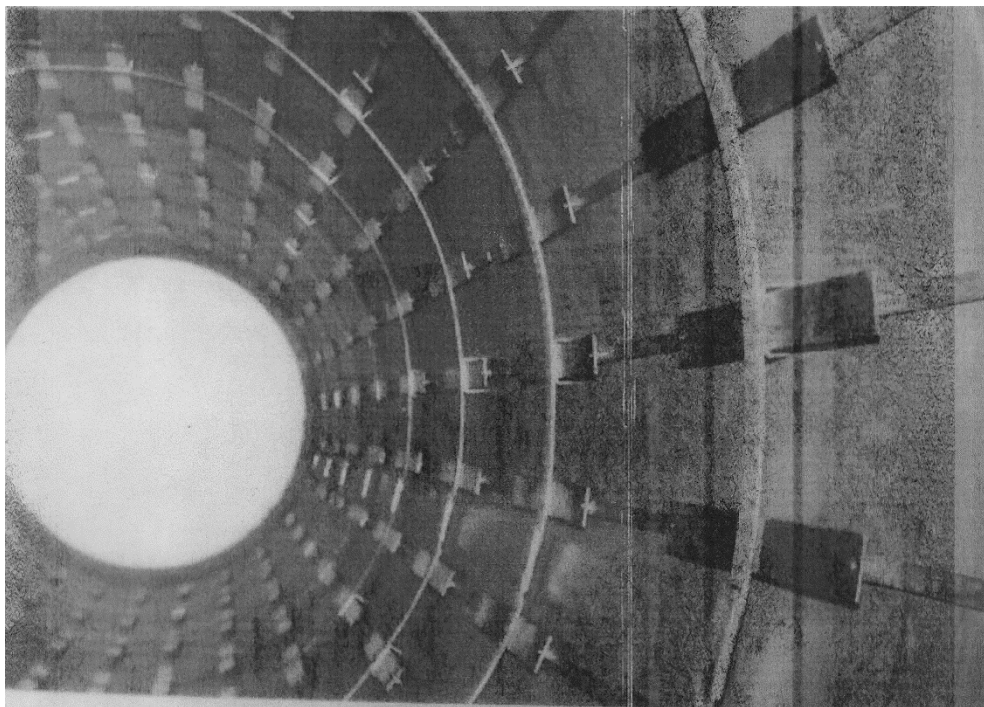


Рис. 77. Сушильный цилиндр с установленными термопланками

6.5. Устройства для подачи пара и удаления конденсата из цилиндров

Паровые головки служат для плотного соединения вращающихся деталей сушильного цилиндра с неподвижными паропроводами и конденсатопроводами в целях подачи пара в цилиндры и отвода из них конденсата.

По конструкции паровые головки делятся на головки с отводом конденсата неподвижными сифонами и на головки с отводом конденсата черпаками или вращающимися сифонами. Промышленностью выпускаются несколько типоразмеров паровых головок, различающихся значением условного прохода.

Паровая головка с вращающимся сифоном состоит из камеры для подвода пара и камеры для отвода конденсата, уплотнительных графитовых колец, пружины и других деталей. Вначале пар поступает в камеру, а затем через отверстия направляется в кольцевой затворы далее в сушильный цилиндр.

Паровая головка с неподвижным сифоном состоит из корпуса, конденсатной и паровой труб, торцевого уплотнения и других деталей.

Конденсатная труба является продолжением сифона и располагается внутри паровой трубы. Торцевое уплотнение включает в себя плоские уплотнительные графитовые кольца, втулку, прикрепленную к торцевой части цапфы, несколько пружин и фланец, установленный на двух управляющих шпильках.

На участке паровой трубы, начиная от уплотнительных колец, паровая труба в цапфе расположена консольно. К ней с помощью фланца прикреплен неподвижный сифон. В паровую камеру поступает пар, затем по кольцевому сечению он направляется в сушильный цилиндр. Конденсат из цилиндра возвращается по центральной трубе.

Необходимо отметить, что подача пара по центральной трубе более предпочтительна, так как при подаче перегретого пара по кольцевому сечению цапфы, соответственно торцевая крышка нагревается до более высокой температуры, в результате возникает неравномерное распределение температуры по длине поверхности цилиндра.

Схему подвода пара и отвода конденсата выбирают в зависимости от ширины и скорости машины: для низко- и среднескоростных машин подвод пара и отвод конденсата производят с приводной стороны, для скоростных и широкоформатных машин – подвод с обеих сторон машины. Для удаления конденсата из одностенных цилиндров применяют черпаки и сифоны неподвижного вращения, а из двустенных – вращающиеся сифоны и продувку паром, поступающим с большой скоростью.

Сифонное удаление конденсата применяется обычно при скорости машины свыше $250 \div 300$ м/мин, хотя может применяться и при меньших скоростях. По конструкции сифоны разделяются на неподвижные и вращающиеся. Неподвижная вращающаяся трубка диаметром $35 \div 60$ мм расположена примерно на расстоянии 300 мм от края сушильного цилиндра с приводной стороны и имеет наконечник, отстоящий на $2 \div 3$ мм от стенки цилиндра. В зависимости от направления вращения и количества конденсата в цилиндре сифон смещается на $15 \div 20^\circ$ по направлению вращения. Сифонная трубка укреплена консольно в корпусе сальника и дополнительно поддерживается трубой для подачи пара, расположенной внутри цапфы. Сборка сифона производится внутри цилиндра, для доступа туда в лицевой крышке имеется лаз.

Ввиду консольного закрепления и прогиба трубы не исключена возможность поломки при задевании наконечника о стенку цилиндра или от гидравлических ударов при образовании и разрушении конденсатного кольца. Однако необходимая разность конденсатной магистрали меньше при неподвижном сифоне, чем при вращающемся.

Двойной вращающийся сифон прикрепляется к крышке сушильного цилиндра с приводной стороны. На конце каждой сифонной трубки имеется наконечник, установленный на расстоянии 5 мм от стенки цилиндра. Стержни с регулируемой высотой гайками удерживают сифонную трубку в заданном положении по отношению к внутренней поверхности цилиндра. Двойным вращающимся сифоном можно удалить конденсат, находящийся в виде кольца и при скоплении его в нижней части цилиндра. Толщина слоя конденсата в

цилиндре при установке двойного вращающегося сифона, по некоторым данным, не превышает 0,8 мм.

Направление вращения цилиндра обусловлено расположением его в нижнем или верхнем ряду цилиндров, устройство для удаления конденсата должно соответствовать направлению вращения цилиндра.

Устройство, соединяющее трубы для подачи пара и отвода конденсата с приводной цапфой вращающегося цилиндра, называют сальником. Сальники старой конструкции с набивками не обеспечивают необходимой герметичности соединения, нуждаются в частой замене набивки и поэтому не пригодны в условиях высоких давлений пара. На современных машинах устанавливают сальники с графитовыми плоскими или сферическими уплотнениями.

Пригонка сферических колец более сложна и трудоёмка, чем пригонка плоских, но сферические кольца являются самоустанавливающимися и нет необходимости в высокой точности центровки осей цапфы и сальника. Графитосодержащие кольца устанавливаются между вращающимися деталями и неподвижными деталями сальника. Давление на уплотнения создаётся при помощи спиральной пружин.

На конструкцию сальника влияет также способ удаления конденсата из цилиндра. При удалении конденсата черпаком или вращающимся сифоном пар подаётся по внутренней трубе, входящей в цилиндр на протяжении $0,5 \div 1$ м, а конденсат удаляется в кольцевое пространство между внутренней стенкой цапфы и трубой для подачи пара. При удалении конденсата неподвижной сифонной трубкой, консольно закреплённой в корпусе сальника, пар подаётся через паровую трубу, внутри которой расположена сифонная труба.

Графитосодержащее кольцо устанавливается между вращающейся цапфой сушильного цилиндра и фланцем компенсатора.

Основные требования, предъявляемые к паровым головкам и конденсатноотводным устройствам:

- обеспечение подвода пара в соответствии с заданным технологическим режимом;
- устойчивый отвод конденсата при изменяющихся технологических параметрах (скорости машины, расхода и давления пара в цилиндре);
- обеспечение минимального остаточного слоя конденсата в сушильном цилиндре;
- прочность надёжность и технологичность конструкции;
- удобство монтажа.

Паровые головки с неподвижным сифоном

В таких головках конденсатотводная (наружная) и паровая (внутренняя) трубы закрепляются консольно в корпусе головки. Минимальный зазор между наконечником сифона и внутренней поверхностью цилиндра не должен превышать $5 \div 8$ мм.

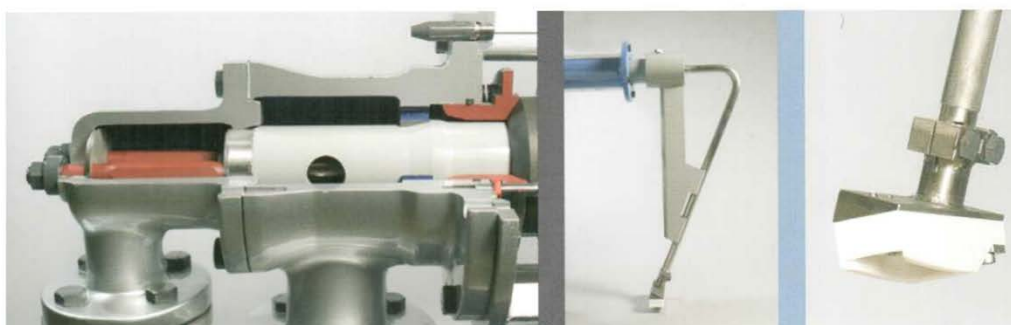
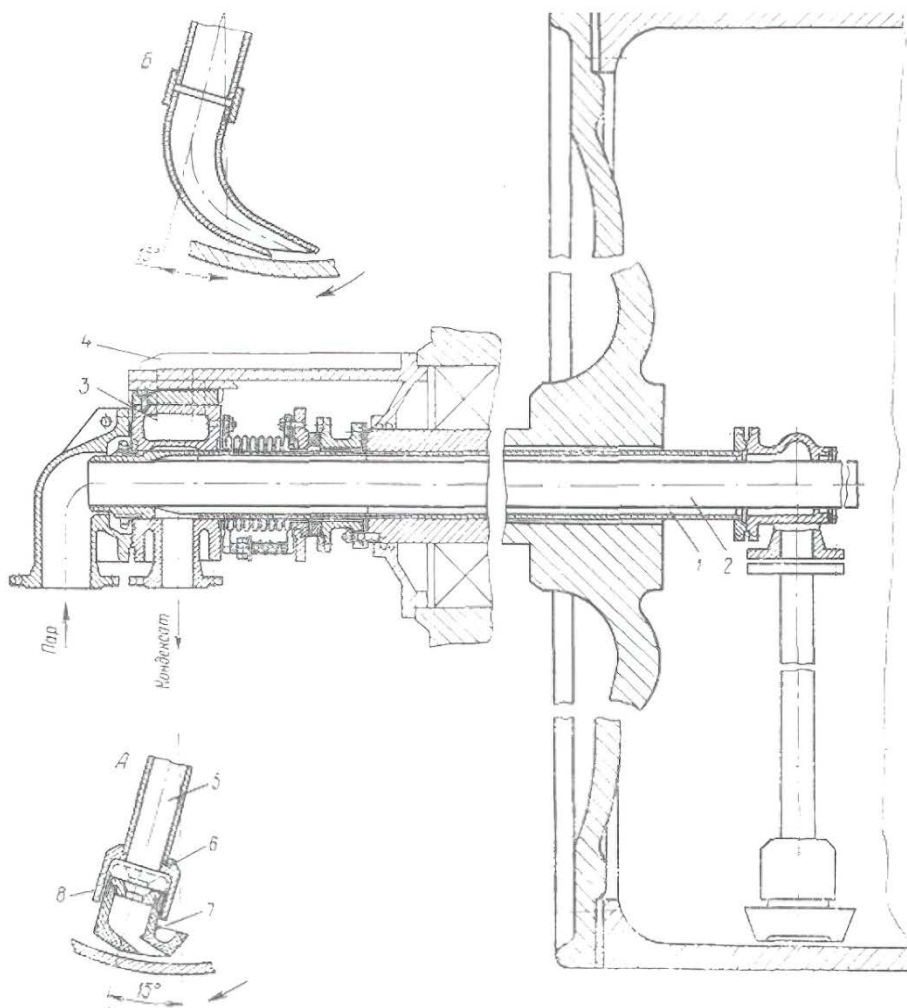


Рис. 78. Паровая головка с неподвижным сифоном

Паровые головки с вращающимся сифоном

Эта конструкция получила наибольшее распространение. Головка включает вращающуюся и неподвижную части, контактирующие через сферические графитовые кольца. Пар из корпуса паровой головки через паровыпускную трубу поступает в сушильный цилиндр, а конденсат уходит из цилиндра по вращающейся конденсатоотводной трубе. К преимуществу такой головки следует отнести её ремонтпригодностью. В случае выхода из строя

сальниковых уплотнений или графитовых колец не требуется разборка головки – она удаляется полностью.

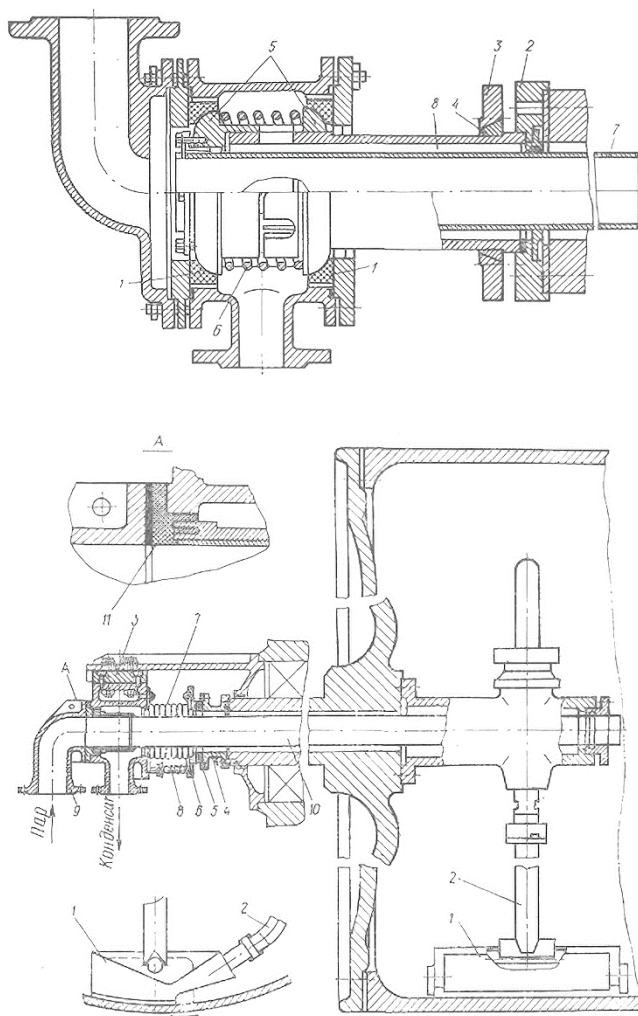


Рис. 79. Паровая головка с вращающимся сифоном

6.6. Пароконденсатные системы

Пароконденсатная система обеспечивает работоспособность сушильной части БДМ и КДМ.

Система подвода пара и удаления конденсата поддерживает заданный температурный режим в сушильной части, обеспечивает устойчивый гидравлический режим, заданные перепады давления пара, удаление конденсата и неконденсирующихся газов, рациональное использование пролётного пара и паров вторичного вскипания, оптимальный расход тепла на сушку и температуру конденсата, его полный возврат в пункт теплоснабжения предприятия.

Различают параллельные и последовательные с принудительной циркуляцией и перепуском пара по группам системы подачи и распределения пара в сушильной части.

Параллельная система подачи пара в сушильные цилиндры характеризуется отдельным снабжением каждого цилиндра паром (без использования паров вскипания) и установлением отдельных конденсатоотводчиков (бумага тонкая конденсаторная, электроизоляционная). Каждый цилиндр имеет отдельный паропровод и вентили, позволяющие регулировать давление в отдельных цилиндрах. Конденсат может отводиться общим отводом, общим для группы или для каждого цилиндра. Отдельный конденсатопровод позволяет регулировать температуру в каждом цилиндре.

Схема эта трудна в обслуживании и экономически нецелесообразна.

Наибольшее распространение получили с последовательным перепуском пара по группам. Такие системы характеризуются принудительной циркуляцией пара, отводом воздуха, неконденсирующихся газов с использованием паров вторичного вскипания. Для поддержания устойчивой работы привода машины сушильные цилиндры целесообразно разделять на паровые группы в соответствии с разбивкой сушильной части по приводу. В каждую группу подаётся на 10 ÷ 15 % больше необходимого количества пара для сушки. Каждая группа снабжается своим водоотделителем – сепаратором для пара. В водоотделителе пар отделяется от пароконденсаторной смеси и подаётся в последующие группы с меньшим давлением. Вторичный пар, поступающий из водоотделителя, обеспечивает потребность в паре последующие группы на 50 ÷ 70 %.

Остальные 30 ÷ 50 % потребности пара из главного паропровода через регулятор давления. Пар из водоотделителя группы цилиндров или цилиндра через пароструйный компрессор поступает на подпитку этой же группы цилиндров или цилиндра. Избыток пара отводится в бак-конденсатор, соединённый с вакуум-насосом. Эксплуатация этих систем требует наличие пара высокого давления не менее 1 МПа. Диаметры трубопроводов, размеры оборудования, расходы пара по группам цилиндров определяются теплотехническими расчётами. При наличии клеильного прессы пароконденсатная система имеет свои особенности. Такие системы, как правило, включают 5 последовательно соединённых и отдельную группу для сушки сукна (если есть цилиндры). Три группы обеспечивают сушку до клеильного прессы до 85 ÷ 92 %. После увлажнения при поверхностной проклейке на клеильном прессе полотно поступает в досушивающую часть, которая разбита на 2 группы, одна из которых включает 2 цилиндра и обеспечивает нагрев полотна до температуры интенсивного испарения, а 2-я группа содержит остальные цилиндры и обеспечивает досушку полотна до конечной сухости.

На главной магистрали подачи пара в сушильную часть устанавливают главный запорный вентиль или задвижку с дистанционным управлением с пульта. Индивидуально регулируется подача пара в каждый цилиндр при наладке машин или изменении технологического режима. Паропроводы рассчитывают с запасом. При расчётах скорость пара в коллекторах и

подводящих паропроводах обычно принимается 25 м/сек, а скорость пароконденсаторной смеси 14 м/сек.

6.7. Холодильный цилиндр

Для охлаждения картонного полотна перед его поступлением в каландр в конце сушильной части устанавливают охлаждаемые проточной водой. Наряду с охлаждением бумажного полотна с $90 \div 70$ °С до $55 \div 50$ °С на холодильных цилиндрах происходит и увлажнение его за счёт осаждения влаги, конденсирующейся на стенках холодильных цилиндров из окружающего воздуха.

Для охлаждения обеих сторон бумаги или картона обычно устанавливают два холодильных цилиндра: один в нижнем ряду, другой в верхнем. Иногда ограничиваются установкой в верхнем ряду одного холодильного цилиндра, охлаждающего и увлажняющего «сеточную», менее гладкую сторону бумажного полотна.

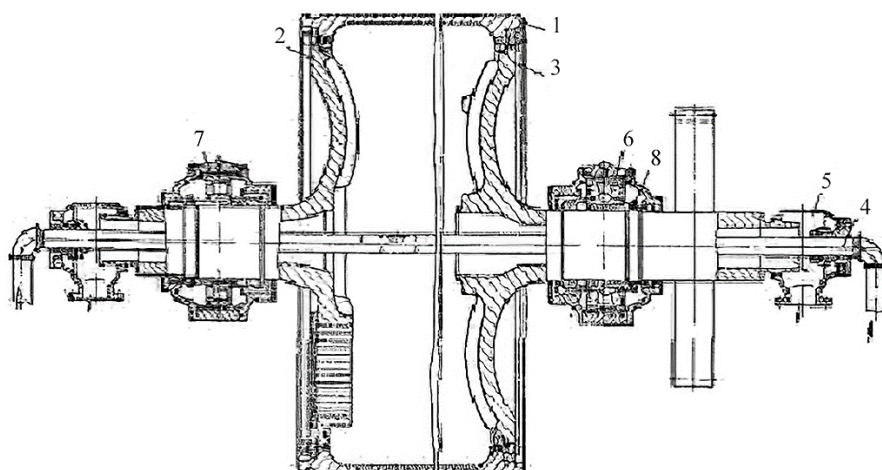


Рис. 80. Холодильный цилиндр:

- 1 – цилиндр; 2, 3 – крышки цилиндра с лицевой и приводной сторон; 4 – труба для подачи охлаждающей воды; 5 – корпус сальника; 6 – самоустанавливающийся подшипник; 7 – роликоподшипник с короткими цилиндрическими роликами; 8 – гайка для затяжки подшипника

Холодильные цилиндры (рис. 80) широких и быстроходных машин имеют такой же диаметр, что и сушильные цилиндры, и отличаются от них лишь устройством для подачи и отвода охлаждающей воды. Вода из водопроводной магистрали подаётся с лицевой стороны машины в перфорированную трубку диаметром $35 \div 40$ мм, расположенную внутри цилиндра и заканчивающуюся у

приводной его стороны. Для равномерности охлаждения цилиндра по всей его длине на трубке иногда устанавливают сопла, через которые вода поступает в цилиндр.

Из цилиндра вода удаляется с приводной стороны сифоном или черпаком, которые находятся от стенки холодильных цилиндров на большем расстоянии, чем в сушильных цилиндрах ($80 \div 100$ мм). При этом в холодильном цилиндре находится слой воды, способствующий равномерному охлаждению стенок цилиндра.

На узких и тихоходных машинах иногда применяют холодильные цилиндры открытого типа диаметром $600 \div 800$ мм и реже 1000 мм без торцевых крышек. Эти цилиндры представляют собой трубы (стальные, обтянутые медной рубашкой или толстостенные медные), в которых по концам запрессованы чугунные ребристые патроны. Вода и в этом случае подаётся в трубу с соплами с лицевой стороны через пустотелую цапфу, а удаляется с приводной стороны через окна в патронах.

6.8. Компоновка цилиндров

Для обеспечения возможности усадки бумажного или картонного полотна в процессе сушки сушильная часть разбивается на несколько приводных групп, между которыми поддерживается определённое соотношение скоростей. Количество и состав приводных групп определяется ассортиментом вырабатываемой продукции и технологическими параметрами машины. Чем больше усадка полотна, тем меньше должно быть цилиндров в приводной группе. Наибольшую усадку имеют бумаги и картон с массой жирного помола.

Сушильные части машин зарубежных фирм для газетных БДМ по приводу могут подразделяться до 7 групп. В современных высокопроизводительных машинах используются синтетические сетки часто при однорядном расположении цилиндров (2200 мм), количеством от 32 до 50 шт.

Для печатных видов бумаг сушильные части БДМ обрезной шириной до 7–8 м могут включать до 65 цилиндров диаметром 1500 мм, у более широких машин при диаметре цилиндров до 1800 мм их количество может достигать до 47.

Групповой привод сушильных цилиндров

На современных бумагоделательных и картоноделательных машинах наибольшее распространение получил встроенный паразитный привод. Однако в последние годы на высокоскоростных машинах применяется привод от сушильных сеток вместо ряда зубчатых колёс. Здесь по сравнению с паразитным приводом отпадает надобность в установке крупногабаритной коробки зубчатых передач на приводной стороне машины, при этом улучшаются условия

вентиляции межцилиндрового пространства, снижается ограничение рабочей скорости, обусловленное прочностью зубчатых колёс, снижается трудоёмкость технического обслуживания осциллирующих шаберов и подшипниковых узлов самого цилиндра, а также сетководущих или сукноведущих валов, уровень шума и требуемая мощность электродвигателей.

Требования, которым должен удовлетворять привод сушильных цилиндров:

- обеспечение плавного синхронного вращения цилиндров с заданной скоростью;
- минимальные энергетические затраты на привод;
- высокая надёжность, безотказность, долговечность хорошая ремонтпригодность;
- удобство установки и технического обслуживания смежных узлов – сушильных цилиндров, сукно- и сетководущих валов, их подшипниковых узлов, шаберов;
- жёсткость конструкции, отсутствие недопустимой вибрации;
- максимальная открытость межцилиндровых пространств, обеспечение условий получения равномерного профиля влажности по ширине полотна.

Паразитные приводы подразделяются:

- 1 – с прямым расположением шестерён;
- 2; 3 – с зигзагообразным расположением шестерён;
- 4 – с двухрядным расположением шестерён.

Отечественные сушильные цилиндры:

диаметр – 1500 мм;

максимальное рабочее давление – 0,8 МПа;

в крышках люк овальной формы 325 × 400 мм;

подшипники рассчитываются для работы при темп. 150–170°;

крышки цилиндров – торообразные, сферические выпуклые и вогнутые;

подшипники должны иметь повышенные начальные радиальные зазоры;

материал – серый или высокопрочный чугун.

6.9. Вентиляция сушильной части

К факторам, повышающим эффективность работы сушильной части и улучшающим метеорологические условия в цехе бумагоделательных машин, оборудованных системой вентиляции, можно отнести:

- рекуперацию тепла;
- интенсификацию процесса сушки путём подачи горячего воздуха на продувку сукон и сеток и вентиляцию межцилиндрового пространства;
- локализацию испарений и сокращение воздухообмена в зале машин;
- обеспечений условий труда в зоне обслуживания сушильной части.

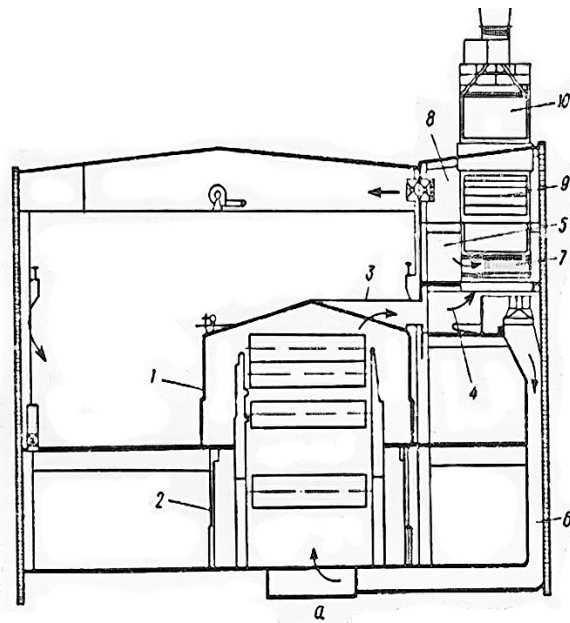


Рис. 81. Схема вентиляции современных бумагоделательных и картоноделательных машин:

1 – укрытие закрытого типа; 2 – укрытие 1-го этажа машины; 3 – вытяжной патрубков; 4 – вытяжной канал; 5 – воздухозаборный канал системы подачи воздуха на сушку; 6 – приточный канал системы подачи воздуха на сушку; 7 – теплообменник нагрева воздуха; 8 – канал подачи приточного воздуха; 9 – тепло-обменник нагрева приточного воздуха; 10 – теплообменник-скруббер для нагрева воды

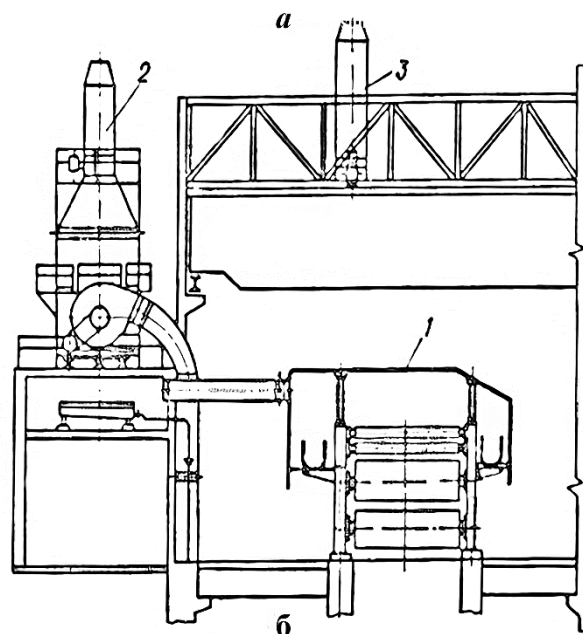


Рис. 82. Схема вентиляции открытого типа для старых одноэтажных машин:

1 – укрытие открытого типа; 2 – теплорекуперационный агрегат типа ВРА; 3 – вытяжная установка

Система технологической вентиляции машины взаимосвязана с приточно-вытяжной вентиляцией цеха: в этих системах применяются общие вентиляционные установки – теплорекуперационные агрегаты, обеспечивающие необходимый воздухообмен как в сушильной части машины, так и в помещении. Влага, испаряющаяся в процессе сушки из полотна, поглощается воздухом, принудительно подаваемого агрегатами теплорекуперационных агрегатов. Паровоздушная смесь удаляется вытяжными установками, создающими разрежение в сушильной части.

Все машины, вырабатывающие массовые виды продукции разбиты на 3 группы:

– закрытая система вентиляции с температурой приточного воздуха 60–80 °С и температурой удаляемого воздуха на линии насыщения 50–60 °С с оборудованием; теплорекуперационные агрегаты (ТРА), колпаки закрытого типа, сетко- и сукнопродувные устройства;

– открытая система с температурой 25–40 °С и температурой удаляемого воздуха 30–37 °С с оборудованием; вентиляционно-рекуперационные агрегаты (ВРА), колпаки открытого типа, сеткопродувные устройства;

– комбинированная система с темп. приточного воздуха 25–80 °С (25–450 °С) и температурой удаляемого воздуха 30–60 °С (30–75 °С) с оборудованием; ТРА и ВРА, колпаками закрытого и открытого типа, сеткопродувных устройств, сушителей конвективных и теплоцентров, конвективных сушителей к лоцильным цилиндрам.

Система вентиляции закрытого типа обеспечивает процесс сушки бумаги или картона при относительно высоких параметрах воздуха. Эти системы оборудуются колпаками закрытого типа, теплорекуперационными установками с многоступенчатой схемой утилизации тепла и промежуточным подогревом воздуха, подаваемого в сушильную часть.

Машины, вырабатывающие тонкие и специальные виды бумаг с низкой механической прочностью, также машины с малой производительностью и низким расходом тепла оборудуются вентиляционными системами открытого типа. Системы включают в себя колпаки открытого типа и ТРА с одноступенчатой или 2-х ступенчатой схемами удаления тепла. Из опыта известно, что при закрытой системе вентиляции удельный расход тепла на 15 ÷ 20 % ниже, чем при открытой.

6.10. Определение расхода воздуха для вентиляции сушильной части

Расчёт расхода воздуха для вентиляции сушильной части по известной производительности машины – $Q_{\text{час}}$, начальной сухости бумажного полотна – S_0 , конечной сухости – S_2 , начального влагосодержания воздуха – d_0 , конечного влагосодержания паровоздушной смеси – d_2 . Температура сушильного воздуха, подаваемого для вентиляции сушильной части – t_0 .

Массовый расход сушильного воздуха определяется из выражения:

$$L = \frac{1000 \left(\frac{100-S_0}{S_0} - \frac{100-S_2}{S_2} \right) Q_{\text{час}}}{d_2 - d_0}, \text{ кг/ч.}$$

Плотность воздуха при требуемой температуре определяется из выражения:

$$\rho_B = \frac{\rho_0 273}{273 + t_c}; \text{ кг/м}^3,$$

где ρ_0 – плотность воздуха при $0^\circ\text{C} = 1,293 \text{ кг/м}^3$.

Объёмный расход воздуха определяется из выражения:

$$V_{\text{CB}} = \frac{L}{\rho_B}, \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Расход паровоздушной смеси принимаем на 20–30 % больше расхода сушильного воздуха за счёт присоса окружающего воздуха, откуда:

$$V_{\text{ПСВ}} = 1,3V_{\text{CB}}, \text{ м}^3/\text{ч.}$$

7. МАШИННЫЕ КАЛАНДРЫ

7.1. Каландр

подавляющая часть продукции, вырабатываемая на БДМ и КДМ, проходит машинное каландрирование. Машинная отделка бумаги и картона определяет такие качественные показатели, как плотность, гладкость и равномерность толщины. Указанные требования применяются к бумагам и картонам в неравной степени. Например, каландрирование перфокарточной бумаги производится в первую очередь для выравнивания толщины, кабельной – для обеспечения плотности и равномерности толщины полотна.



Рис. 83. Четырёххвальный машинный каландр фирмы «Over», Италия

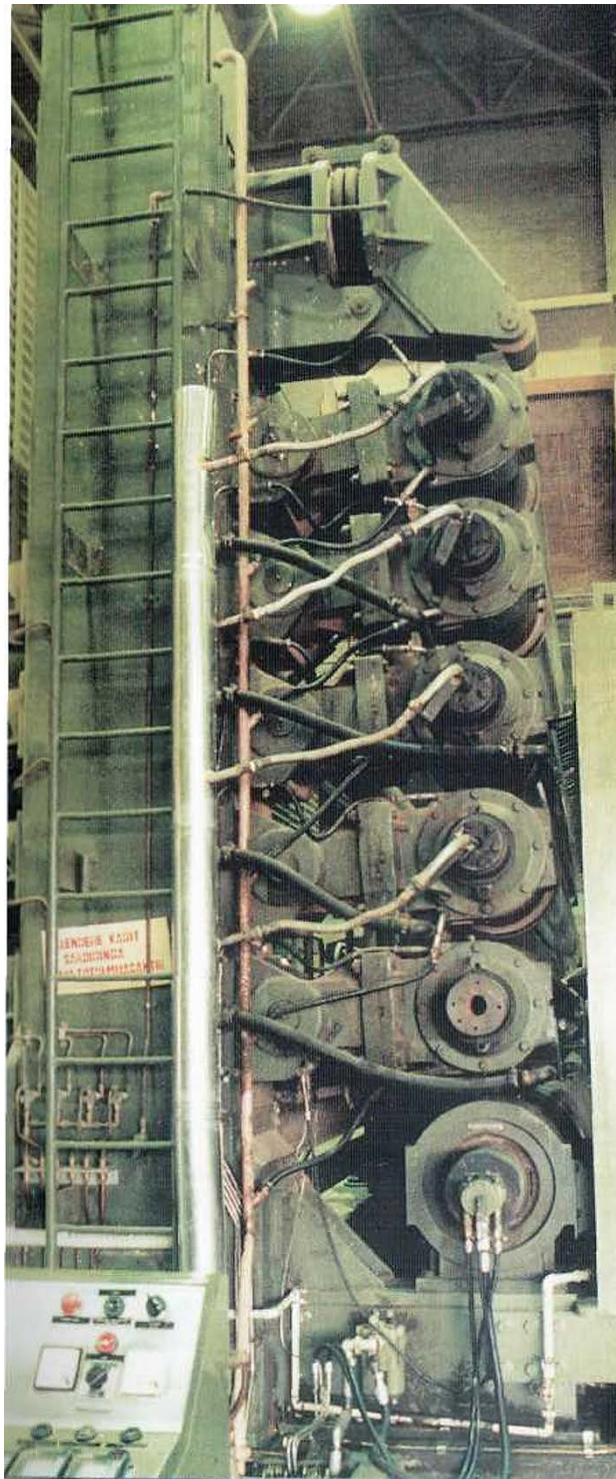


Рис. 84. Машинный каландр

Основное физическое воздействие, которое испытывает бумажное полотно в захвате металлических валов каландра, – деформация сжатия, осуществляемая под действием усилия, направленного по нормали к обрабатываемой поверхности полотна. Касательная, составляющая усилия каландрирования, примерно на два порядка меньше нормальной составляющей и заметного влияния на деформационные и качественные показатели полотна не оказывает.

В то же время при обработке полотна в суперкаландре в результате деформации и «скольжения» набивного вала касательное усилие оказывает заметное влияние на качественные показатели полотна.

При обработке полотна в машинном каландре значение касательной, составляющей усилия каландрирования, необходимо учитывать при определении окружных усилий для расчёта мощности каландра и усилий, действующих на промежуточные валы каландровых батарей. На показатели процесса каландрирования в основном влияют:

- давление между валами;
- число захватов;
- продолжительность каландрирования;
- температура валов и влажность обрабатываемого полотна.

Наиболее важный параметр каландрирования – линейное давление и его распределение по ширине площадки контакта между валами и бумагой. Эффект воздействия на полотно зависит от характера воздействия давления, которое в значительной степени зависит от вязкоупругих свойств бумаги.

Закон изменения давления в захвате валов по ширине площадки деформации полотна имеет вид колоколообразной кривой. Вершина колоколообразной кривой изменения давления на площадке контакта будет лежать на оси, проходящей через центры контактирующих валов.

Соответствующее этому давлению линейное давление равно площади под кривой, определяемое интегрированием функции $f(x)$ по ширине площадки деформации:

$$p_{\text{лин}} = \int t(x) dx.$$

Для упрощения расчёта среднего давления в захвате сложный по форме импульс площадки контакта шириной B заменим равным по площади прямоугольным импульсом с шириной $B_{\text{эф}}$ и высотой p_{max} , тогда:

$$p_{\text{max}} = \frac{p_{\text{лин}}}{B_{\text{эф}}}.$$

Эффективная зона контакта $B_{\text{эф}}$ зависит от вязкоупругих свойств бумаги и лежит в пределах от 0,5 B до 0,3 B соответственно для бумаги с ярко выраженными упругими свойствами и для пластичной бумаги. Упругие свойства бумаге придают целлюлозные волокна, а пластичность – влага, наполнители и волокна древесной массы. Ширина зоны контакта валов (B м) с бумагой определяется как сумма входной C_1 и выходной C_2 зоны каландрирования:

$$B = C_1 + C_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}} \cdot (\sqrt{\delta_0 + \delta_{\text{н}}} + \sqrt{\delta_{\text{н}} - \delta_{\text{п}}}), \text{ м},$$

где δ_0 – толщина бумаги до каландра, м;

δ_n – наименьшая толщина бумаги в захвате валов, м;

δ_n – толщина бумаги после каландра, м;

r_1 и r_2 – радиусы валов, м.

В начальный момент, при вытеснении воздуха из межволоконных полостей, деформация происходит более интенсивно, и для этого не требуется больших усилий. По мере сжимаемости волокон деформация затрудняется. В многовальных каландрах деформация происходит в основном в первых двух захватах. Так, при суммарной относительной деформации газетной бумаги в восьмивальном каландре 30 % – деформации в первых двух захватах составляет 20 %, а в последнем захвате – только 2 %. Вследствие этого современные машинные каландры имеют не более трёх зон каландрирования (четырёхвальные каландры).

В зависимости от вида бумаги и условий её каландрирования необходима оптимальная влажность. На холодильном цилиндре бумагу увлажняют на 1 ÷ 2 %.

Дополнительный прижим валов в каландре с обычными сплошными валами сообщается через верхний вал. Для компенсации прогиба верхние и нижние валы бомбируются.

Создание валов с регулируемым прогибом расширило возможности управления процессом каландрирования, в частности, позволило обеспечить дополнительный прижим валов после прохождения одного – двух захватов каландра, т. е. после предварительного выравнивания толщины бумаги и её вязкоупругих свойств.

7.2. Конструкции и типы машинных каландров

Машинный каландр включает:

- металлические валы, расположенные в виде вертикальной батареи, контактирующие друг с другом и опирающиеся под действием собственного веса на коренной вал батареи;
- станины, в которых расположены корпуса подшипников и рычаги валов;
- привод для вращения нижнего вала либо 2-го вала снизу;
- механизм подъёма и устройства дополнительного прижима валов.

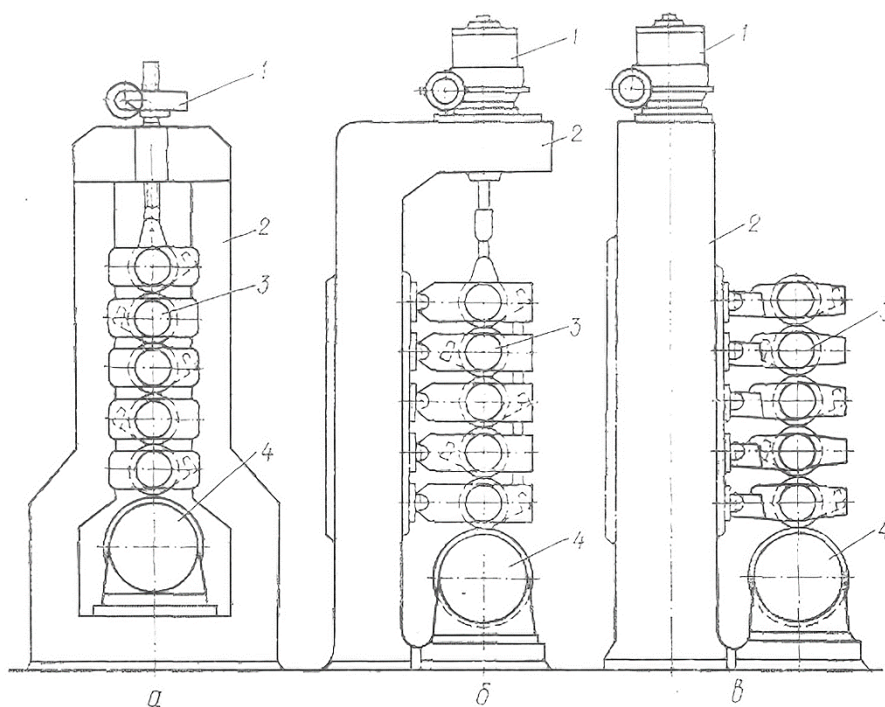


Рис. 85. Типы машинных каландров:

а – каландр с закрытыми станинами; *б* – каландр с открытыми станинами и консольным закреплением механизма прижима и подъёма; *в* – каландр с открытыми станинами и встроенными механизмами прижима и подъёма; 1 – механизмам прижима и подъёма валов; 2 – станина; 3 – промежуточные валы; 4 – нижний (коренной) вал

Приводной вал передаёт вращение смежным валам благодаря силам трения. Количество валов в батарее зависит от вида продукции, требуемого качества отделки, скорости машины и других факторов.

Машинный каландр один из самых энергоёмких и динамически нагруженных узлов БДМ и КДМ.

Применение валов с регулируемым прогибом, обеспечивающих равномерное давление по всей длине захвата, позволило интенсифицировать процесс машинной отделки бумаги и картона в основном за счёт увеличения линейного давления. Это также дало возможность уменьшить число валов в батарее и тем самым снизить металлоёмкость каландра.

К основным конструктивным параметрам можно отнести: тип станины, устройства для вылегчивания и дополнительного прижима валов, количество и конструктивные особенности валов, компоновку каландровой батареи.

По типу станин каландры разделяются на: закрытые двусторонние и открытые односторонние. В закрытых станинах корпуса подшипников средних и верхнего валов располагаются между направляющих станин (такого типа станины используются в основном в старых машинах), а в открытых станинах – корпуса подшипников шарнирно закреплены на станинах.

К достоинствам станин открытого типа можно отнести:

- чувствительность системы валов к вертикальным перемещениям;
- простоту изготовления станин и корпусов;
- удобство обслуживания и смены валов.

7.3. Вылегчивание валов

Каждый шарнирно закреплённый вал в каландрах со станинами открытого типа опирается по всей длине своей рабочей части на нижеследующий вал. Под действием веса подшипников и их корпусов, цапф и шаберов, консольно нагружающих цапфы, валы прогибаются кверху, что нарушает между валами равномерность линейного давления по ширине полотна. Специальные гидро- или пневматические устройства позволяют не только вывешивать эти консольные нагрузки, но и создавать избыточные нагрузки на консольных частях, прогибающие валы в противоположную сторону. Эти механизмы называют механизмами вылегчивания, а усилия, созданные ими, – усилиями вылегчивания.

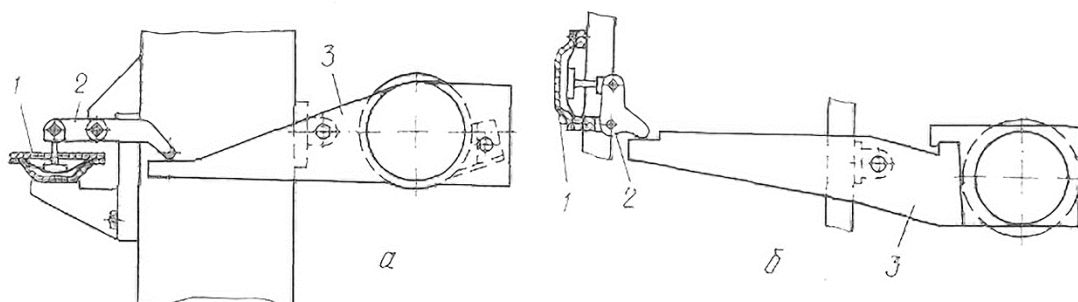


Рис. 86. Механизмы вылегчивания валов:

а – с горизонтальным креплением диафрагмы;

б – с вертикальным креплением диафрагмы;

1 – диафрагма вылегчивания; *2* – передаточные рычаги; *3* – рычаги валов

Механизм вылегчивания позволяет:

- полностью компенсировать нагрузку от консольных частей;
- компенсировать разность консольных нагрузок, возникающую на смежных промежуточных валах из-за наличия внутренних и внешних шаберов, а также разную жёсткость валов для обеспечения равномерного контакта в захватах;
- уменьшать в значительных пределах нагрузку на нижний вал от рабочей части самих валов и тем самым регулировать линейное давление между валами;

- обеспечить (в известных пределах) возможность работы каландра с разным количеством валов в батарее, не изменяя бомбировки нижнего вала;
- корректировать изменение толщины бумаги по краям.

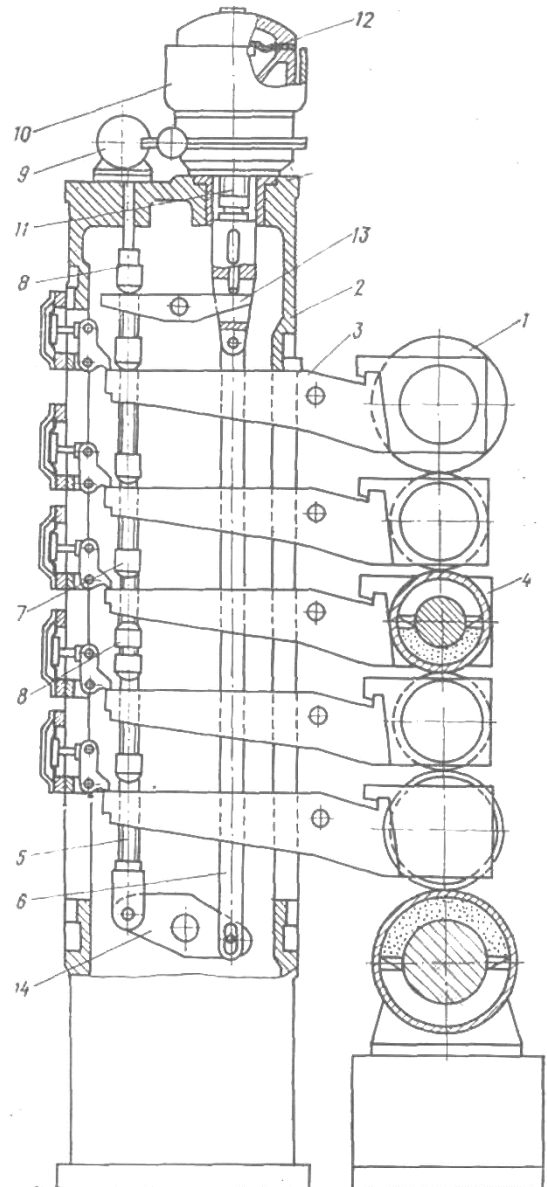


Рис. 87. Машинный каландр отечественной конструкции:

- 1 – металлические валы; 2 – станины; 3 – рычаги валов; 4 – корпуса подшипников; 5 – тяги подъёма и прижима валов; 6 – соединительные тяги; 7 – упоры подъёма и разведения валов; 8 – упоры прижима валов; 9 – электродвигатель механизма подъёма валов; 10 – червячные редукторы подъёма валов; 11 – винты подъёма валов; 12 – диафрагма подъёма валов; 13 – коромысло подъёма валов; 14 – коромысло вылегчивания валов

Наибольшее распространение независимого вылегчивания каждого вала с восприятием реакции усилия вылегчивания от каждого вала непосредственно на станину. В этих устройствах мембранные исполнительные механизмы закрепляются на лицевой и приводной сторонах сзади станин в вертикальном либо горизонтальном положении. Давление воздуха создаёт нужное и независимое на каждом вале усилие вылегчивания.

Для увеличения давления между валами и для их полного разведения служит механизм подъёма и прижима валов. В каландрах старых конструкций наиболее распространены рычажно-грузовые механизмы прижима валов сверху.

В современных каландрах (на широких машинах) используют гидравлические и пневматические механизмы прижима и электромеханические системы подъёма и опускания валов. В электромеханическую систему подъёма и опускания валов входят реверсивный электродвигатель, червячные редукторы, и горизонтальный вал.

Модификации для каландрирования различных видов бумаг:

- двухвальный каландр;
- каландр со стационарным вторым валом;
- каландр с дополнительным прижимом промежуточного вала;
- каландр с независимым регулированием давления в каждом захвате.

Линейное давление в обычном каландре в нижнем захвате составляет $80 \div 100$ кН/м. Линейное давление может достигать 200 кН/м.

Применение валов с регулируемым прогибом позволяет изменять прогиб рубашки вала, сохраняя тем самым равномерное давление между всеми валами при различных линейных давлениях между ними.

Привод вращения каландра желательно осуществлять от 2-го вала снизу.

Обязательная часть современных каландров – системы для воздушной или канатиковой заправки бумаги на каландр и на накат, устройства для обогрева паром или охлаждения водой полых валов и воздушного обдува валов или отдельных их участков с дифференцированной подачей воздуха через систему сопел.

Валы каландра оснащаются шаберами.

7.4. Софткаландр

До недавнего времени для существенного повышения поверхностной гладкости бумажного полотна и картона использовали стоящие вне потоков машин отделочные каландры, основу которых составляли многовальные суперкаландры. Повышение гладкости возникает в результате микроскольжений между поверхностями бумаги и металлического вала в зонах контакта металлического и «мягкого» набивного валов.

В зависимости от технологических требований и видов каландрируемой бумаги использовали «мягкие» валы с различными механическими свойствами,

которые изготавливали из хлопковой, шерстяной и асбестолатексной бумаги (набивки) на специальных набивных прессах. Такой способ изготовления «мягких» валов обеспечивал выполнение одного из основных требований к их механическим свойствам – низкого коэффициента объемного расширения (коэффициента Пуассона) при сжатии в радиальном направлении. Коэффициент Пуассона для набивных валов находится в пределах 0,1–0,2, и это обеспечивает возникновение по площадке контакта необходимых для выглаживания поверхности бумаги зон микроскольжений. Теоретически при нулевом коэффициенте Пуассона «мягкого» вала зоны скольжения по площадке контакта его с твердым валом распределяются так, как показано на рис. 88.

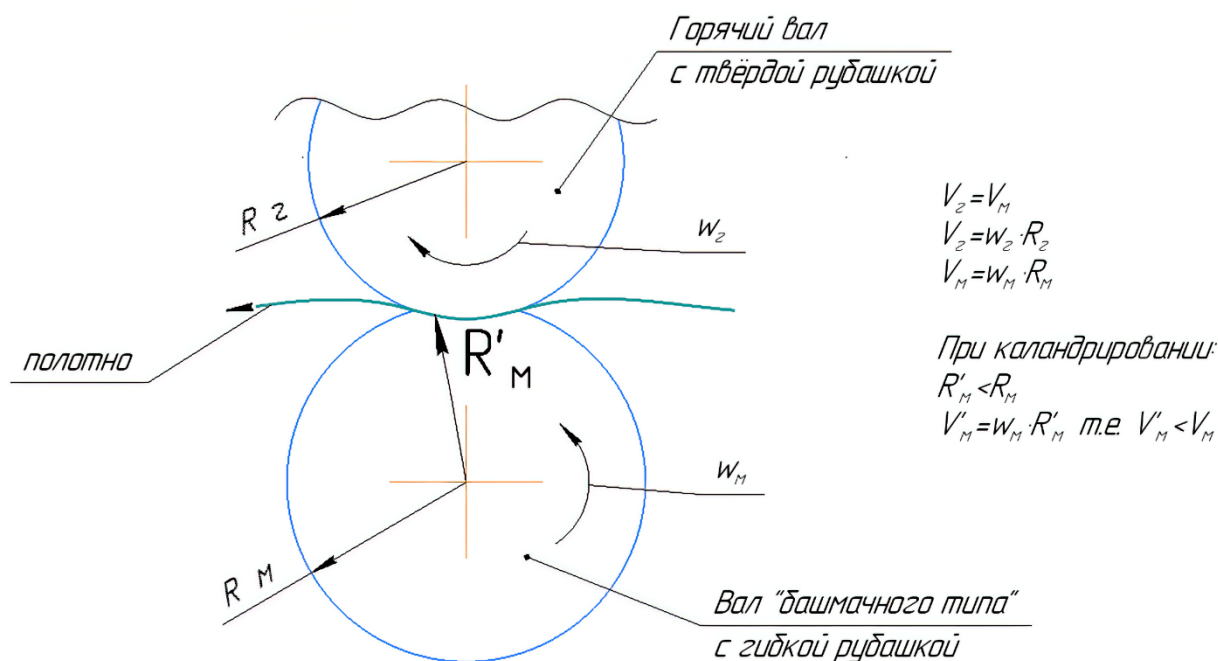


Рис. 88. Зоны скольжения «мягкого вала»

Суперкаландры как основное оборудование для повышения поверхностной гладкости бумаги использовались более ста лет. Развитие их конструкций на протяжении всего периода использования шло по пути уменьшения числа захватов за счет интенсификации процесса каландрирования. Это вызвало в первую очередь необходимость повышения износо- и температуростойкости «мягких» валов. Велись интенсивные поиски новых технологий изготовления и материалов для «мягких» валов, заменяющих технологии изготовления и материалы традиционных набивных валов, обладающих необходимыми физико-механическими свойствами и значительно превосходящих их по износо- и температуростойкости. Такие материалы были созданы только в конце 80-х гг. XX в. на базе композитов из полиуретана, углеродных волокон и минеральных наполнителей. Покрyтия из этих

материалов оказались устойчивыми к маркировке и способными работать длительное время при линейных давлениях до 300 кгс/см и температурах металлических валов более 200 °С, обладая при этом всеми необходимыми для ведения высокоэффективного процесса каландрирования свойствами.

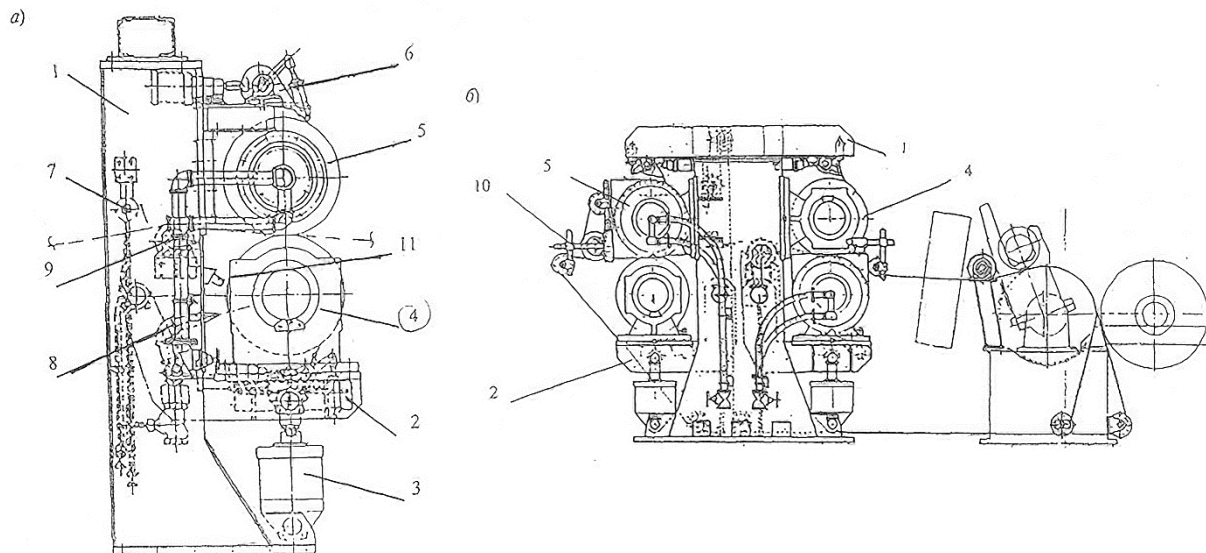


Рис. 89. Двухвальный (а) и четырёхвальный мягкие каландры (б):
 1 – станина; 2 – рычаг; 3 – гидроцилиндр; 4 – вал с регулируемым прогибом;
 5 – обогреваемый вал; 6 – шабер (осцилирующий); 7 – пароувлажнитель;
 8 – воздушное охлаждение; 9 – расправляющий вал; 10 – канатиковая заправка;
 11 – датчик температуры

В одном захвате вала с новым покрытием и металлического вала (термовала), нагретого до температуры 200 °С, при линейных давлениях 200–250 кгс/см можно было добиться, например, для писче-печатных видов бумаги гладкости до 300 с.

Открывшиеся возможности позволили создать принципиально новые отделочные двух-четырёхвальные каландры, по работоспособности, отвечающие требованиям режимов использования их непосредственно в потоках бумаго- и картоноделательных машин.

Первые конструкции новых каландров появились за рубежом в начале 90-х гг. XX в. Их использование в составе машин оказалось очень эффективным. Поэтому в течение семи-восьми лет большинство европейских предприятий провели техническое перевооружение, оснастив производство новыми мягкими каландрами в составе машин, и полностью прекратили использовать суперкаландры.

Основными изготовителями мягких (soft) каландров в Европе являются фирмы «Metso» (Финляндия), «Фойт» и «Кюстерс» (Германия). Компонировочные решения по установке валов, механизмам их прижима, составу вспомогательных

элементов, входящих в объем поставок каландров, выпускаемых перечисленными фирмами, практически не отличаются друг от друга (рис. 89).

Основные элементы конструкций современных каландров: сварные или литые станины открытого типа:

- «мягкие» валы с регулируемым прогибом;
- чугунные термовалы с поверхностным слоем из отбеленного чугуна;
- регулируемые электроприводы «мягких» и термовалов;
- гидравлические системы управления прижимом валов и регулирования прогиба «мягких» валов;
- осциллирующие шаберы «мягких» и термовалов;
- автоматические системы технологического контроля и управления;
- теплоцентр с системой подачи и регулирования нагрева теплоносителя термовала;
- система воздушного охлаждения кромок «мягких» валов.

Станины, осциллирующие шаберы, электропривод, гидравлические системы управления, системы автоматики и воздушного охлаждения мягких каландров не отличаются от обычно используемых для бумагоделательного оборудования.

Наиболее сложными и дорогостоящими элементами конструкций являются «мягкие» валы с регулируемым прогибом и термовалы (рис. 90, 91). В мягких каландрах используют валы с регулируемым прогибом типа Кюстерс с одной зоной регулирования, а также валы типа Нипко с гидравлическими опорами.

В мировой практике для мягких каландров применяют термовалы двух основных конструкций. В одной из них на стальной сердечник с выфрезерованными на нём каналами для теплоносителя по посадке устанавливают чугунную рубашку с отбелённым слоем, а во второй, параллельно образующей вала, на всю длину его бочки высверливают отверстия, как показано на рис. 91, которые коммутируются между собой сверлениями в цапфах. Обе конструкции требуют специального оборудования и изготавливаются по кооперации с фирмами, располагающими таким оборудованием.

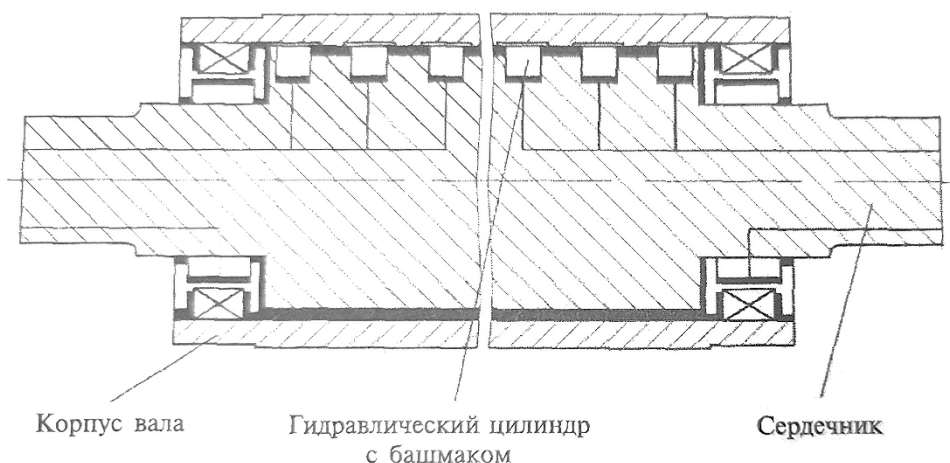


Рис. 90. «Мягкий» вал с регулируемым прогибом

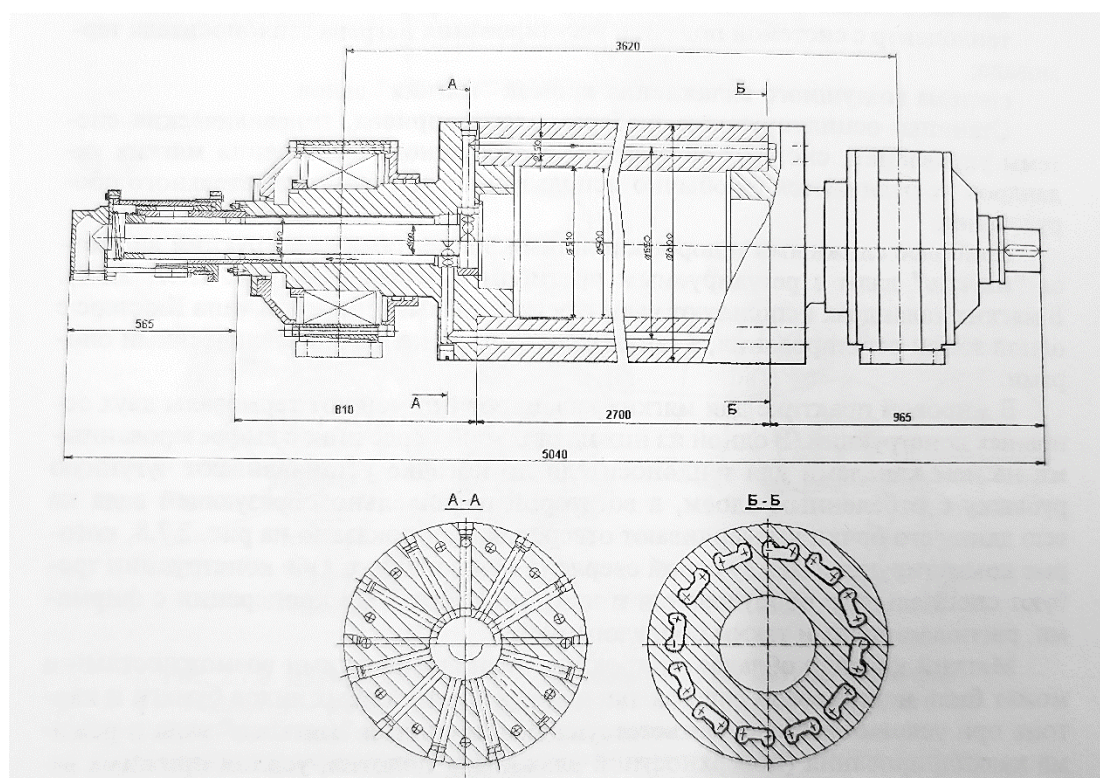


Рис. 91. Термовал «мягкого» каландра

Мягкий каландр обладает широкими технологическими возможностями и может быть использован для повышения гладкости любых видов бумаги и картона при условии выбора соответствующего покрытия «мягкого» вала и режима каландрирования. Так, например, для видов бумаги, требующих повышения поверхностной гладкости с сохранением впитываемости (текстурная, обойная), используют более мягкие валы и более высокие температуры.

Во избежание увеличения прозрачности писче-печатные бумаги каландрируют при средней влажности 5–6 % и применяют только поверхностное увлажнение, если требуются высокие показатели гладкости.

На результаты каландрирования влияют также композиционный состав бумаги, поверхностные покрытия, вид и количество наполнителей, проклейка, механические свойства полотна, т. е. свойства самого полотна бумаги.

Накоплен большой опыт в области каландрирования на мягких каландрах, особенно массовых видов продукции, но во избежание ошибок в части выбора материала покрытия «мягкого» вала существует практика проведения предварительных экспериментальных испытаний по каландрированию продукции заказчика. После испытаний определяют материал покрытия и режим каландрирования. Эти показатели определяют параметры мягкого каландра. Для каландрирования картона в настоящее время все большее распространение получили термокаландры.

Термокаландр предназначен для поверхностной отделки и калибровки бумаги и картона в целях повышения гладкости и равномерности толщины полотна.

Термокаландры конструктивно отличаются от мягкого каландра тем, что в нём вместо «мягкого» вала используют вал с регулируемым прогибом и твёрдой рубашкой из отбелённого чугуна. В термокаландрах обычно применяют устройства для регулирования температуры поверхности термовала о ширине полотна. Это может быть термообдув или индукционный нагрев

8. НАКАТ

Основные требования, предъявляемые к накату – обеспечение равномерной плотности намотки и лёгкости заправки полотна при намотке его в рулоны. Хорошее качество и равномерная плотность рулонов необходимы для обеспечения нормальных условий процесса резки на продольно-резательных станках.



Рис. 92. Накат периферический фирмы «Over», Италия

По принципу наматывания различают два типа накатов: осевые и периферические. В накатах осевых во вращение непосредственно приводится тамбурный валик. При постоянной окружной скорости бумаги частота вращения должна постоянно уменьшаться.

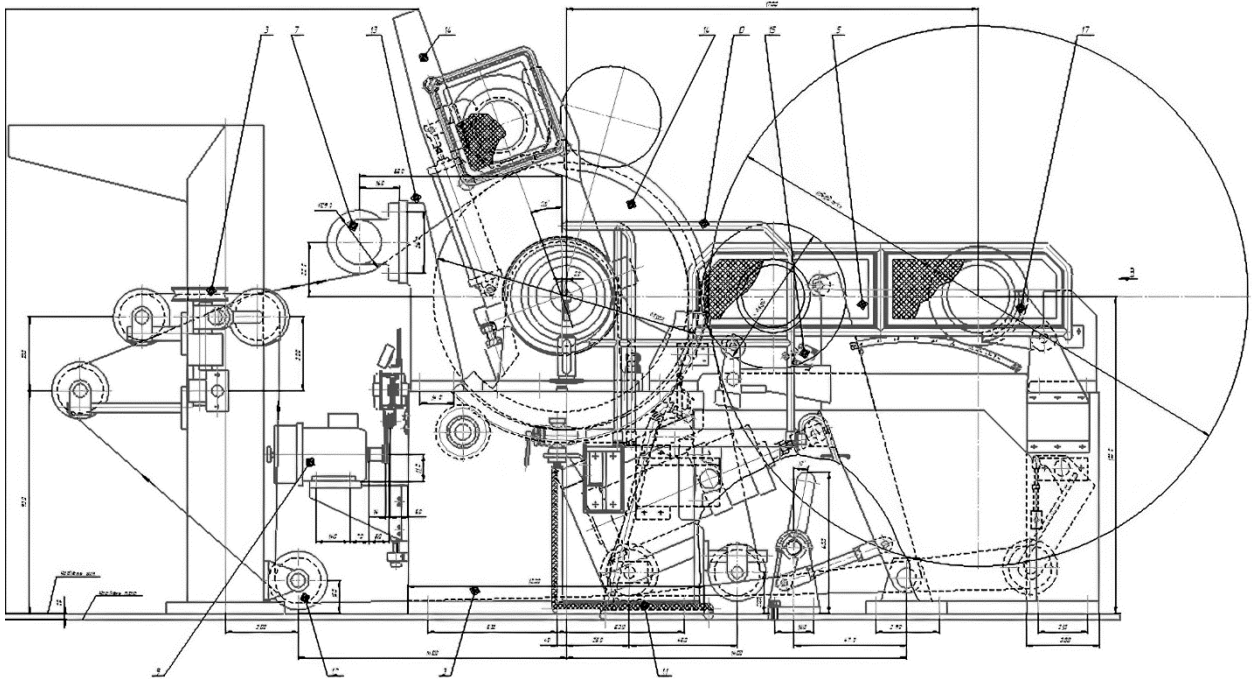


Рис. 93. Периферический накат

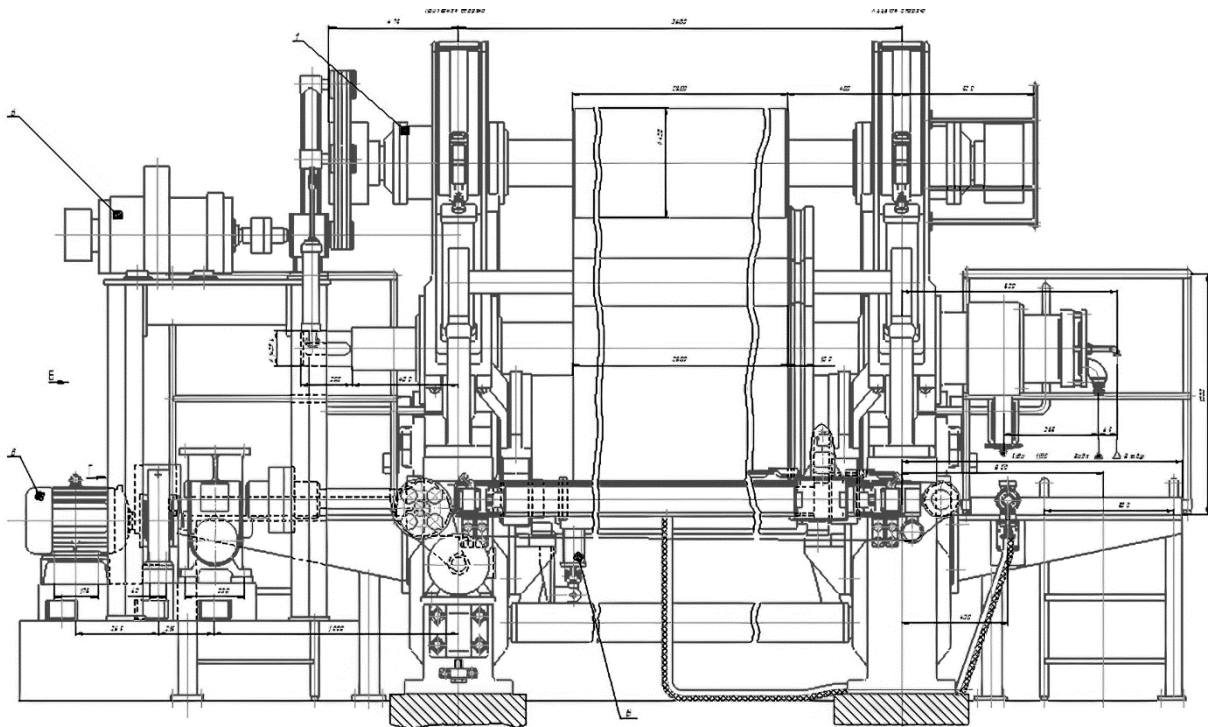


Рис. 94. Периферический накат, вид «слева»

В периферических накатах наматываемый рулон бумаги прижимается к цилиндру наката, вращающемуся с постоянной окружной скоростью. Рулон бумаги вращается под действием окружного усилия между поверхностями рулона и цилиндром наката. По мере увеличения диаметра частота вращения рулона с бумагой непрерывно уменьшается, а окружная скорость остаётся постоянной, равной (с точностью до $0,05 \div 0,15$ %) окружной скорости цилиндра наката. Периферический накат Поппе, нашедший применение на бумагоделательных машинах в 1918–1921 гг., позволил значительно повысить скорость бумагоделательной машины. На периферическом накате плотные, равномерно и туго намотанные рулоны получаются при меньшем натяжении бумажного полотна, чем на осевом накате. В связи с этим уменьшается число обрывов не только на накате, но и на машинах, через которые в дальнейшем пропускают ролеву бумагу.

Накат должен обеспечить равномерную плотность намотки. Слабо намотанный рулон бумаги при хранении легко деформируется, теряет цилиндрическую форму, и витки в нём легко смещаются друг относительно друга вдоль оси. При разматывании такой рулон вращается неравномерно, поэтому натяжение бумаги непостоянно, что приводит к увеличению числа обрывов. При слишком тугой намотке повышенные напряжения в бумажном полотне могут привести к обрывам полотна.

Плотность намотки на периферическом накате в основном зависит от линейного давления между рулоном бумаги и цилиндром наката и в меньшей степени от натяжения бумаги перед накатом. При намотке на накатах бумагоделательных машин радиальное давление составляет $50 \div 80$ кПа, что обеспечивается прижимом тамбурного вала с линейным давлением $2 \div 4$ кН/м.

Периферические накаты включают следующие основные узлы, обеспечивающие непрерывную и плотную намотку бумаги:

- цилиндр наката, к которому прижимается наматываемые тамбурные валы;
- тамбурные валы, на которых происходит намотка бумаги;
- приёмные рычаги, в которые устанавливается тамбурный вал в момент заправки полотна;
- рабочие рычаги, в которых удерживается тамбурный вал во время основной намотки полотна;
- механизмы привода поворота приёмных и рабочих рычагов.

Цилиндр наката отливается из серого чугуна, по конструкции аналогичен сушильному цилиндру и имеет устройство для подвода и отвода охлаждающей воды. Корпуса подшипников наката устанавливаются на чугунных станинах коробчатого сечения (некоторые станины изготавливаются сварными из стали). Тамбурные валы изготавливаются из стальной трубы, с запрессованными в неё чугунными патронами (в настоящее время некоторые патроны изготавливаются вместе с цапфами сварными из стали) и стальными цапфами. Корпуса подшипников выполнены цилиндрическими или сферическими для удобства

установки в приёмных рычагах и перекачивания по направляющим. На цапфе приводной и лицевой сторон имеются кулачки для соединения с вилкой продольно-резательного станка, смонтированные в шкивы для разгона тамбурного вала.

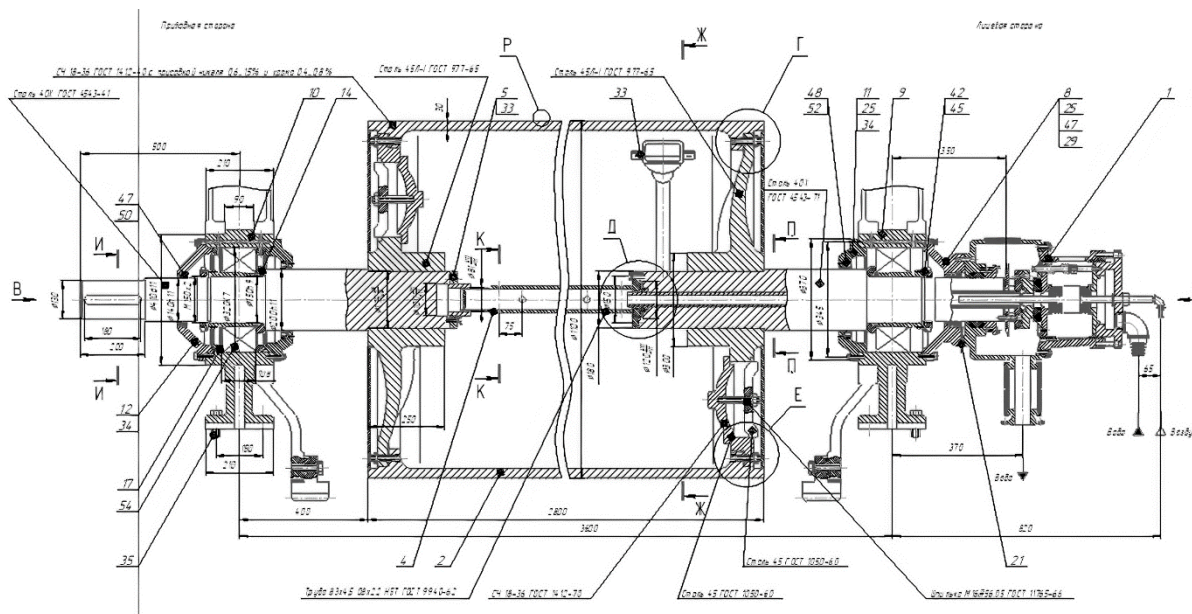


Рис. 95. Цилиндр наката в разрезе

Тамбурный вал при намотке устанавливается в приёмные рычаги, которые, в свою очередь, после предварительной намотки автоматически переводят его на направляющие станин. К рычагам крепятся пневмоцилиндры (возможно использование гидроцилиндров), прижимающие тамбурный валик цилиндру наката в момент намотки бумаги. Приёмные рычаги обычно монтируются эксцентрично на корпусах цилиндра наката, поэтому в верхнем положении тамбурный вал не касается цилиндра наката. По мере поворота рычагов тамбурный вал приближается к цилиндру и соприкасается с ним. Привод рычагов может быть выполнен гидравлическим или электромеханическим. На отечественных конструкциях применяется привод электромеханический. С этой целью к приёмным рычагам крепятся зубчатые секторы. После намотки рулона по радиусу на 50 ÷ 70 мм рулон автоматически перекалывается в основные рычаги (рабочие). Основные рычаги служат для прижима наматываемого рулона к цилиндру наката и для отвода готового рулона. Синхронизация движения рычагов осуществляется валом, соединяющим оба рычага. Необходимое линейное давление между наматываемым рулоном и цилиндром наката поддерживается с помощью автоматического регулятора давления.

Пока ведётся намотка на тамбурный вал, установленный в приёмных рычагах, намотанный рулон, находящийся в рабочих рычагах, снимают с машины с помощью специального крана. Наматываемый рулон переводят с приёмных на рабочие, где продолжается его намотка. На современных

машинах диаметр наматываемого рулона может достигать свыше 2500 мм. Для быстрого останова отведённого рулона большого диаметра установлен тормоз рулона.

Для отсоединения намотанного рулона от наматываемого полотна включается воздушный шабер, подающий сжатый воздух.

Между каландром и накатом может устанавливаться неподвижная расправляющая дуга (на старых машинах), бомбированные или расправляющей валики типа Маунт-Хоуп для предотвращения образования складок бумажного или картонного полотна.

Для выравнивания влажности по ширине полотна с целью повышения качества его намотки и отделки перед накатом устанавливают специальные увлажнительные устройства.

9. СУПЕРКАЛАНДРЫ

Для увеличения качественных показателей бумаги (лоска, гладкости, уплотнения и выравнивания толщины) её пропускают через валы суперкаландра. На суперкаландрах каландрируют большинство печатных и писчих бумаг, а также технических.

При проходе через суперкаландр увеличивается её гладкость, и повышаются её механическая прочность, незначительно может увеличиваться разрывная длина и число двойных перегибов. Бумага, пропускаемая через суперкаландр, удлиняется на $0,5 \div 1,5$ % и незначительно увеличивается по ширине.

Качество отделки бумаги зависит, прежде всего, от свойств самой бумаги: числа и вида наполнителей, влажности, равномерной толщины и эффективности каландрирования. Последняя величина определяется конструктивными свойствами: удельного давления между валами, числа валов, скорости каландрирования и увлажнения бумаги на машине.

Каладрирование зависит от назначения бумаги: писчую, типографскую, литографскую и подобные виды бумаги каландрируют с целью повышения гладкости и лоска, технические виды бумаги с целью уплотнения и выравнивания толщины, а пергамин с целью увеличения его прозрачности.

Исходя из ширины бумаги суперкаландры в отечественной промышленности классифицируют на три группы: 1-я – от 700 до 3400 мм; 2-я – от 1200 до 5300, 5700, 6720, 8400 мм; 3-я – от 700 до 3400 и 6300 мм.

Каландрируемые бумаги разделяются на 3 группы:

1 – каландрирование с целью их максимального уплотнения до $1,0 \div 1,3$ г/см³ и повышения прозрачности (конденсаторная, пергамин, калька натуральная);

2 – с целью уплотнения $0,75$ до $1,0$ г/см³ и повышения гладкости до $40 \div 400$ сек. (писчая, печатная, журнальная, иллюстрационная);

З – с целью максимального повышения гладкости до 400 ÷ 600 сек. и лоска (мелованная, мелованная типографская, для офсетной печати, баритоновая основа для фотобумаги).

$$Q = 0,06 bvg\eta,$$

где b – ширина бумаги, м;

v – скорость бумаги, м/мин;

g – масса бумаги, г/м²;

η – коэффициент использования машины зависит от числа обрывов в разматываемом рулоне бумаги 0,4 ÷ 0,7.

9.1. Принцип работы

Суперкаландр отличается от каландра бумагоделательной машины наличием большого количества бумажных набивных валов (или валов с эластичной рубашкой аналогичной твёрдости) и более высоким линейным давлением между ними.

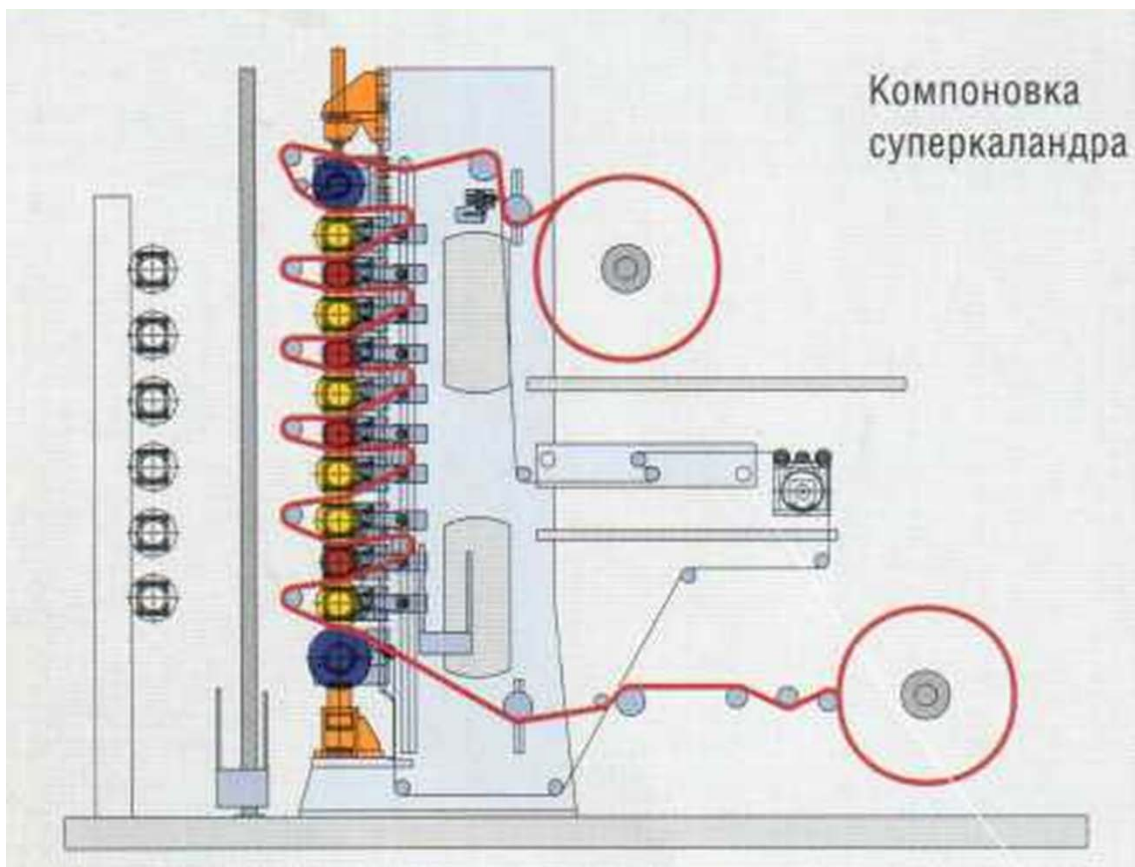


Рис. 96. Компоновка суперкаландра

Суперкаландр состоит из станины, батареи валов, раската наката, механизма прижима и опускания нижнего вала, бумаговедущих и

расправляющих валиков, пароувлажнителей с системой подачи пара и отвода конденсата, подъёмных устройств для обслуживания при заправке полотна, крановой тележки, ограждений валов, привода, системы автоматики и централизованной циркуляционной системы смазки подшипников.

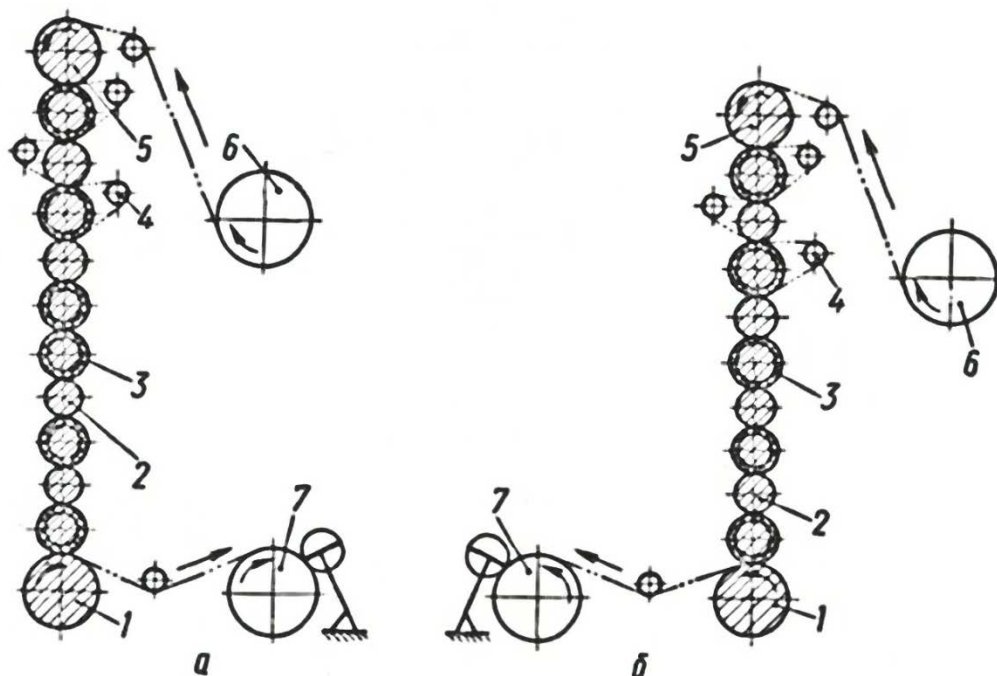


Рис. 97. Виды суперкаландров:

- a* – двухсторонней гладкости; *б* – односторонней гладкости;
 1 – нижний вал; 2 – металлический вал; 3 – набивной вал; 4 – бумаговедущий вал; 5 – верхний вал; 6 – раскат; 7 – накат

Установка рулонов с тамбурным валом в каретки раската осуществляется мостовым краном либо крановой тележкой суперкаландра. Заправка бумаги происходит на заправочной скорости при отсутствии дополнительного прижима. Полотно, разматываясь с установленного на раскате рулона, проводится на расправляющие бумаговедущие валики, заправляется на верхний вал суперкаландра, проходит сверху вниз между валами батареи, охватывая на своём пути бумаговедущие и расправляющие валики, установленные как на внутренней, так и на внешней сторонах каландра. При возрастающем линейном давлении полотно проходит между двумя нижними валами. Затем оно проводится через бумаговедущие валики, и расправляющее устройство заправляется на тамбурный вал наката. После заправки полотна на накате суперкаландр плавно переходит на рабочую скорость, где включается дополнительный прижим.

При обрыве полотна бумаги суперкаландр автоматически переводится с рабочей скорости на заправочную, дополнительный прижим снимается и валы разводятся.

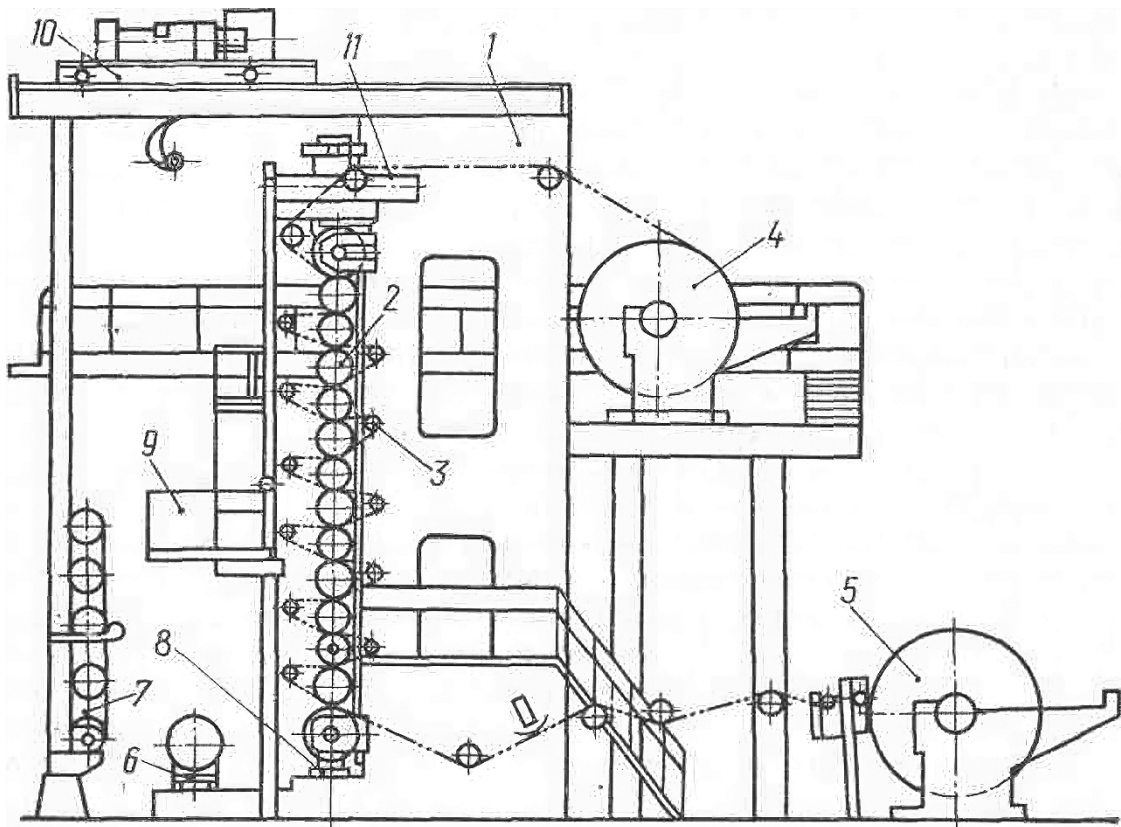


Рис. 98. Суперкаландр отечественной конструкции:

- 1 – станина; 2 – батарея валов; 3 – бумаговедушие и расправляющие валики;
 4 – раскат; 5 – накат; 6 – тележка для приема валов; 7 – стойка с запасными набивными валами; 8 – устройство для быстрого разведения валов;
 9 – подъёмная площадка; 10 – крановая тележка; 11 – механизм прижима

Установленные на станине бумаговедушие валики при заправке бумаги способствуют уменьшению охвата бумагой валов суперкаландра, благодаря чему деформация бумаги в зоне контакта между валами распределяется на большем участке полотна, что уменьшает число обрывов при работе. Включение дополнительного гидравлического давления на прижим батареи валов может быть произведено только при переводе суперкаландра на рабочую скорость с помощью магнитоупругих датчиков, установленных в опорах бумаговедушего валика на лицевой и приводной сторонах. Датчики автоматически включаются измерителем усилия и натяжения полотна, который регулирует величину торможения валов дисковым тормозом при обрывах.

Необходимое натяжение полотна между раскатом и верхним захватом батареи создаётся тормозным генератором, работающим в режиме электродвигателя. Приводным является нижний (первый) вал или третий снизу. Валы приводятся от двигателя постоянного тока (на современных машинах используют асинхронные двигатели с регулируемой частотой вращения). Шабер нижнего вала имеет возвратно-поступательное движение, его прижим и отвод осуществляется с помощью пневмоцилиндра.

Каландры разделяются на два вида: для каландрирования бумаги двухсторонней гладкости и односторонней гладкости.

Суперкаландры для двухсторонней гладкости имеют чётное количество валов. Для придания двухсторонней гладкости валы, проводящие бумагу, расположены между верхним и нижним металлическими валами и чередуются таким образом, чтобы сначала одна сторона бумаги касалась только металлических валов, а потом другая, при этом по середине батареи валов суперкаландра устанавливаются два смежных набивных вала.

Наряду с суперкаландрами, имеющими вертикальную батарею валов, существуют суперкаландры наклонного типа «Сириус», фирмы «Voith», Австрия. Суперкаландры такого типа могут снабжаться валами с покрытием из эластичного материала, валами с регулируемым прогибом и валами «башмачного» типа для более точного выравнивания плотности и толщины бумажного или картонного полотна по ширине машины.

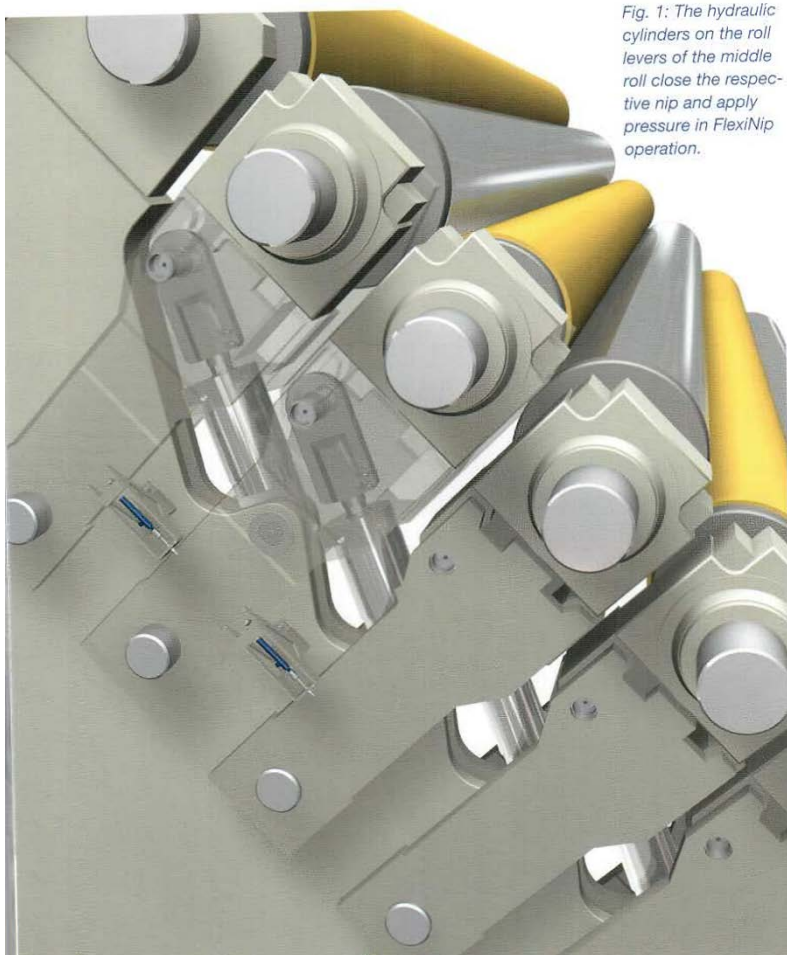


Fig. 1: The hydraulic cylinders on the roll levers of the middle roll close the respective nip and apply pressure in FlexiNip operation.

Рис. 99. Фрагмент наклонного каландра «Сириус»

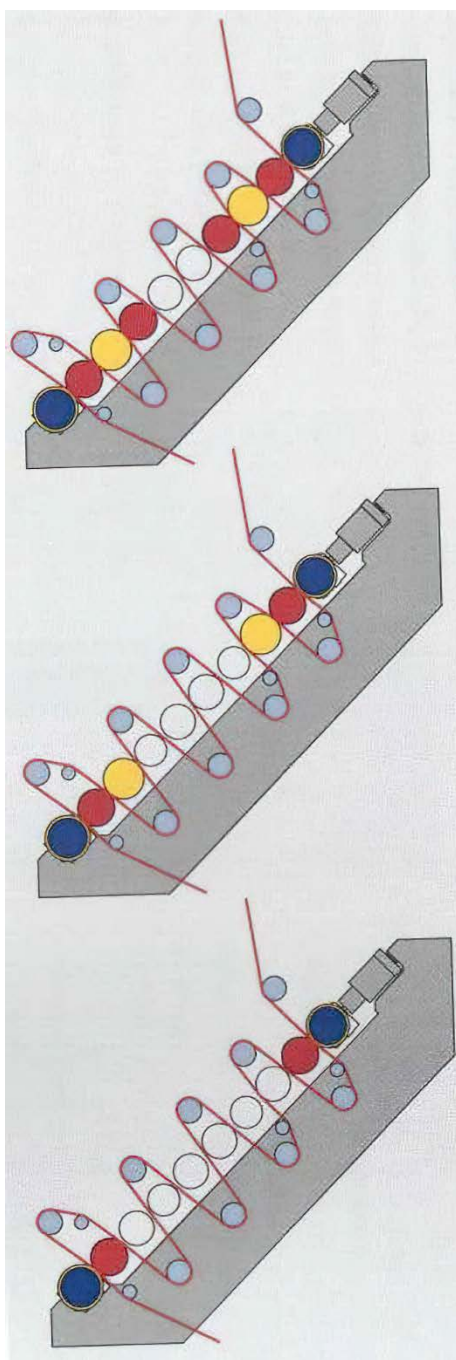


Рис. 100. Схемы наклонных каландров «Сириус»

Раскат и накат у конструкций суперкаландра с чётным числом валов расположены по одну сторону батареи валов, а у суперкаландра для бумаг с односторонней гладкостью расположены по разные стороны от батареи валов.

Наличие набивных бумажных (или валов с эластичным покрытием) валов создаёт более широкую площадку деформации бумаги, которая возникает в зоне контакта при прохождении между металлическими и набивными валами (или валов с эластичным покрытием). Ширина площадки деформации между металлическим и бумажным валом (или валом с эластичным покрытием) колеблется в пределах $4 \div 10$ мм и не зависит от скорости суперкаландра,

а возрастает лишь с увеличением линейного давления, диаметров валов и уменьшения твёрдости набивного бумажного вала (или вала с эластичным покрытием). От увеличения удельного давления зависят также гладкость и лоск бумаги.

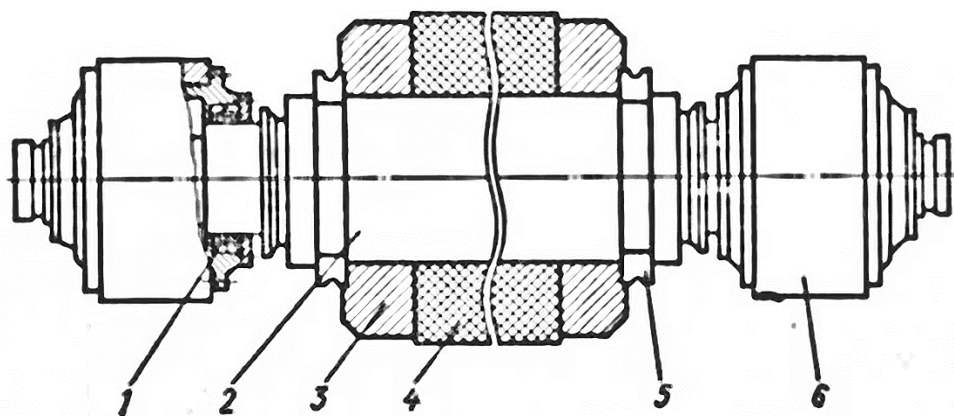


Рис. 101. Набивной вал:

1 – манжетное уплотнение; 2 – стальной сердечник; 3 – торцевая шайба;
4 – набивка; 5 – закладное кольцо; 6 – корпус подшипника

В процессе работы у набивного вала возникает радиальная деформация, что вызывает разные окружные скорости в зоне её действия, которые приводят к скольжению между валами, повышающему гладкость и лоск.

С повышением влажности пластичность бумаги и картона повышается, и они лучше каландрируются. Влажность писче-печатных бумаг должны быть в пределах $3 \div 8 \%$, шпульной и пачечной $7 \div 10 \%$. Влажность до каландра конденсаторной бумаги $15 \div 25 \%$, а чертёжного пергамина $24 \div 28 \%$. Увлажнение происходит на станках щётчного типа и при помощи увлажнительных установок. Бумага увлажняется только с одной стороны. После каландрирования все бумаги доходят до влажности 7% . Для досушки бумаги средние металлические валы обогреваются паром до $125 \text{ }^\circ\text{C}$. На сушку идёт и тепловая энергия, в которую переходит работа деформации набивных валов. При работе с мягкими эластичными набивными валами температура выделяемого тепла может превышать потребную, тогда металлические валы приходится охлаждать водой изнутри. Нижний вал является приводным.

Металлические валы обычной конструкции отливают из легированного чугуна с отбеленным слоем рабочей части толщиной до 30 мм.

Имеются конструкции металлических валов, изготавливаемых из нержавеющей стали.

Металлические валы имеют сквозные осевые отверстия для пропуска пара и воды и шлифованную поверхность. Нижние и верхние металлические валы выпускают больших диаметров, так как они воспринимают большие нагрузки. Верхние и нижние металлические валы бомбируются. В современных суперкаландрах также используются валы с регулируемым прогибом.

Набивной бумажный вал состоит из стального сердечника, на котором гидравлическим прессом под большим давлением запрессована специальная бумажная набивка (из шерстяной бумаги, хлопка или асбестовой бумаги толщиной по радиусу $80 \div 150$ мм). С возрастанием давления при набивке увеличивается твёрдость и снижается упругость валов. При набивке валов бумага уплотняется в 2–3 раза. С целью создания равномерной твёрдости набивки по всей длине валов бумажные закладки в пресс укладывают периодически блоками высотой $600 \div 800$ мм и выдерживаются под давлением не менее 8 часов, а затем давление снимают для закладки следующего блока. После набивки валы вначале обтачивают на токарном станке, а затем подвергают шлифовке алмазными резцами ротационного типа. Направление вращения вала должно совпадать с направлением вращения вала при шлифовке. Для уплотнения поверхности набивки и повышения твёрдости набивные валы после их изготовления, а также после каждой шлифовки для устранения вмятин, полученных в процессе работы, обкатывают вхолостую на суперкаландре. При обкатке валы смачивают тёплой водой, а скорость и давление вначале снижают и лишь в конце доводят до эксплуатационной (для новых через 6 часов обкатки, а после перешлифовок – через $8 \div 24$ часа).

При нормальной работе набивной вал до замены шлифуют $4 \div 8$ раз, а металлические валы один раз в несколько лет. Валы из шерстяной бумаги меняют в сроки от 2-х до 6-ти месяцев, валы из асбестовой бумаги через $1 \div 2$ месяца. Установленные на валах стальные шаберы имеют толщину $0,6 \div 0,8$ мм. Постоянное давление на вал в пределах $0,1 \div 0,3$ Н/м создают механизмы прижима, и осуществляется также перемещение вдоль оси вала. Движение или отвод шаберов осуществляется с помощью гидравлических или пневматических механизмов. На суперкаландре устанавливают гидравлические механизмы прижима, обеспечивающие также быстрый подъём валов, уменьшающий число вмятин, образующихся на поверхности набивных валов при обрыве и заправке бумаги.

Качество набивных валов во многом зависит от удельного давления при запрессовке на сердечник вала.

Удельное давление при асбесто-латексной набивке $50 \div 60$ МПа, при шерстяной и хлопковой набивке – $30 \div 45$ МПа.

10. РАСКАТ

Раскат состоит из двух стоек с каретками, в которых устанавливаются и зажимаются подшипники тамбурного вала с разматываемым рулоном. Раскат устанавливают ближе к верхнему захвату батареи валов, для многовальных и широких суперкаландров и помещают на специальном помосте на уровне второго этажа.

Для создания постоянного линейного натяжения полотна в качестве привода для размотки устанавливают специальный тормозной генератор,

который в момент заправки работает как электродвигатель, помогая разматывать рулон, а при переходе с заправочной скорости на рабочую как генератор, обеспечивая постоянное натяжение бумаги для качественной намотки. Для экстренной остановки существует механический тормоз.

Линейное натяжение бумаги $0,1 \div 1,5$ кН/м.

11. ПРОДОЛЬНО-РЕЗАТЕЛЬНЫЕ СТАНКИ

Продольно-резательные станки являются наиболее быстроходными машинами ЦБП. Их скорость может превышать 2500 м/мин. Производительность ПРС для определённой ширины бумаги определяется его скоростью и коэффициентом полезного действия, зависящего от времени наматывания при данной скорости и продолжительности вспомогательных операций (установка, съём рулонов, заправка и склейка бумаги при обрывах).

Требования к конструкции ПРС:

- равномерная плотность намотки бумаги;
- чистота реза;
- удобная и быстрая заправка бумаги;
- механизированный съём и опускание рулонов.

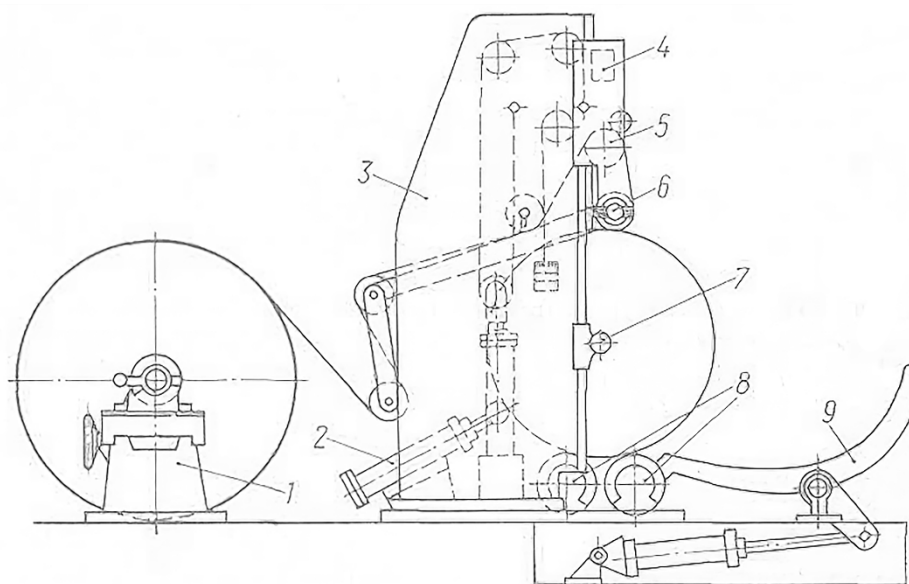


Рис. 102. Продольно-резательный станок:

- 1 – раскат; 2 – механизм сталкивания рулонов; 3 – станина; 4 – каретка
ножевого вала; 5 – механизм продольной резки; 6 – прижимной вал;
7 – механизм бесштанговой намотки; 8 – несущие валы; 9 – механизм
опускания рулонов

Наибольшее распространение получили станки периферической намотки с верхней и нижней заправкой. Существует несколько конструкций станков с

верхней заправкой: с ножевым валом, являющимся одновременно и прижимным; с ножевым и прижимным валами; с отдельно расположенными ножами и двумя бумаговедущими валами.

Конструкции станков с нижней заправкой предусматривают: заправку между несущими валами и отдельно стоящими ножами; заправку на передний несущий вал и ножевой вал, расположенный под несущими валами; пневматическую заправку к ножевому валу, расположенному впереди несущих валов.

У ПРС с верхней заправкой более удобная заправка бумаги: нет надобности высоко поднимать несущие валы и делать углубления под станком для удобства заправки. Однако при больших диаметрах рулонов (свыше 1200 мм) возникает неудобство в обслуживании механизма продольной резки.

При резке на ПРС с верхней заправкой механизм резки перемещается кверху по мере наматывания рулона, что даёт возможность осевого перемещения ножей и соответственного нахлёстывания кромок полотна бумаги, затрудняя разделение готовых рулонов.

На станках с нижней заправкой в результате стационарного расположения механизма резки этот недостаток исключён, и разделение рулонов происходит лучше.

Станки с нижней заправкой обеспечивают лучшую безопасность работы. При наличии воздушной заправки, исключаящую ручную, опасна лишь зона контакта рулона с верхним прижимным валом.

11.1. Механизм продольной резки бумажного полотна

От работы этого механизма зависит ровный гладкий рез, лёгкое разделение рулонов, снижение пылимости бумаги при печатании.

На ПРС применяют два способа резания: по принципу ножниц и ножевое резание дисковым ножом на ножевом (подкладочном) валу. При резке по принципу ножниц полотно проходит между режущими кромками чашечного и дискового ножей. Чашечные ножи насажены на вращающийся вал. Дисковые ножи установлены на специальных рычагах, закреплённых на трубе, вмонтированной поперёк станка. Дисковые ножи, свободно вращаясь на осях, прижимаются к чашечным ножам при помощи пружин и приводятся во вращение трением. В соответствии с заданной длиной рулона чашечные ножи устанавливаются с точностью до $\pm 0,5$ мм перемещением по валу и дисковых ножей по трубе. Число установленных пар ножей зависит от длины рулонов.

Вал чашечных ножей на станках с верхней заправкой приводится во вращение ремённой или цепной передачей от прижимного вала, лежащего на рулоне, а на станках с нижней заправкой – от несущих валов или ближайшего бумаговедущего валика.

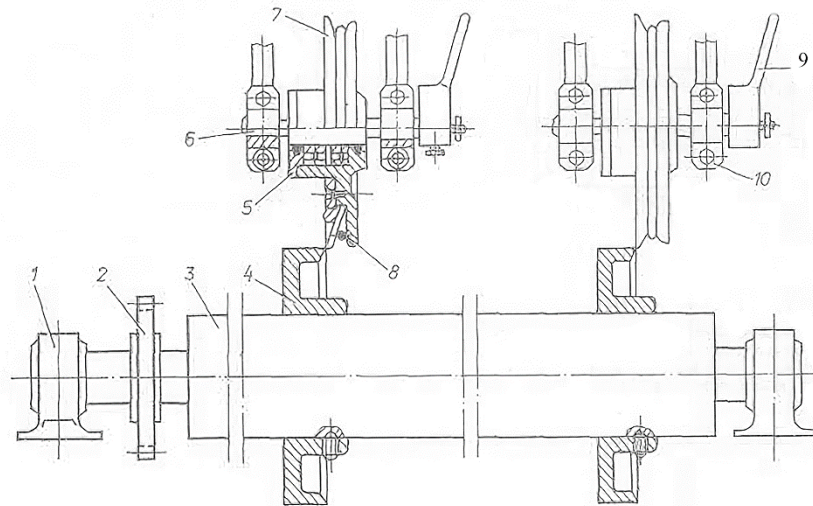


Рис. 103. Резание по принципу ножниц:

1 – подшипники нижнего вала; 2 – приводная шестерня вала; 3 – вал для установки нижних чашечных ножей; 4 – нижний чашечный нож;
 5 – подшипниковый узел верхнего ножа; 6 – эксцентричная ось дискового ножа; 7 – верхний дисковый нож; 8 – спиральная пружина для прижима ножа;
 9 – рукоятка для отключения верхнего ножа; 10 – кронштейн верхних ножей

При резке по принципу ножевого резания дисковым ножом, на ножевом валу бумажное полотно охватывает нижний ножевой вал, к которому верхние дисковые ножи прижимаются пружинами и пневматическим устройством. На трубчатый ножевой вал надеты стальные закалённые кольца высокой твёрдости.

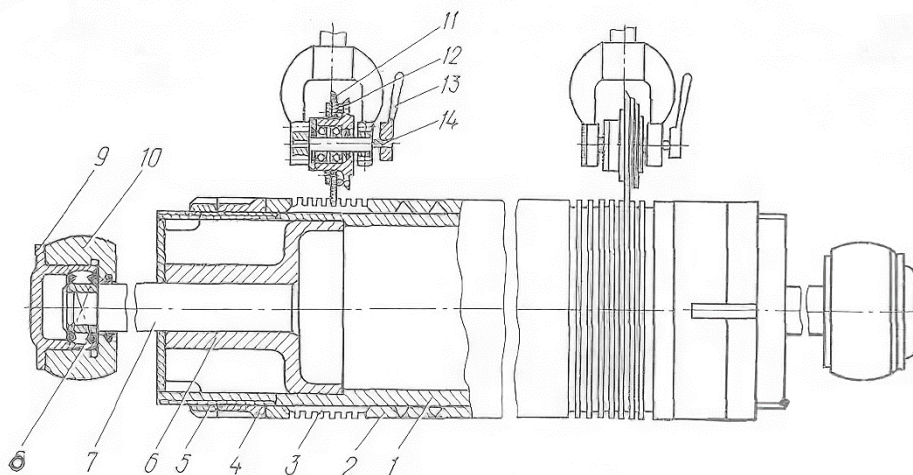


Рис. 104. Механизм резания ножевым валом:

1 – ножевой вал; 2 – сплошное кольцо; 3 – разъёмное ножевое кольцо; 4 – гайка вала; 5 – контргайка; 6 – патрон; 7 – цапфа; 8 – подшипник качения; 9 – крышка подшипника; 10 – корпус подшипника; 11 – верхний дисковый нож;
 12 – спиральная пружина; 13 – рукоятка для отключения верхнего ножа;
 14 – ось дискового ножа

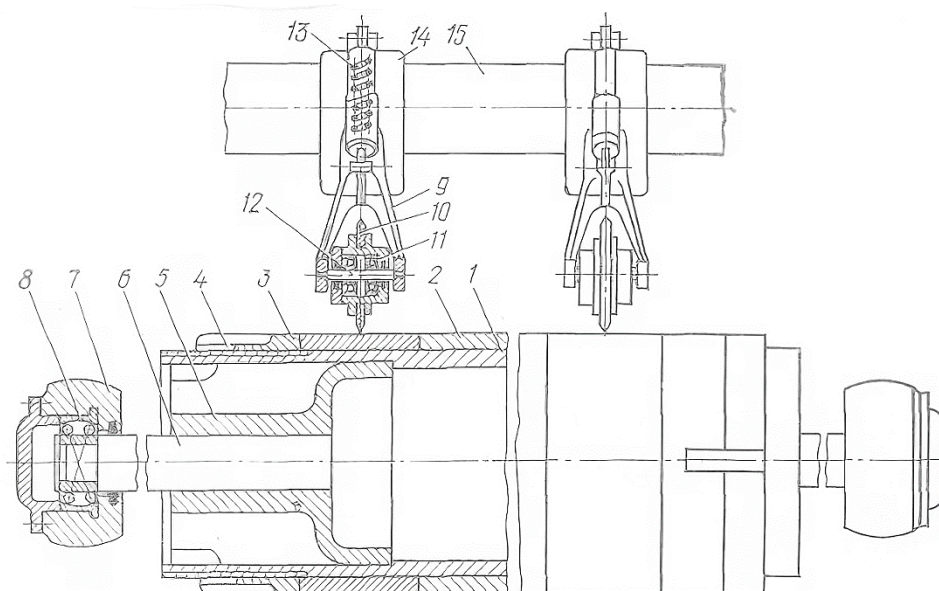


Рис. 105. Конструкция ножевого вала, работающего по принципу ножевого резания: 1 – труба ножевого вала; 2 – ножевой вал; 3 – гайка ножевого вала; 4 – контргайка ножевого вала; 5 – патрон; 6 – цапфа; 7 – корпус подшипника; 8 – подшипник; 9 – рычаг верхнего ножа; 10 – верхний дисковый нож; 11 – подшипник верхнего ножа; 12 – ось верхнего ножа; 13 – пружина для прижима ножа; 14 – кронштейн верхних ножей; 15 – труба для установки кронштейна

На станках с верхней заправкой ножевой вал является прижимным и приводным.

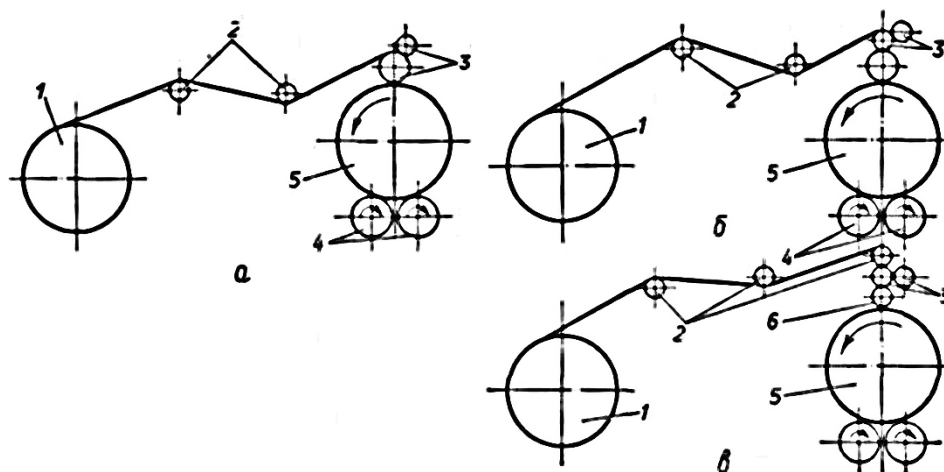


Рис. 106. Схемы продольно-режательных станков с верхней заправкой: а – с ножевым валом; б – с ножевым валом и отдельно расположенным прижимным валом; в – с отдельно расположенными ножами, бумаговедущими валиками и прижимным валом; 1 – раскат; 2 – бумаговедущий валик; 3 – механизм продольной резки; 4 – несущие валы; 5 – наматываемый рулон; 6 – прижимной вал

На станках с нижней заправкой он приводится во вращение от несущего вала; иногда для привода ножевого вала устанавливают отдельные электродвигатели.

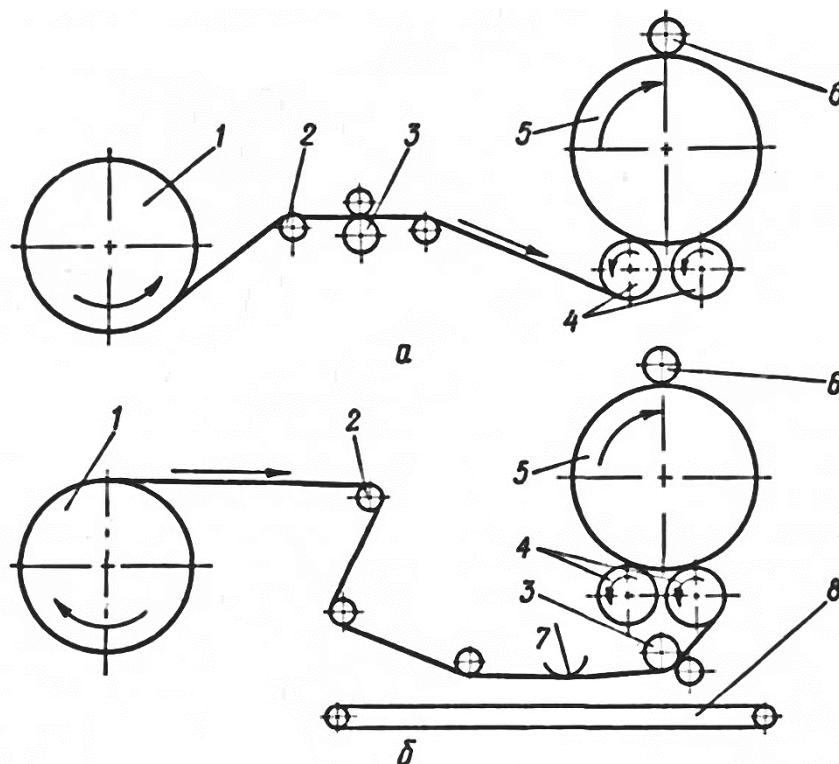


Рис. 107. Схемы продольно-резательных станков с нижней заправкой:

- а* – между несущими валами и отдельно стоящими ножами;
- б* – на передний несущий вал и с ножевым валом; 1 – раскат;
- 2 – бумаговедущий валик; 3 – механизм продольной резки; 4 – несущие валы;
- 5 – наматываемый рулон; 6 – прижимной вал; 7 – расправочная дуга;
- 8 – конвейер

Для получения чистого и гладкого реза скорость ножей должна превышать на 10 ÷ 20 % скорость движения бумаги и картона. Способ резки по принципу ножниц обеспечивает более чистый и гладкий рез и большую износостойкость ножей. В ПРС этот способ применяется чаще, чем способ ножевого резания.

Чашечные и дисковые ножи из износостойкой хромоникелевой стали. При резке бумаги без наполнителя срок службы ножей 4 ÷ 6 месяцев, а с наполнителем до 2 ÷ 3-х месяцев.

На станках с верхней заправкой, когда ножевой вал осуществляет функцию прижимного вала, компоновка станка улучшается. Механизм резки у таких станков с увеличением наматываемого рулона перемещается кверху. Существуют конструкции станков, работающих с ножевым валом по принципу ножа. На кольцах такого ножевого вала расположено 7 ÷ 8 канавок. Верхний дисковый нож в процессе резания соприкасается с гранью ножевой канавки. Все разъёмные ножевые кольца прочно закрепляются на валу затяжными гайками. Ножевые кольца закрепляются по всей длине вала с небольшим зазором

8 ÷ 10 мм. Смещая кольца с канавки по оси вала на эту величину, можно подобрать необходимые размеры ширины полотна.

Обрезные кромки бумаги или картона удаляются специальным вентилятором, разрываются на мелкие куски и по трубопроводу направляются в гидроразбиватель брака.

11.2. Несущие валы

В ПРС приводятся во вращение оба несущих вала, которые производят наматывание бумажного полотна на бумажную гильзу. Несущие валы представляют собой толстостенные трубы из стали или чугуна длиной на 150 ÷ 200 мм больше ширины разрезаемого бумажного полотна и находятся в пределах 400 ÷ 600 мм. Несущие валы могут быть изготовлены рифлёными. Рифы выполняются в виде спиральных канавок правого или левого исполнения на одном или на каждом валу, причём правые спирали на одной половине вала, левые – на другой. Такая поверхность увеличивает коэффициент трения, способствует удалению воздуха из пространства между рулоном и несущим валом, уменьшает шум работающего станка. На современных высокоскоростных ПРС применяются несущие валы (один из двух валов), имеющие эластичные покрытия, которые улучшают сцепление частей рулона с поверхностью. Для регулировки скоростей каждый вал имеет свой электродвигатель.

11.3. Механизм сталкивания

Механизм сталкивания рулонов состоит из пневматических цилиндров, шарнирно закреплённых на станинах. Со штоком цилиндра закреплён валик, сталкивающий рулоны при выдвижении штоков из цилиндров.

Существуют 2 типа устройств для опускания рулонов на пол.

1-й в виде опускающегося приёмного стола, поднимающегося с помощью пневмоцилиндра и опускающегося под действием массы рулонов, 2-й из механизма, состоящего из лап, расположенных поперёк станин на расстоянии друг от друга 800 ÷ 1000 мм и закреплённых на поперечном валу. После окончания намотки на лапы сталкиваются рулоны, и после поворота лап вокруг вала рулоны опускаются на пол. Трубчатый вал поворачивается либо от электродвигателя с редуктором, либо пневмоцилиндром.

11.4. Раскат и тормоз

Разматываемый рулон на тамбурном вале устанавливается на стойках раската. Для обеспечения одинаковой ширины обрезаемых кромок с обеих сторон бумажного полотна рулон вместе со стойками имеет возможность перемещаться вдоль своей оси относительно чугунных шин, на которых смонтированы стойки. Осевое смещение рулона осуществляется как вручную, так и автоматически с помощью пневматического регулятора.

Для установки параллельности оси рулона к несущим валам или при нарушении её в случае, когда один конец рулона намотан слабее, подшипник тамбурного вала лицевой стороны перемещают перпендикулярно оси вала. Хорошее качество намотки и устойчивая работа станка обеспечивают стабильной натяжение бумажного полотна. Натяжение бумажного полотна создаётся тормозом, соединённым с тамбурным валом рулона. Тормозом быстро останавливается разматываемый рулон при обрыве полотна, что сводит к минимуму потери бумажных отходов. Применяются три типа тормозов: механические, вакуумные и электрические. Из механических, дисковые применяются на широких станках, ленточные – на узких.

Наиболее целесообразным является электрическое торможение, осуществляемое генератором постоянного тока, соединённым с тамбурным валом рулона. Тормозной генератор при постоянной линейной скорости развивает постоянную мощность независимо от угловой скорости разматываемого рулона и поддерживает постоянное натяжение полотна. Тормозной генератор рекупирует до 50 ÷ 60 % потребляемой станком мощности. Механический тормоз необходимо устанавливать дополнительно как при установке вакуумного тормоза, так и при установке генератора.

12. ВАЛЫ БУМАГО- И КАРТОНОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

Современная высокоскоростная бумагоделательная машина содержит в себе свыше 300 валов и валиков (не считая сушильных цилиндров) различного назначения. К валам предъявляются очень жёсткие специфические требования, главными из которых являются высокая динамическая уравновешенность и по возможности максимальная жёсткость. При этом следует учитывать, что масса отдельных валов может достигать свыше 90 т при расстоянии между осями подшипниковых опор свыше 11000 мм.

В зависимости от технологического назначения валы можно разделить на следующие группы: поддерживающие (направляющие) и подающие (тяговые), а также специального технологического назначения.

К группе поддерживающих, или направляющих, валов бумагоделательных машин относятся: грудной, регистровые и сетководущие (для поддержания и

направления сетки), сукно- и бумаговедущие (для поддержания сукон и бумажного полотна в прессовой и сушильной частях), а также валы отделочных агрегатов (суперкаландров, продольно-резательных станков); бумаговедущие (для поддержания и направления бумажного полотна) валики, поддерживающие ленты транспортёров.

К группе подающих (тяговых) валов можно отнести: сеткоповоротные валы, приводные валы сукносушильных прессов и различные типы прижимных валов на продольно-резательных станках, вращающиеся валы для ножевого резания и вращающиеся валики с дисковыми ножами.

Также к группе подающих относятся тамбурные валы, используемые в накатах и в раскатах для подачи полотна в продольно-резательные станки, суперкаландры и в отдельностоящие меловальные установки.

К группе валов бумагоделательных и картоноделательных машин специального технологического назначения относятся гауч-валы и прессовые валы всех назначений (для обезвоживания бумаги на сеточной и прессовой частях), барабаны установки ровнителей (для выравнивания и уплотнения бумаги на сеточной части), пересасывающие (для передачи бумажного или картонного полотна с сеточной части в прессовую часть), валы машинного каландра, валы софткаландра (для уплотнения и повышения гладкости бумаги) и др., а также форматные валы отделочных машин, металлические и набивные валы суперкаландров (для уплотнения, повышения лоска и гладкости бумаги).

На практике одни и те же валы могут одновременно выполнять различные функции. Так, например, регистровые валы наряду с поддержанием сетки способствуют обезвоживанию бумажного или картонного полотна.

Общие требования к валам. Существуют специфические и общие требования к валам.

Специфические требования, прежде всего, определяются технологическим назначением вала, а также скоростью, шириной и общей компоновкой машины. Рассмотрим общие требования, предъявляемые к валам.

К ним относятся: конструкция и геометрические размеры валов бумагоделательных и картоноделательных машин, которые должны обеспечивать максимальную жёсткость (минимальный прогиб) при наименьшем весе. Чем меньше прогиб валов, тем равномернее обезвоживание по ширине бумажного и картонного полотна в сеточной части бумагоделательной машины и равномернее распределение линейного давления в зонах прессования, а также в зонах каландрирования на машинном каландре и суперкаландре. С уменьшением прогиба вала увеличивается его критическая угловая скорость, а вместе с ней и допустимая рабочая скорость. Это существенно для валов небольшого диаметра (сетко-, сукно- и бумаговедущих валиков), угловые скорости которых при одной и той же линейной скорости выше, чем у валов большего диаметра.

При одном и том же весе жёсткость пустотелых валов выше, чем жёсткость сплошных. Этим и объясняется широкое применение пустотелых валов на бумаго- и картоноделательных машинах.

Пренебрегая весьма небольшим скольжением, можно считать окружную скорость неприводных валов равной скорости сетки или сукна независимо от диаметра вала. Окружные скорости приводных валов регулируются изменением числа оборотов привода.

Жёсткие требования предъявляются к правильной геометрической форме валов: конусность и овальность не должны превосходить пределов заданных допусков.

Для уменьшения динамической нагрузки на опоры и динамического прогиба валы уравнивают. Статическое уравнивание применяют лишь для узких машин (шириной не более 2520 мм) и окружной скорости до $120 \div 150$ м/мин, при большей скорости валы уравнивают динамически.

12.1. Основные конструкции валов

Валы бумаго- и картоноделательных машин, конструктивные особенности которых в основном зависят от их назначения, подразделяют на следующие основные виды: трубчатые, литые (пустотелые и сплошные), трубчатые перфорированные, гранитные, сеточные и набивные.

На современных машинах валы, включая технологические валы, могут изготавливаться как из труб, в том числе и большого диаметра, так и с помощью центробежного литья.

Трубчатый вал представляет собой тонкостенную трубу на современных машинах, изготавливаемую в основном из стали, в том числе и нержавеющей. Для старых узких, низкоскоростных машин иногда рубашки валов изготавливают из чугуна. По концам рубашки обычно запрессовываются чугунные патроны, а в них – стальные цапфы. Вместо чугунных патронов также применяются стальные патроны, к которым привариваются стальные цапфы, что уменьшает вес и облегчает уравнивание валов. В зависимости от назначения и обрешной ширины машины диаметр трубчатых валов находится в пределах $100 \div 1600$ мм.

Литой пустотелый вал состоит из чугунной (реже стальной) отливки, в которую по концам запрессованы стальные цапфы. Диаметр валов такого типа – от 400 до 600 мм, а толщина стенки $30 \div 150$ мм. Литыми пустотелыми являются нижние, а иногда и верхние валы обычных прессов узких, низкоскоростных бумагоделательных и картоноделательных машин.

При работе машинных каландров в валах возникают значительные контактные напряжения, их рабочая часть должна иметь износостойкую поверхность (твердость не менее $70 \div 80$ единиц по Шору). Такие валы отливают из чугуна специального состава ($3,25 \div 3,75$ % С, $0,5 \div 0,6$ % Si, $0,6 \div 0,7$ % Mn, $0,1$ % B, $0,2 \div 0,3$ % P). По механическим свойствам такой чугун близок к чугуну СЧ 24-44. Для получения твердого износостойчивого слоя (толщиной после обработки не менее $18 \div 25$ мм) рабочую поверхность валов отливают в

металлическую форму (кокиль). Вследствие интенсивного охлаждения на поверхности рабочей части вала образуется слой отбеленного чугуна. Цапфы валов не отбеливают, чтобы не повысить их хрупкости. Твердый износостойчивый слой на стальных валах получают, производя поверхностную закалку (обычно токами высокой частоты).

На современных машинах большей частью используются валы, изготовленные из нержавеющей стали как из труб, так и с помощью центробежного литья. Патроны изготавливаются большей частью из стали и свариваются с цапфами. Патроны с цапфами подвергаются отжигу и только после этого обрабатываются на станках и запрессовываются в рубашки валов.

В современных машинных каландрах и суперкаландрах используются валы с подогревом, регулируемым прогибом (в том числе и «башмачного» типа), а также набивные валы (бумажные) или с эластичным покрытием.

Многие зарубежные фирмы в качестве материала для изготовления валов используют углепластик. Поскольку модуль упругости углепластика превышает почти в 1,5 раза модуль упругости стали, эти валы более жёсткие и более прочные и позволяют их использовать в современных широкоформатных и высокоскоростных машинах.

На современных машинах трубчатые перфорированные валы в основном изготавливаются из нержавеющей стали (бронзовые валы в основном применялись на старых машинах) диаметром $400 \div 1200$ мм и толщиной стенки $20 \div 90$ мм. Замена бронзовых валов на валы из нержавеющей стали связана с применением синтетических сеток в сеточной части и значительным увеличением их начального натяжения (до 12 кН/м), а также применением иглопробивных сукон в прессовой части, также работающих с большими натяжениями и более высокими линейными давлениями в зонах прессования. На поверхности рубашки гауч-вала имеется большое количество отверстий диаметром $4 \div 8$ мм с зенковкой до $10 \div 12$ мм. Перфорированные отсасывающие валы прессовой части часто облицовываются либо резиной, либо имеют покрытие из различных композиций полиуретана.

Отсасывающие гауч-валы и прессовые валы современных машин состоят из вращающейся перфорированной рубашки, внутри которой находится неподвижная отсасывающая камера с несколькими зонами отсоса, поджимаемая к её внутренней поверхности через уплотнения, выполненные из антифрикционного графитосодержащего материала. Рубашки старых отсасывающих валов изготавливались из бронзы, а для новых машин из нержавеющей стали толщиной $40 \div 80$ мм. Прессовые отсасывающие валы облицовываются резиной толщиной 25 мм и твёрдостью $15 \div 30$ ед. по ТШМ. Некоторые зарубежные фирмы облицовывают рубашки отсасывающих валов различными покрытиями. Перфорированные рубашки отсасывающих валов проверяются на прочность, а сами валы на жёсткость.

Гранитный вал представляет собой гранитный полый цилиндр, закрепленный на сквозном стальном сердечнике. Диаметр вала может достигать $400 \div 1400$ мм. На стальном сердечнике гранитный полый цилиндр можно закрепить при помощи шайб, надетых на сердечник и прижатых гайками к

торцевым поверхностям. Пространство между гранитной рубашкой и сердечником заливается раствором на основе портландцемента. Заливка получается высокопрочной. Гранитные валы используют в качестве верхних валов на обычных и отсасывающих прессах бумагоделательных и картоноделательных машин.

К гранитным заготовкам для изготовления рубашки предъявляются следующие требования:

- мелко- и среднезернистость структуры;
- допускается скопление крупных зерен в виде пятен диаметром до 1,5 см;
- среднее временное сопротивление сжатию в воздушно-сухом состоянии должно быть не менее 145 МПа;
- среднее временное сопротивление изгибу должно быть не менее 27,5 МПа.

При расчёте следует учитывать, что давление сжатия гранитной рубашки шайбами от действия крутящего момента не должно превышать 13 МПа. Наличие растягивающих напряжений в гранитной рубашке недопустимо. Поэтому в гранитной рубашке предварительно создаются сжимающие напряжения, в 1,3–1,5 раза превышающие напряжения от изгиба гранитной рубашки. Давление шайб на гранит не должно превышать допустимое.

Сеточные цилиндры используются в сеточных частях бумаго- и картоноделательных машин, имеющих два или более сеточных столов в качестве устройств для передачи и соединения влажных слоёв отформованного полотна. Сеточные цилиндры на старых машинах используются в ровнителях как для выравнивания влажности по ширине бумажного полотна, для усиления обезвоживания полотна, а цилиндры большого диаметра используются для нанесения водяных знаков на специальные виды бумаг.

Для ровнителя сеточный цилиндр безосного типа изготавливают в виде проволочного спирального каркаса (остова), на который надевают предварительно сшитую сетку. С торцов вала устанавливают два кольца, которыми вал опирается на опорные ролики, один из которых приводится во вращение. Диаметр сеточных цилиндров для выравнивания влажности и обезвоживания может достигать 1000 мм. Сеточные цилиндры для нанесения водяных знаков могут достигать диаметров свыше 4000 мм. Сеточные цилиндры для передачи полотна могут достигать диаметров свыше 1500 мм

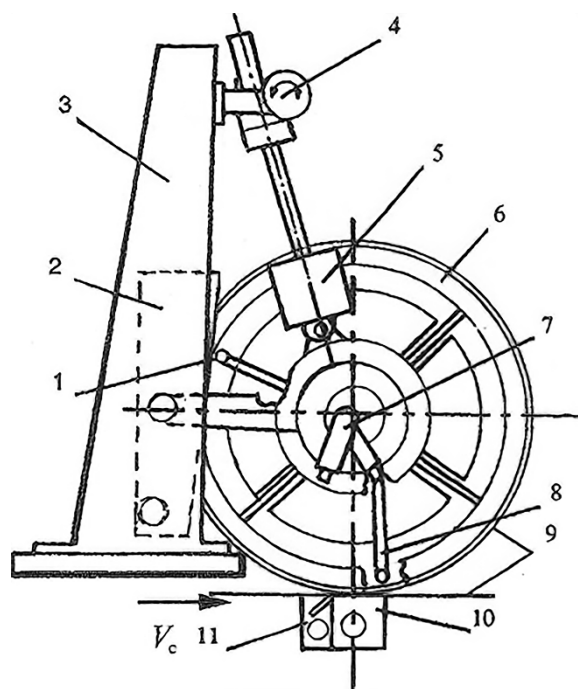


Рис. 108. Ровнитель:

1 – спрыск; 2 – лоток; 3 – стойка; 4, 5 – винтовой механизм; 6 – проволочный барабан; 7 – штуцер; 8 – паровой спрыск; 9 – сетка; 10, 11 – камеры отсасывающего ящика

Типы валов. В настоящее время широко распространены валы, у которых цилиндр скреплен с цапфами по концам (трубчатые, литые пустотелые, трубчатые перфорированные), или цапфы составляют одно целое с цилиндром (литые сплошные), или цилиндр закреплен на сердечнике по всей своей длине (гранитные и набивные валы). По прогибу и бомбировке такие валы можно объединить в один тип валов, которые назовём валами обычной конструкции.

Существует и другой тип валов (предложен еще в начале XX в.), цилиндр (чугунный или из иного материала) которых закреплен на сквозном стальном сердечнике только посередине, на участке длиной около нескольких сот миллиметров. Валы, закреплённые посередине, служат для выравнивания прогибов в середине вала и по концам. Такие валы, как правило, используются в широких машинах в качестве грудных валов и обычных прессовых валов. Их сердечник может быть сплошным или пустотелым с запрессованными по концам цапфами. Чтобы вода и волокнистая суспензия не попадали в зазор между цилиндром и сердечником, по концам цилиндра располагают высокоэластичные резиновые прокладки.

Существует еще один, третий тип валов, у которых на сквозном неподвижном сердечнике (оси) на подшипниках вращается цилиндр. Сердечник может быть пустотелым с запрессованными в него по концам цапфами. Подшипники устанавливают по концам цилиндра или по его середине. Третий тип валов назовем валами, вращающимися на оси.

Обычно валы, которые закрепляются посередине, можно изготовить вращающимися на оси.

12.2. Валы для транспортирования бумажного или картонного полотна и одежды машины

Применяемые в сеточной, прессовой и сушильной частях машины сукно-, сетко-, бумаговедущие (картоноведущие) и регистровые валы по их основному конструктивному признаку называют трубчатыми.

Трубчатые валы определяют качество транспортирования бумажного (картонного) полотна и одежды, в связи с чем к ним предъявляются следующие основные требования: оптимальное соотношение жесткости и массы, правильность геометрической формы, динамическая уравновешенность, удобство технического обслуживания в процессе эксплуатации.

Конструктивно трубчатый вал выполнен в виде тонкостенной стальной трубы, в которую по концам запрессованы литые чугунные патроны со стальными цапфами. Во внутренних полостях патронов устанавливаются балансировочные грузы. Наружная поверхность валов, установленных в мокрой части машины, соприкасающихся с мокрой одеждой и полотном, во избежание коррозии покрыта медью, хромом, эпоксидными составами, резиной. Привод бумаговедущих, сукноведущих валов осуществляется от сетки в сеточной части машины и прессовых сукон в прессовой части машины. Сетки, сукна приводятся в движение от приводных валов. В сеточной части – от гауч-вала и сеткоповоротного вала, в прессовой части – от прессовых валов, которые, как правило, все являются приводными (иногда не имеют привода гранитные валы, стонитовые валы). В опорах валов БДМ и КДМ устанавливают в основном роликовые радиальные сферические двухрядные подшипники на закрепительно-стяжных (буксовых) втулках. Корпуса подшипников выполняются в виде «бракеток» со съёмными крышками. Часто сами корпуса подшипников имеют сферическую форму и устанавливаются в особых креплениях (в рычагах). В последнем случае в опоре устанавливают дополнительный концевой подшипник; такие валы применяются в сеточной и прессовой частях, в механизмах натяжения и правки сукон (сеток) сушильной части.

Для смазки подшипников чаще используется консистентная смазка различных типов, в том числе и тугоплавкая. Подшипники сушильных цилиндров и «паразитные» зубчатые колёса оснащаются циркуляционной смазкой. На широких и быстроходных бумагоделательных и картоноделательных машинах зарубежных фирм иногда применяют жидкую смазку, подшипники скольжения с использованием циркуляционной смазки.

12.3. Валы каландров и суперкаландров для обработки бумажного и картонного полотна давлением

Основными узлами каландров и суперкаландров, где осуществляется обработка движущегося полотна давлением, являются валы. Эти валы должны удовлетворять требованиям надежности, долговечности, ремонтпригодности, обеспечивать равномерность линейного давления и возможность его изменения с сохранением равномерности по длине. Равномерность линейного давления между валами каландров оказывает большое влияние на равномерность по всей ширине бумажного или картонного полотна, плотность, равнотолщинность, гладкость и лоск.

Современное металлорежущее оборудование позволяет изготавливать валы широкоформатных машин с высокой степенью точности в соответствии с заданными допусками к геометрической форме и шероховатости обрабатываемой поверхности. Многолетняя практика показала, что каландровые валы, выполненные с высокой точностью и требуемой шероховатостью, обеспечивают высокое качество вырабатываемой продукции.

До недавнего времени основным путём компенсации прогиба валов с целью обеспечения равномерности линейного давления между ними было бомбирование верхнего и нижнего валов, прессов, машинных каландров и суперкаландров.

Профиль бомбированного вала выполняется в соответствии с уравнением изогнутой оси вала.

Как правило, в многовальных агрегатах для обработки бумажного или картонного полотна давлением – каландрах, суперкаландрах – бомбируются только верхние и нижние валы. В комбинированных прессах, имеющих три, четыре вала также бомбируются только верхние и нижние валы.

В связи с возрастающими требованиями к качеству продукции и увеличением ширины и скорости бумагоделательных и отделочных машин всё большее применение находят валы, имеющие устройства для регулирования и компенсации прогибов. Эти валы обычно выполняются составными из сердечника и рубашки с гидравлической или механической внутренней поддержкой. Конструктивно такие валы сложнее, чем цельные, но они позволяют во время работы машины менять линейное давление, сохраняя его равномерным по ширине.

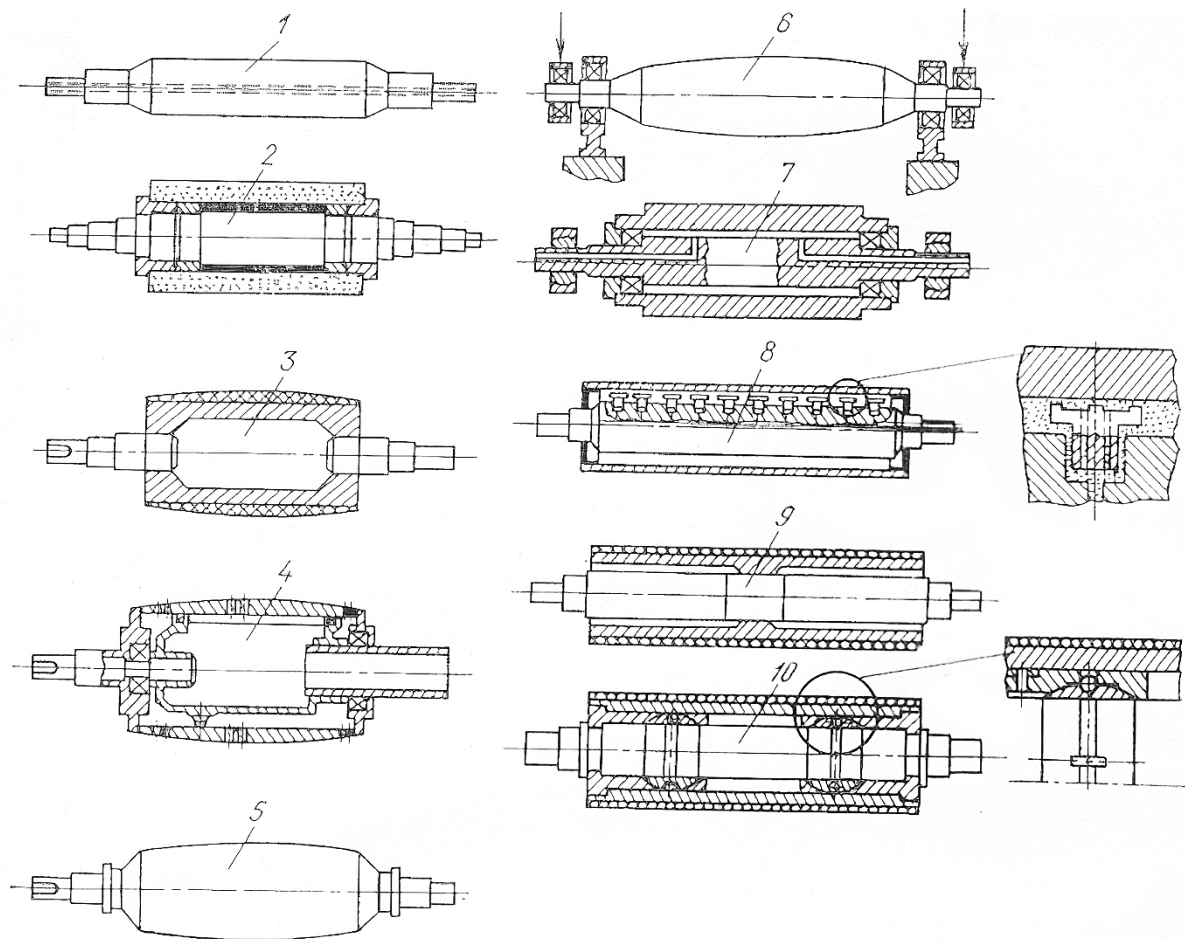


Рис. 109. Валы для обработки бумаги давлением:

1 – цельные литые каландровые (промежуточные); 2 – составные с гранитной рубашкой (верхние прессовые); 3 – чугунные литые с эластичным покрытием (нижние прессовые); 4 – составные с перфорированной рубашкой (нижние прессовые и гауч); 5 – цельные литые каландровые (нижние и верхние прижимные); 6 – цельные валы с концевым нагружением; 7 – валы с гидрподдержкой рубашки по всей длине образующей; 8 – валы с гидростатическими опорами; 9 – валы с закреплением рубашки посередине; 10 – валы с закреплением рубашки на шарнирных опорах

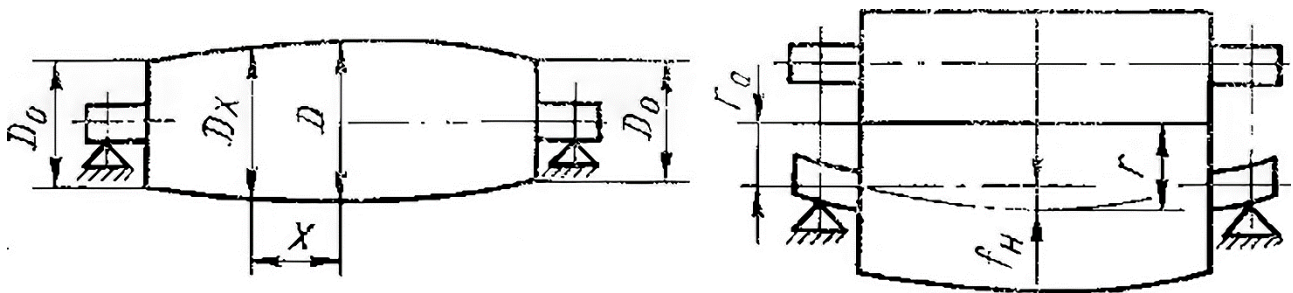


Рис. 110. Бомбированный вал и прогиб бомбированного вала

В основу классификации валов для обработки полотна давлением принято деление этих валов на две основные группы: валы обычной конструкции (валы 1–5 на рис. 109) и валы с устройствами для регулирования прогиба, т. е. валы с регулируемым прогибом (валы 6–10 на рис. 109). Валы этих двух групп существенно отличаются по выполнению основного требования – обеспечению равномерности линейного давления и по конструктивным признакам. Валы обычной конструкции могут быть выполнены цилиндрическими или бомбированными. Наличие или отсутствие бомбировки – существенный технологический и конструктивный признак вала.

Цилиндрические и бомбированные валы можно подразделить на четыре группы: литые чугунные каландровые; литые чугунные прессовые с покрытием (нижние прессовые); составные с перфорированной рубашкой отсасывающие прессовые (только в старых двухвальных прессах); составные с гранитной рубашкой верхние прессовые (только в старых двухвальных прессах).

Промышленное распространение валов с регулируемым прогибом (валы 6–10 на рис. 109) получили сплошные валы с концевым нагружением (валы очень старой конструкции); валы, рубашка которых расположена на гидropоддержке с подачей агента давления через неподвижный сердечник, и валы, рубашка которых опирается на сердечник через промежуточные механические опоры (эти конструкции используются только в старых низкоскоростных машинах).

Валы с гидравлической поддержкой рубашки (валы 7, 8 на рис. 109) могут иметь несколько модификаций. Распространение получили валы типа «Кюстерс» с подачей агента давления непосредственно между рубашкой и сердечником и валы фирмы «Эшер-Висс» с поддерживающими плавающими опорами (в настоящее время вместо таких валов большей частью используются валы «башмачного» типа).

Из класса валов с промежуточными механическими опорами рубашки (валы 9 и 10 на рис. 109) в эксплуатации находятся валы, закрепленные посередине.

12.4. Расправляющие валы

Образующиеся на сукне или на бумаге складки и морщины могут привести к раздавливанию и обрыву бумажного полотна, к повреждению сукна. Для их устранения применяют сукноразгонные и бумагоразгонные валики. Существуют различные конструкции таких валиков.

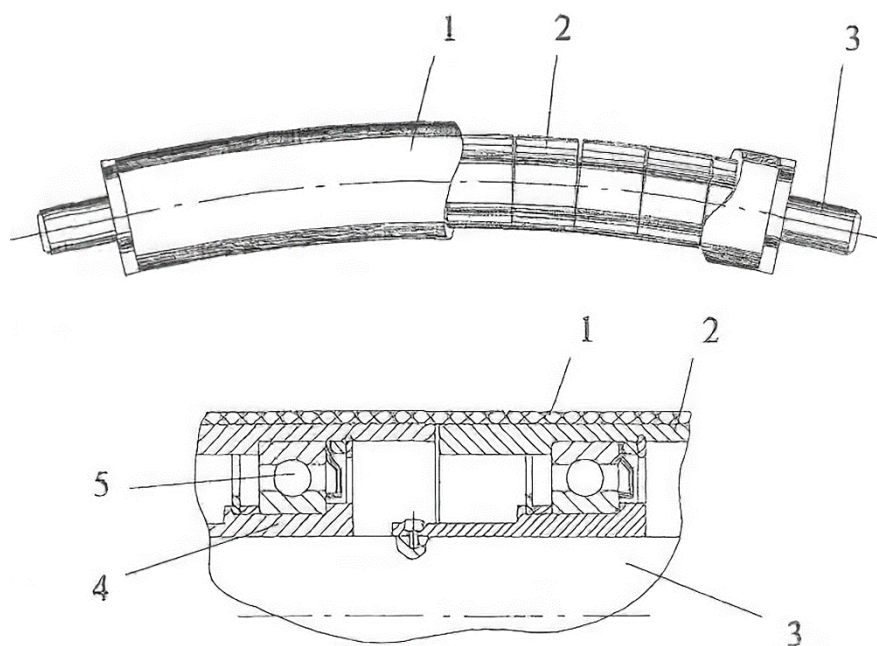


Рис. 111. Маунт-Хоуп:

1 – рубашка вала; 2 – опорная втулка; 3 – ось вала; 4 – втулка; 5 – подшипник

Широко применяются разгонные валики, на поверхности которых имеются выступы в виде спиралей. При этом на одной половине валика навивается левая спираль, а на другой – от середины к краям валика. Иногда спирали выполняют на резиновой облицовке при вулканизации. Недостаток спиральных валиков – износ сукна и обрывы бумаги или картона. Более совершенными являются валики с гибкой осью, известные как валики Маунт-Хоуп. Валик этого типа состоит из невращающейся изогнутой оси, на которой по всей её длине установлены самоустанавливающиеся подшипники, которые поддерживают вращающуюся рубашку, выполненную из эластичного материала, например, из резины. Во время работы поворотом неподвижной оси можно изменять степень расправления сукна. Максимальный эффект достигается в том случае, когда плоскость изгиба оси перпендикулярна направлению движения сукна. Наоборот, при совпадении плоскости изгиба оси с направлением движения сукна расправления сукна не происходит.

12.5. Обрезиненный вал

Увеличить продолжительность прессования можно, применяя обрезиненные валы. Резина не является идеально упругим материалом. Поэтому при многократном деформировании резинового покрытия в нем накапливается энергия деформирования, что приводит к разогреву покрытия. На скоростных машинах при высоких нагрузках температура покрытия достигает 100–120 °С. Для создания постоянных условий прессования и ограничения нагрева

желательно использовать облицовки большей твердости (обычно $5 \div 10$ Пуссей-Джонса) и меньшей толщины. При использовании валов большего диаметра в двухвальном отдельно стоящем прессе, необходимо тщательно подбирать бомбировку валов и обеспечивать циркуляцию холодной воды для охлаждения рубашки и её отвод. Внутреннее охлаждение более эффективно, так как резина обладает низким коэффициентом теплопроводности и препятствует охлаждению рубашки вала. Устройства охлаждения должны обеспечивать температуру облицовки в пределах $60 \div 70^\circ$.

12.6. Двухвальные прессы с отсасывающим валом

В качестве первых прессов на большинстве бумаго- и картоноделательных машин применяют отсасывающие прессы. Отсасывающий пресс состоит из отсасывающего вала (обычно занимающего нижнюю позицию) и парного с ним гранитного или чугунного вала. Отсасывающие валы бывают одно-, двух- и трёхкамерные. Рассмотрим отсасывающий вал, используемый в прессовой части картоноделательной машины для выработки двухслойного картона (рис. 112).

Вал состоит из перфорированной металлической обрешиненной рубашки (цилиндра) 4, внутри которой установлена неподвижная отсасывающая камера 10, разделённая на две или три зоны разрежения. Камера имеет поперечные 3 и продольные 11 уплотнения, прижимаемые к внутренней стенке рубашки при помощи тонкостенных резиновых трубок, в которые подаётся сжатый воздух. Для качественного уплотнения камеры и уменьшения износа рубашки внутри вала устанавливается водяной спрыск 13. Отсасывающая камера внутри вала может проворачиваться на некоторый угол при помощи червячной передачи 7. Для возможности выкатывания камеры она снабжена роликом 12. В отсасывающих камерах при помощи вакуумной системы (вакуумная система может быть оснащена водокольцевыми компрессорами или центробежными) при работе прессы создается разрежение. У валов с одной зоной разрежения камера устанавливается под зоной прессования и смещается навстречу движения бумажного полотна (рис. 113). Для снижения потерь разрежения, затрат энергии камера должна быть полностью закрыта бумажным или картонным полотном. Вакуум в зонах разрежения поддерживается на уровне $40 \div 80$ кПа. Ширина зоны разрежения составляет $100 \div 150$ мм, диаметр отверстий в резиновом покрытии $3,7 \div 4,5$ мм, в металлической рубашке от 4 до 5 мм. Живое сечение перфорированной поверхности вала $16 \div 20$ %. Для снижения шума и уменьшения износа внутренней поверхности рубашки и уплотнений камеры отверстия на рубашке располагают по спирали.

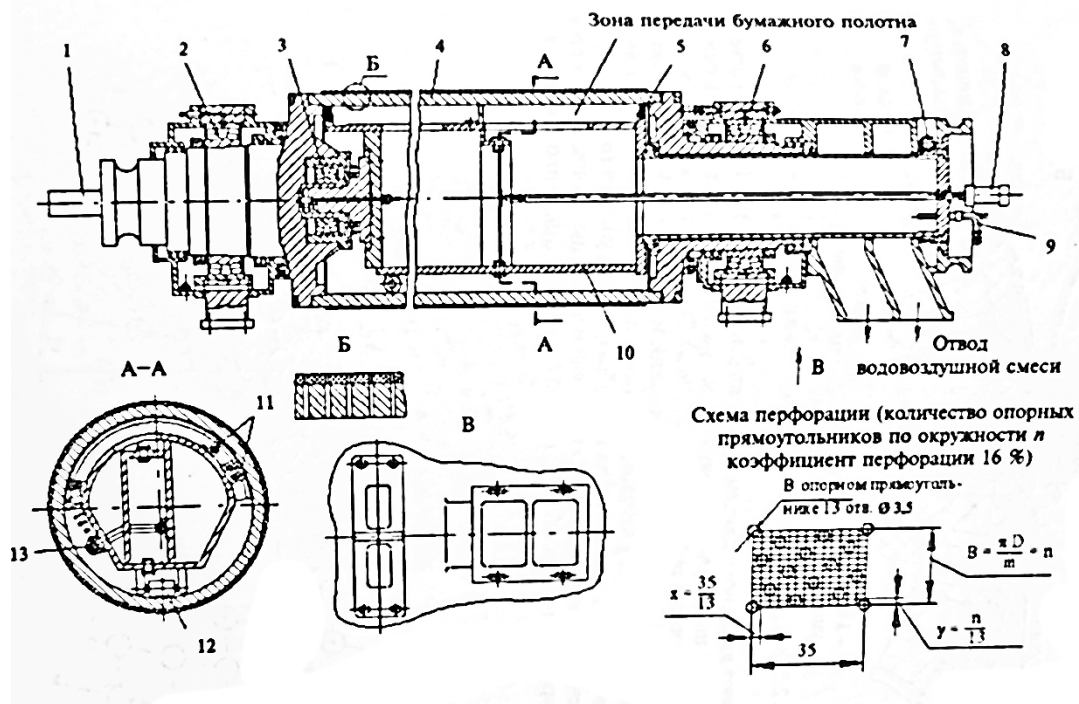


Рис. 112. Отсасывающий вал:

1 – приводная цапфа; 2, 6 – подшипники вала; 3 – подшипник камеры; 4 – рубашка (цилиндр вала); 5 – поперечное уплотнение; 7 – червячная передача поворота камеры; 8 – пневмоцилиндр заправочной зоны; 9 – труба для sprыска; 10 – камера; 11 – продольное уплотнение; 12 – ролик выката камеры; 13 – sprыск

Рубашки отсасывающих валов изготавливают из высокопрочной нержавеющей стали. Вал облицовывают слоем резины толщиной 25 мм.

В двухвальных прессах старых бумаго- и картоноделательных машин различают открытые и закрытые отсасывающие прессы.

В открытом прессе часть отсасывающей камеры после зоны прессования открыта. Это облегчает отделение бумажного полотна от поверхности верхнего вала, что позволяет использовать более мягкие покрытия, отпадает необходимость в установке на верхнем валу шабера. Такие прессы применяют при выработке легко обезвоживаемого бумажного полотна.

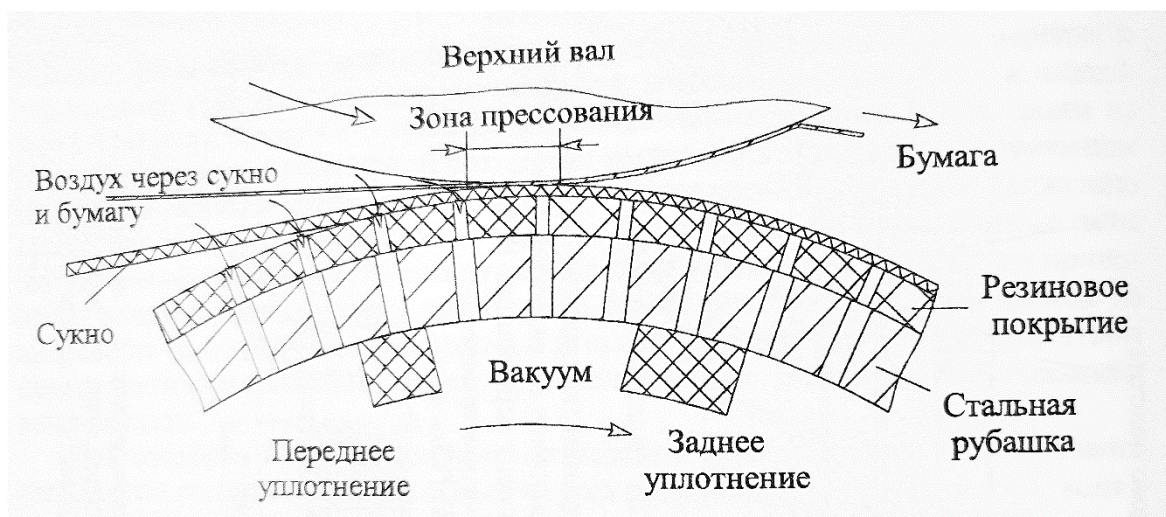


Рис. 113. Прессование бумажного полотна в отсасывающем прессе

В закрытых прессах камеру располагают так, чтобы ее задняя стенка находилась внутри зоны прессования. Закрытые прессы применяют, например, при выработке бумаги, в композицию которой входит древесная масса. В таких прессах применяют валы с более твердым покрытием, в них необходимо устанавливать шабер на верхнем валу.

Применение отсасывающего вала исключает образование воздушных пузырей между сукном и полотном перед их входом в зону прессования, что предотвращает раздавливание бумажного полотна. В результате снижается опасность обрывов. Наличие отверстий в рубашке и облицовке отсасывающего вала значительно сокращает путь движения воды в сукне в латеральных направлениях. В результате снижается давление воды в порах сукна, что облегчает удаление её из бумажного полотна в зоне прессования.

Недостатки отсасывающих валов — сложность конструкции и эксплуатации; высокая стоимость; малая долговечность; низкая прочность, ограничивающая диапазон рабочих давлений; высокая энергоёмкость. Кроме того, внешнее давление, действующее на бумажное или картонное полотно в местах расположения отверстий, оказывается значительно ниже давления, действующего на полотно, располагающееся над остальной поверхностью вала. Это приводит к неравномерной влажности бумажного или картонного полотна после выхода из прессы, т. е. к так называемой теневой маркировке.

В процессе работы отверстия отсасывающего вала забиваются мелким волокном и частицами наполнителя, что уменьшает площадь живого сечения поверхности вала. Для поддержания отверстий в чистоте применяются спрыски высокого давления. Однако при этом необходимо соблюдать осторожность, чтобы не повредить покрытие вала. Обычно на отсасывающем валу устанавливают два шабера. Первый удаляет часть поверхностного слоя воды. При этом на обратной стороне лезвия образуется вакуум, который способствует извлечению загрязняющих отверстия частиц. Такие частицы вместе с оставшимся поверхностным слоем воды удаляет второй, страхующий шабер.

Таблица 5 – Перфорация отсасывающих прессовых валов

Диаметр вала, мм		Количество прямоугольников по окружности m	Ширина прямоугольника по металлу, мм	Живое сечение, %	
по резине	по металлу			по резине	по металлу
650	600	30	62,20	14,40	19,2
660	610	30	63,60	14,25	18,9
700	650	30	68,00	13,40	17,7
700	650	32	64,70	14,30	18,6
710	660	30	69,00	13,20	17,5
710	660	34	61,00	15,00	19,8
750	700	32	68,60	13,40	17,6
750	700	36	61,00	15,00	19,8
760	710	32	69,70	13,17	17,3
760	710	36	62,00	14,85	19,5
800	750	34	69,20	13,30	17,4
800	750	36	65,50	14,05	18,4
810	760	34	70,20	13,10	17,2
810	760	40	60,50	15,50	17,2
850	800	36	69,80	13,25	17,3
850	800	40	62,20	14,70	19,1
870	820	36	71,50	12,95	16,9
870	820	42	61,30	15,10	19,7
915 (910)	865	40	67,80	13,70	17,8
915 (910)	865	44	61,70	15,10	19,5
925	875	40	68,70	13,50	17,5
925	875	44	62,50	14,90	19,3
950	900	40	70,65	13,20	17,1
950	900	44	64,20	14,50	18,8
965	915	42	68,40	13,60	17,7
1050	1000	48	65,40	14,30	18,4
1050	1000	52	60,40	15,50	20,0
1120	1070	48	70,00	13,40	17,2
1120	1070	54	62,20	15,10	19,4
1135	1085	48	71,00	13,20	17,0
1135	1085	54	63,00	14,90	19,2
1150	1100	50	69,00	13,60	17,5
1150	1100	56	61,50	15,20	19,6
1170	1120	50	70,30	13,40	17,2
1170	1120	56	62,60	15,00	19,3
1200	1150	52	69,40	13,50	17,4
1200	1150	58	62,10	15,10	19,4
1220	1170	54	68,00	13,90	17,7
1220	1170	60	61,20	15,40	19,7

12.7. Желобчатые валы

Это наиболее часто встречающийся на современных машинах тип пресса. Пресс состоит из верхнего гранитного или ему подобного вала и нижнего обрешиненного или металлического вала, на поверхности которого нарезаны желобки. При насыщении в зоне прессования сукна водой последняя из него вытесняется в желобки, тем самым в сукне предотвращается продольный поток воды и обеспечивается режим прессования с поперечной фильтрацией воды. Поскольку вода, вытесняемая из участков сукна, располагающихся между желобками, течёт в поперечном направлении, то желобки желательно располагать как можно ближе друг к другу. При этом ширина желобков должна исключать вдавливание сукна в них и предотвращать теньевую маркировку. С точки зрения производства и очистки желобчатых валов оптимальная ширина канавок составляет 0,5 мм. Нарезание более узких желобков с меньшим шагом в резиновой облицовке затруднительно. Кроме того, узкие желобки легче забиваются и могут захлопываться в зоне контакта. На сушильных машинах ширина и шаг желобков могут быть увеличены в связи с необходимостью удаления большего количества воды из целлюлозной папки и меньшей опасностью маркировки. При этом ширина канавок составляет 1 мм, шаг – 5 мм.

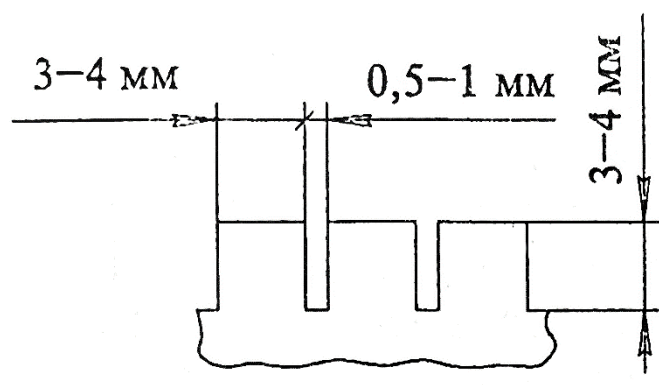


Рис. 114. Профиль канавок желобчатого вала

Желобчатыми валами часто заменяют отсасывающие валы. Иногда желобки наносят на покрытие отсасывающего вала, что способствует более легкому удалению воды из сукна, снижает опасность раздавливания бумажного полотна и уменьшает теньевую маркировку даже при увеличении давления прессования. При этом сухость бумажного полотна увеличивается примерно на 1 %.

На работу желобчатого пресса большое влияние оказывает твёрдость облицовки желобчатого вала. Нагрев резиновых покрытий на скоростных машинах и невозможность перешлифовки валов более двух раз (после чего требуется повторное нарезание желобков) привели к использованию

желобчатых валов без резиновой облицовки. На таких валах желобки или нарезают непосредственно на стальной рубашке вала, или получают в результате наматывания на вал профилированной стальной ленты. В последнем случае в процессе намотки под сильным натяжением витки ленты, сцепляясь, плотно прилегают друг к другу, образуя желобки. Наличие фасок на краях желобков позволяет уменьшить износ сукна. Однако при использовании таких валов при прочих равных условиях и максимальном давлении предъявляются более жёсткие требования к бомбиривке, снижается срок службы прессовых сукон. Обычно стальные желобчатые валы используют в последних позициях прессовой части, где бумажное полотно обладает высокой сухостью, что предотвращает его раздавливание при высоких давлениях.

Обрезиненные желобчатые валы часто используют при модернизации обычных прямых прессов на тихоходных бумагоделательных машинах (до 250 м/мин). Замена гладкого вала обычного пресса желобчатым, как правило, позволяет повысить сухость бумажного полотна после пресса на 2–4 %. На картоноделательных машинах желобчатые прессы применяют в качестве как предварительных, так и основных прессов. На некоторых машинах в предварительных прессах используют желобчатые валы, снабжённые кольцевыми и продольными (вдоль образующей вала) желобками.

Для эффективной работы желобчатого вала важно обеспечить нормальную заправку прессового сукна и бумажного полотна в зону прессования. На выходе из пресса для уменьшения обратного впитывания желателно направлять сукно перпендикулярно линии центров прессовых валов или ниже перпендикуляра.

Основные преимущества желобчатых прессов по сравнению с отсасывающими:

- низкая стоимость изготовления и эксплуатации;
- более высокая сухость бумажного полотна после пресса;
- работа при более высоких давлениях без опасности раздавливания и теневой маркировки бумажного полотна;
- использование желобков на валах с регулируемым прогибом, что обеспечивает более равномерный профиль влажности по ширине машины;
- меньшая энергоёмкость из-за отсутствия вакуум-насосов.

12.8. Вал с глухосверлёнными отверстиями

Величина вакуума в камере отсасывающего вала только при низких скоростях машины оказывает влияние на сухость бумажного полотна после пресса. При более высоких скоростях вода почти не попадает в камеру. Поэтому логичным развитием отсасывающих валов явились глухосверлённые валы, или, как их еще называют, валы с глухими отверстиями. Ранее такие валы использовались как прижимные валы к лоцильным цилиндрам самосъёмных бумагоделательных машин.

Вал с глухими отверстиями представляет собой стальную рубашку, покрытую резиновой или полиуретановой облицовкой с рассверленными в ней глухими отверстиями. Диаметр отверстий варьируется от 2,3 до 4,0 мм. Глубина отверстий 10–13 мм. Общая площадь сечений отверстий может достигать 30 % по сравнению с 17 % площади живого сечения желобчатого вала. Это происходит из-за того, что при одинаковых условиях работы опасность схлопывания глухих отверстий ниже опасности перекрытия желобков. При этом объём глухих отверстий, доступный для выжимаемой из сукна воды, значительно больше объёма канавок желобчатого вала. Твёрдость покрытий валов с глухими отверстиями колеблется в широких пределах в зависимости от назначения вала. Для валов, работающих в последних прессах, при выработке легко обезвоживаемых видов бумаги – это 7–10 единиц ПДж. При выработке трудно обезвоживаемых видов бумаги, когда определяющим фактором является продолжительность прессования, твёрдость покрытий может быть повышена до 40–42 единиц ПДж без опасности захлопывания отверстий. Большая глубина отверстий по сравнению с глубиной канавок желобчатого вала позволяет перешлифовывать эти валы большее число раз, нежели желобчатые валы. Применение более мягких покрытий уменьшает среднее давление в зоне прессования. В отличие от кромок канавок желобчатого вала это также обеспечивает меньшее истирающее действие кромок отверстий, что позволяет значительно увеличить срок службы прессовых сукон в прессах с глухосверлёнными валами (по сравнению с желобчатыми прессами в среднем на 30 %, а иногда и в два раза). Широкая зона прессования позволяет значительно усилить линейное давление в прессах такого типа (до 300–350 кН/м и более). В большинстве случаев отверстия способны самоочищаться. Это обусловлено большим диаметром отверстий по сравнению с шириной желобков, деформацией отверстий вследствие более мягкой облицовки, действием центробежной силы и давления сжатого в зоне прессования воздуха в отверстиях вала. Благодаря самоочищению отверстий улучшается профиль влажности полотна по ширине машины по сравнению с отсасывающими и желобчатыми прессами. Вал с более мягкой облицовкой менее чувствителен к неточностям бомбировки, что также положительно влияет на равномерность профиля влажности в поперечном направлении. При выходе из зоны прессования сукно может впитывать воду из отверстий вала. Поэтому желательно, чтобы выходящее из зоны сукно охватывало не нижний, а верхний вал пресса. При этом чаще всего возникает необходимость в отдельном приводе верхнего вала.

12.9. Покрытия прессовых валов

К облицовке прессовых валов предъявляются следующие требования:

- упругость и выносливость;
- минимальное накопление тепла;
- термостабильность;
- сопротивление абразивному износу;
- сопротивление воздействию минеральных масел и растворителей;
- обеспечение лёгкого удаления бумаги с поверхности облицовки.

Для облицовки прессовых валов применяют резины из натурального и синтетического каучука, а также различные полимерные материалы. Выбор покрытия для различных валов определяется их назначением, а в некоторых случаях и композицией волокнистой суспензии. Так, например, в древесной массе содержится большое количество смолы, которая отрицательно влияет на мягкое покрытие, придавая ему липкость. Поэтому твёрдость валов прессов БДМ, вырабатывающей бумагу из композиции с повышенным содержанием древесной массы, должна быть более высокой. От правильного выбора покрытия зависят такие параметры, как ширина зоны прессования, распределение давления по ширине зоны прессования, долговечность сукна и т. д.

В качестве основного показателя резиновых и резиноподобных покрытий используется твёрдость. Для оценки твёрдости резиновых покрытий обычно применяют прибор Пуссей-Джонса. Твёрдость измеряют в пунктах. Глубина вдавливания в облицовку стального шарика диаметром 0,125 дюйма (3,2 мм) под действием усилия 9,8 Н в течение 1 мин., равная 0,01 мм, соответствует 1 пункту твёрдости по Пуссей-Джонсу. Измерения твёрдости необходимо проводить при температуре 21 ± 3 °С, так как с повышением температуры резина становится мягче. В отечественной промышленности для измерения твёрдости применяют прибор ТШМ, в котором в покрытие вдавливается шарик диаметром 5 мм. Показатель твёрдости по Пуссей-Джонсу (ПДж) примерно в 1,25 раза больше показателя по прибору ТШМ. В последнее время для оценки твёрдости облицовки используют также метод Шора, по которому в покрытие вдавливается индентор в форме усечённого конуса. Твёрдость оценивается по шкале 0–100. Материал с твёрдостью 100 настолько твёрд, что индентор в него почти не проникает.

Резина не абсолютно упругий материал. Поэтому в процессе циклического деформирования происходит тепловыделение и нагрев резинового покрытия. При нагреве твёрдость резины уменьшается, что приводит к увеличению ширины зоны прессования и уменьшению среднего давления в зоне.

Установлено, что с увеличением толщины покрытия повышается тепловыделение. Например, при диаметре вала 300 мм, твёрдости покрытия 30 пунктов по ПДж, линейном давлении 80 кН/м и скорости 500 м/мин получены следующие результаты. При толщине облицовки $10 \div 20$ мм температура за первые 10 мин. работы повысилась до 60 °С и в дальнейшем почти не

изменялась; при толщине 25 мм температура за первые 15 мин. достигла 90 °С, а затем понизилась до 70 °С; при толщине 30 мм температура за первые 25 мин. повысилась до 145 °С. Поэтому на скоростных машинах применяют валы с толщиной резинового покрытия не более 20 ÷ 25 мм.

На температуру покрытия влияет также диаметр вала. При меньшем диаметре вала при прочих равных условиях покрытие испытывает большее число нагружений в единицу времени, и кроме того, в нём возникают большие напряжения. Поэтому температура покрытия вала меньшего диаметра при прочих равных условиях будет выше. Ширина зоны прессования, а, следовательно, и продолжительность прессования повышаются с увеличением линейного давления и со снижением твёрдости покрытия. При этом увеличивается и деформация покрытия, что приводит к более интенсивному тепловыделению. Повышение температуры покрытия обуславливает снижение его твёрдости, а значит, дальнейшее увеличение температуры и деформаций. В результате покрытие может разрушиться. При правильном выборе материала и толщины покрытия в течение первых 1 ÷ 4 ч работы происходит стабилизация температуры покрытия и его твёрдости. Для большинства материалов нормальная рабочая температура не должна превышать 70 °С. При температуре 70 ÷ 90 °С возрастает опасность отслаивания облицовки от рубашки вала, а при температуре 110 ÷ 150 °С отслаивание резины происходит очень быстро. Покрытие отсасывающего вала нагревается меньше, чем аналогичные покрытия гладкого, желобчатого или глухо-сверлённого валов, так как водовоздушная смесь, поступающая в отверстия или в желобки, охлаждает покрытие.

В настоящее время широко применяют покрытия из полиуретана. По сравнению с резиновыми полиуретановые покрытия имеют более высокие прочность и сопротивление абразивному износу, меньший коэффициент трения скольжения. Полиуретаны устойчивы к действию слабых кислот и щелочей, минеральных и растительных масел, смазок, керосина, бензина и т.д. Один из способов получения полиуретанового покрытия состоит в нанесении на рубашку армированного слоя специальной синтетической смолы, которая при затвердевании сжимается и прочно соединяется с рубашкой. После обработки нанесённого слоя на него наносят полиуретановый слой, и оба слоя образуют прочное соединение друг с другом. Такое покрытие обладает хорошим сцеплением с металлом и практически исключает коррозию металлической рубашки вала.

Физико-механические свойства полиуретанов зависят от твёрдости. Высокая износостойкость полиуретановых покрытий обеспечивает равномерность бомбиривки, исключает необходимость частой перешлифовки. В отличие от резиновых покрытий изменение ширины зоны прессования при повышении температуры у полиуретановых покрытий незначительно. Благодаря высокой упругости полиуретанов уменьшается опасность повреждения покрытия при случайном попадании инородных тел в зазор. При использовании валов с полиуретановыми покрытиями снижаются вибрации прессовых валов, что уменьшает повреждение поверхности покрытия, износ подшипников и повреждение прессовых сукон.

Наибольшее распространение полиуретановые покрытия получили в отсасывающих, желобчатых и глухосверлённых прессовых валах. При применении полиуретана при производстве желобчатых валов уменьшается деформация желобков, увеличивается их количество и, следовательно, повышается обезвоживание и уменьшается маркировка, а при изготовлении отсасывающих валов и валов с глухими отверстиями появляется возможность выполнить желобки в облицовке, уменьшить маркировку, увеличить обезвоживание, повысить предельную линейную нагрузку в захвате. При низкой адгезии бумаги к полиуретану снижается забивание отверстий и желобков валов. Благодаря полиуретановому покрытию гладких прессовых валов стало возможным уменьшить прилипание бумаги и её загрязнение, увеличить однородность линейной нагрузки в захвате. Недостатком полиуретана является способность поглощать воду. В результате после определённого срока эксплуатации покрытие содержит такое количество воды, при котором при прохождении через прессовый захват давление воды в покрытии резко возрастает, что приводит к высоким напряжениям между рубашкой вала и покрытием, а следовательно, к отслаиванию покрытия от рубашки вала.

Таблица 6 – Физические свойства полиуретанов

Характеристика покрытия	Твёрдость по Пуссей-Джонсу, пункты		
	20–26	12–16	5–8
Напряжение при удлинении образца на 100 %, МПа	7	13	25
Предел прочности при разрыве, МПа	32	40	45
Удлинение при разрыве, %	420	400	300
Работа деформации растяжения, %	60	50	48
Остаточная деформация при сжатии, %	20	25	28
Степень истирания по Акрону, %	0,23	0,18	0,10
Модуль Юнга, МПа	33–35	80–90	280–320

Как отмечалось ранее, обремененные валы требуется периодически перешлифовывать. Обычно перешлифовку проводят через шесть-девять месяцев работы, а при тяжёлых режимах работы (отсасывающие валы, прижимные валы янки-цилиндров) – через два-четыре месяца. При перешлифовке необходимо удалить повреждённый слой. Если вал долгое время находится на хранении, то перед установкой на машину его необходимо подвергнуть чистовому шлифованию, так как поверхность резины при длительном хранении стареет и на ней образуются мелкие трещины. Если этот слой не удалить, произойдёт быстрое превращение мелких трещин в крупные повреждения, для удаления которых потребуется сошлифовывать более глубокий слой облицовки, сокращая тем самым срок службы вала.

После ряда крупных аварий с гранитными валами, используемыми в прессах с подогревом бумажного полотна начались интенсивные поиски

материалов, близких по своим свойствам к граниту, но способных работать в условиях повышенных температур. Одним из таких материалов является Top Rock, представляющий собой твёрдую синтетическую смолу со специальными наполнителями. Покрытия из этого материала имеют твёрдость $0 \div 1$ ПДж, обладают однородной поверхностью, характеризуются низкой адгезией к бумажному полотну, способны работать при температурах до $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при высоких линейных давлениях (до 350 кН/м), отличаются высокой износостойкостью и химической стойкостью. В ряде случаев прилипание бумаги к покрытию Top Rock оказывается меньшим, чем к поверхности гранитного вала. Это обусловлено, во-первых, сочетанием гидрофильных и гидрофобных участков поверхности покрытия, а во-вторых, поверхностной пористостью покрытия. Другое известное покрытие – Unirock. Оно представляет собой материал на основе полиуретана с наполнителями в виде шпата и кварца. В последние годы хорошо зарекомендовали себя покрытия под маркой Cera, разработанные фирмой «Scara Kern». Покрытия семейства Cera наносятся плазменным напылением. При этом напыляемые частицы керамического или металлического порошка (проволоки) расплавляются и наносятся на поверхность вращающегося вала. Частицы, разогретые до температуры $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$, очень быстро затвердевают на поверхности вала, так что сам вал нагревается лишь до температуры не более $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Низкую адгезию бумажного полотна к поверхности вала, а также стабильную работу шабера, очищающего поверхность вала, благодаря наличию полярных групп обеспечивает покрытие Cera Lease на основе оксидной керамики. Это покрытие обладает более высокой поверхностной энергией, чем гранит. В результате обеспечивается быстрое и равномерное смачивание поверхности вала, и отделить бумажное полотно становится легко. По сравнению с покрытием Cera Lease покрытие Cera Lease S отличается наличием дополнительного антиадгезионного материала на основе фторсодержащего полимера, заполняющего микронеровности поверхности вала. Этот материал наносят после шлифования покрытия и перед его окончательной обработкой. Результатом является уменьшение шероховатости поверхности вала, удлинение периодов между перешлифовками покрытия, улучшение процесса отделения бумажного полотна. Эти покрытия применяют для центральных прессовых валов многовальных прессов, а также для валов обычных двухвальных прессов. Твёрдометаллические износостойкие покрытия CeraVac и CeraVent рекомендуется применять для любых типов, отсасывающих и желобчатых прессовых валов, эксплуатируемых без резинового или полиуретанового покрытия.

12.10. Бомбирование валов и определение величины бомбировки

Равномерность линейного давления между соприкасающимися валами оказывает значительное влияние на качество бумаги, обеспечивая равномерное обезвоживание по ширине бумажного полотна на прессах бумагоделательных машин, а также равномерное уплотнение и лоск на каландрах и суперкаландрах.

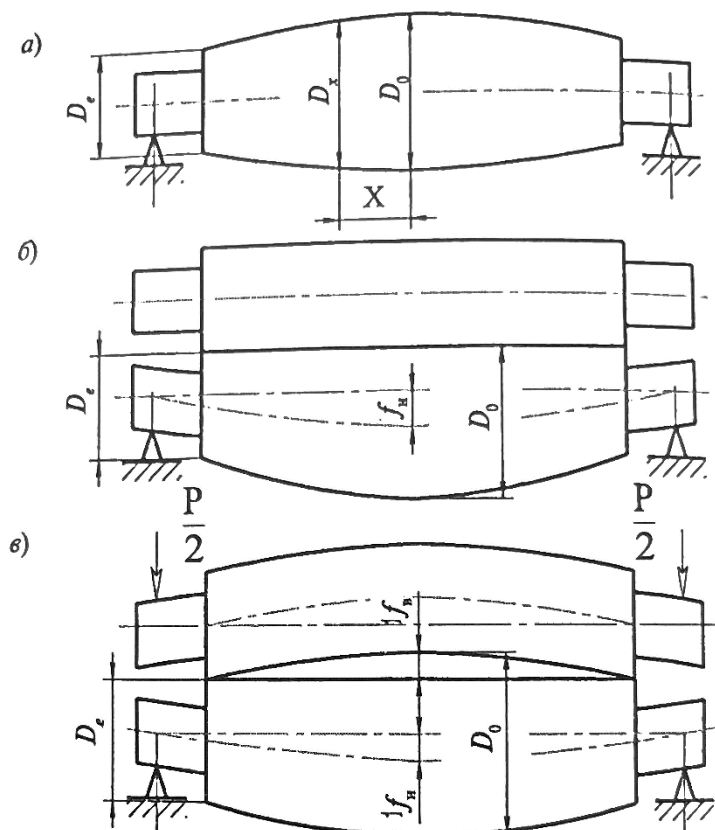


Рис. 115. Бомбировка валов:
а – одиночного; б – нижнего; в – обоих

Из-за прогиба, даже под действием собственного веса, валы становятся вогнутыми в верхней части, и выпуклыми в нижней. В связи с этим для равномерности давления между валами им необходимо придать не цилиндрическую, а несколько выпуклую форму, а иногда и вогнутую форму. Такие валы называются бомбированными. Для уменьшения скорости скольжения между валами прессов вызванной разностью диаметров поперечных сечений по длине, и износа сукон рекомендуется бомбировать верхние и нижние валы прессы. В этом случае размеры бомбировок нижнего и верхнего валов k_n , k_b следует распределять пропорционально их диаметрам D_n , D_b . Величина

бомбировки нижнего вала двухвального прессы с вертикальным расположением валов равна удвоенному прогибу нижнего и верхнего валов:

$$k = (f_H + f_B).$$

Размеры бомбировок при распределении между валами:

для нижнего вала:

$$K_H = kD_H / (D_H + D_B);$$

для верхнего вала:

$$K_B = kD_B / (D_H + D_B).$$

Прогиб рабочей части нижнего вала:

$$f_{max} = \frac{q_G l^2}{384EI_B} (l^2 - 12lb_B + 6b_B^2).$$

Аналогично вычисляется прогиб верхнего вала.

Бомбировка валов определяет равномерность сухости полотна бумаги по ширине. При неправильной бомбировке усложняется сушка бумаги. Так как сухость полотна может изменяться на 2–3 %, усиливается износ сукон и резиновой облицовки вала. Каждому давлению соответствует своя величина бомбировки. Эту величину на практике рассчитать трудно, и обычно на практике эту величину подбирают эмпирическим путём.

Применение валов с регулируемым прогибом в процессе эксплуатации даёт возможность менять профиль вала во время работы.

На работающих машинах можно встретить так называемые плавающие валы с регулируемым прогибом фирмы «Кюстерс». Это название вал получил потому, что рубашка вала во время работы опирается в основном на слой масла, в котором она как бы плавает. Толщина слоя масла равна зазору между вращающейся рубашкой и неподвижным сердечником. В ненагруженном состоянии зазор равен 6,5 мм для валов всех размеров. Идеальным распределением давления является такое, когда валы не имеют прогибов. Это достигается лишь при устранении обратного прогиба верхнего вала вылегчиванием его цапф, а, следовательно, уменьшением давления прессования. Поэтому такой вариант не всегда возможен.

Наибольшее распространение на современных машинах получили башмачные валы различных фирм, таких как «Voith», «Metso», «Кюстерс».

12.11. Уравновешивание валов (балансировка)

Статическое уравновешивание валов

Для статического уравновешивания тела с неуравновешенной массой m_n , центр тяжести которой смещён на расстояние r_n вращения, обычно добавляют массу m_y , расположив её на расстоянии r_y от оси вращения в направлении противоположном местоположению массы m_n . При этом соблюдается условие:

$$m_n \cdot r_n = m_y \cdot r_y,$$

или

$$G_n \cdot r_n = G_y \cdot r_y.$$

При полном статическом уравновешивании неуравновешенный момент M_n меньше, а в пределе равен моменту трения $M_{тр}$ на опорах, где производится уравновешивание:

$$M_n = G_n \cdot r_n \leq M_{тр}.$$

Обычно статическое уравновешивание производится на призмах, роликах и подшипниках. Минимальный неуравновешенный момент, который может быть обнаружен при статическом уравновешивании, зависит от момента трения на призмах или подшипниках.

При уравновешивании на призмах тела весом G_0 неуравновешенный момент:

$$M_n = G_0 \cdot e \geq M_{тр} = G_0 \cdot k,$$

или

$$e \geq k.$$

Для закалённых призм и цапф $k = 0,001 \div 0,005$ см.
При подшипниковых опорах:

$$M_{тр} = G_0 \cdot f \cdot \frac{d}{2},$$

где f – коэффициент трения в подшипниках;
 d – диаметр цапфы.

$$e \geq f \cdot \frac{d}{2}.$$

Для подшипников качения $f = 0,001 \div 0,004$.

Динамическое уравнивание валов

Поскольку длина валов значительно превышает их диаметр, то возникает вопрос в динамическом уравнивании. При вращении неуравновешенный вал вибрирует относительно подшипника В, закреплённого шарнирно. Наибольшая величина колебаний у подшипника А, установленного на пружинах.

Применяется метод, использующий два последовательного уравнивания (рис. 116в). При повторной балансировке уравнивающие массы (силы) располагают в двух плоскостях: в плоскости 1-1 – силу S_1 , в плоскости II-II – силу S_2 .

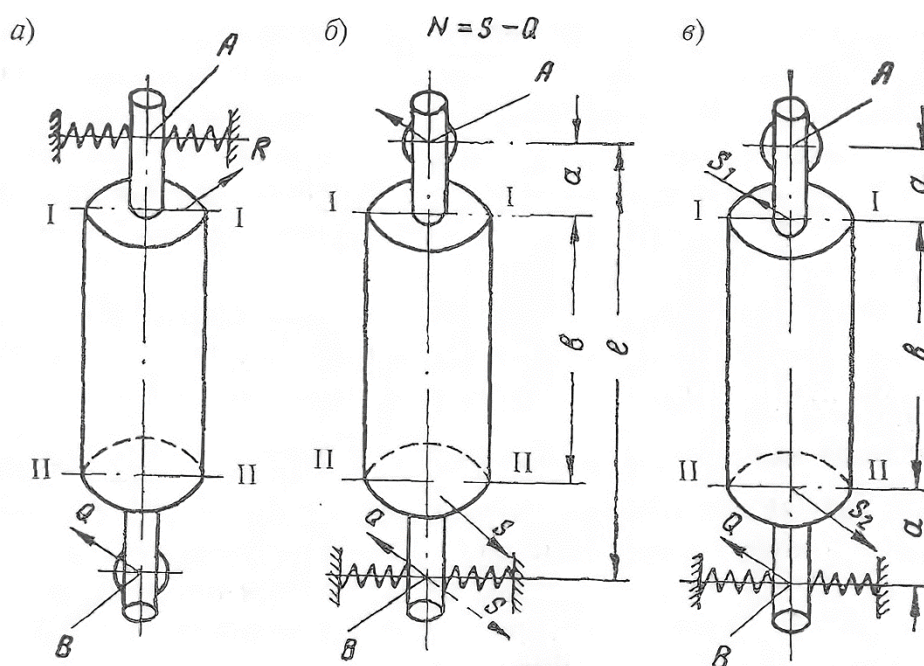


Рис. 116. Этапы динамического уравнивания:

а – начальное уравнивание; *б* – повторное уравнивание; *в* – два последовательных уравнивания

Значения этих сил определяются согласно следующим условиям.

1. Разность сил S_1 и S_2 численно равна силе, которую необходимо уравновесить Q :

$$S_1 - S_2 = Q,$$

2. Сумма моментов всех сил относительно А равно нулю, откуда:

$$Q \cdot l + S_1 \cdot a - S_2 \cdot (a + b) = 0,$$

откуда:

$$S_1 = Q \frac{a}{b}; S_2 = \frac{Q(a+b)}{b}.$$

Допуски на неуравновешенность валов.

$$P_{\text{дин}} \leq \acute{\alpha} \cdot G_{\text{ст.}}$$

По данным Политехнического института, $\acute{\alpha} = 0,03 \div 0,05$, меньшие значения относятся к валам большего диаметра с меньшей угловой скоростью.

В статически неуравновешенном валу динамическая нагрузка равна:

$$P_{\text{дин}} = m \cdot e \cdot \omega^2 = \frac{G_0}{g} \cdot e \cdot \omega^2.$$

Статическая нагрузка на обе опоры равна собственному весу вала.

Тогда:

$$P_{\text{дин}} \leq \acute{\alpha} G_0 \text{ или } \frac{G_0}{g} \cdot e \cdot \omega^2 \leq \acute{\alpha} G_0,$$

Откуда допустимый эксцентриситет $e \leq \frac{\acute{\alpha} g}{\omega^2}$.

Через окружную скорость и наружный диаметр вала имеем:

$$V = \frac{D\omega}{2}, \text{ откуда } e \leq \frac{\acute{\alpha} g D^2}{4V^2}.$$

Допустимый неуравновешенный момент с учётом эксцентриситета – e :

$$M_{\text{доп}} = \frac{\acute{\alpha} g G_0 D^2}{4V^2}.$$

13. ПРИВОД

В современном парке отечественных машин имеет место два типа приводов:

- привод однодвигательный;
- привод многодвигательный.

Привод однодвигательный используется только в старых тихоходных машинах. Многодвигательный привод используется во всех современных машинах разной производительности и обрезной ширины.

Основные требования к приводу машины:

- изменение рабочей скорости машины;
- стабилизация рабочей скорости;
- обеспечение вспомогательной скорости;
- изменение скоростей секций машины;
- стабилизация скоростей секций;

– стабилизация распределения нагрузок между электродвигателями многоприводных секций;

– управление секционным электроприводом.

Диапазон изменения скорости машин зависит от вырабатываемого ассортимента.

Для машин, вырабатывающих бумагу для печати и писчую, диапазон регулирования рабочей скорости 1:3; 1:5, для машин, изготавливающих техническую и высокосортную бумагу, – от 1:8 и от 1:10; для картоноделательных машин – от 1:4 до 1:8.

В современных машинах могут применяться и другие диапазоны скоростей.

Для создания резерва скорости при модернизации максимальная скорость по приводу машин выбирается на 15 ÷ 30 % больше максимальной рабочей.

Во избежание недопустимых колебаний массы 1 м² бумаги или картона из-за колебаний скорости машины требуется стабилизация скорости во всём рабочем диапазоне.

Допустимые колебания скорости машины должны быть меньше допустимых колебаний массы 1 м² бумаги или картона и составлять не более ± (0,1 ÷ 0,3) %.

Для осмотра одежды и её расправки после смены необходимо иметь обеспечение вспомогательной скорости (20 ÷ 40 м/мин).

Между секциями машины полотно должно проходить с натяжением во избежание складок и короблений, а также для возможности его отрыва от прессовых и других валов при прилипании. Натяжение полотна в межсекционных промежутках осуществляется за счёт обеспечения определённой разницы скоростей между предыдущей и последующей секциями.

В сушильной части полотно испытывает поперечную усадку, и для уменьшения напряжений в полотне при переходе из одной сушильной группы в другую часто скорости сушильных групп (по отношению одна к другой) по ходу полотна изменяют.

В зависимости от ассортимента вырабатываемой продукции диапазон изменения скоростей по секциям составляет:

- для секций мокрой части машины ± 5 %;
- для остальных секций ± 3 %;
- для наката + 10% – - 3 %.

Возможные максимальные изменения нагрузок секций по отношению к средним рабочим значениям следующие:

- в сеточной части 30 ÷ 40 %;
- в прессовой 25 ÷ 40 %;
- в сушильной 30 ÷ 50 %;
- в каландре (при обрыве) 50 %;
- на накате (при обрыве) 60 %.

14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ

Мощность на бумагоделательной машине расходуется на преодоление трения в подшипниках валов и цилиндров, трения качения между контактирующими валами, трения шаберов о валы и цилиндры, сетки по отсасывающим элементам, уплотнений камер отсасывающих валов о рубашки валов.

Существует 2 метода определения мощности: поэлементный и методом удельных показателей на основе замеров фактически потребляемой мощности на ряде идентичных машин и отнесения её к 1 м ширины машины и к 1 м/мин её скорости.

Метод поэлементного определения мощности в местах её фактического потребления даёт возможность учесть особенности конструкции и работы рассматриваемого агрегата.

При определении мощности методом удельных показателей остаётся неизвестным распределение мощности по отдельным видам её затрат, что не позволяет оценивать и принимать меры для их уменьшения.

Между мощностью и тяговым усилием существует зависимость:

$$P = 1,67 \cdot 10^{-5} Fv,$$

где P – мощность, кВт;

F – тяговое усилие, Н;

v – скорость агрегата, м/мин.

Если тяговое усилие отнести к 1 м ширины сетки, т. е.:

$$f = F/Vc,$$

то

$$P = 1,67 \cdot 10^{-5} f Vc v.$$

Удельная мощность определяется по формуле:

$$P = 1,67 \cdot 10^{-5} f \text{ (кВт} \cdot \text{ мин/ м}^2\text{)}.$$

При определении мощности по удельным показателям различают среднюю $p_{ср}$ и максимальную $p_{макс.}$ удельные мощности и соответственно $f_{ср.}$ и $f_{макс.}$. Средняя удельная мощность соответствует нормальным техническим условиям работы машины и средним значениям коэффициентов трения. Максимальная удельная мощность соответствует повышенным параметрам работы агрегатов и может довольно часто иметь место при работе машины.

Коэффициенты трения синтетической сетки:

по резине – $0,27 \div 0,4$;

по алюмооксидной керамике – 0,07;
по высокомолекулярному полиэтилену низкого давления – 0,08 ÷ 0,09;
по полиуретану – 0,03.

Пуск секций бумаго- и картоноделательных машин

Когда в одной приводной агрегаты устанавливают несколько приводных электродвигателей (например, на сеточной части с пересасывающим устройством приводится гауч-вал и поворотный вал или вал за «гаучем») двигатель большой мощности – основной, а остальные – вспомогательные. Мощность вспомогательного двигателя соответствует потребляемой мощности того узла (вала), для которого он установлен.

Мощность основного двигателя выбирают, исходя из мощности, потребляемой всей приводной секцией, за вычетом мощности вспомогательного двигателя.

Тяговые усилия необходимые для пуска секций. Пусковой момент $M_{п}$ складывается из пускового момента для преодоления инерционных сил $M_{ин}$ (для сообщения секциям постоянного ускорения) и момента для преодоления сил трения:

$$M_{п} = M_{ин} + M_{тр}.$$

При постоянном угловом ускорении электродвигателя момент инерции будет величиной постоянной.

Момент трения имеет наибольшее значение в момент пуска секций, когда коэффициент трения достигает наибольшего значения.

$$M_{ин} = I \frac{\omega_I}{t}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где I – статический момент инерции вращающихся валов машины без учёта моментов инерции масс сеток и сукон см^3 ;

ω_I – угловая скорость в конце пуска, $1/\text{с}$;

t – продолжительность пуска, зависящая от статического момента инерции секций в секундах, с

Значение t колеблется от 10 с для прессов и наката и до 60 с и более для сушильной части БДМ.

Для пустотелого вала:

$$I = \frac{G_B}{g} \cdot \frac{D^2 + d^2}{8},$$

где D, d – соответственно наружный и внутренний диаметры валов, м .

Для сплошного вала:

$$I = \frac{G_B \cdot D^2}{4g}.$$

Учитывая, что $\dot{\omega} = \frac{\pi n}{30}$,

имеем:

$$M_{ин} = \frac{G_B \cdot (D^2 + d^2) \cdot \pi \cdot n}{240gt}, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2,$$

где n – число оборотов в минуту

$$\text{или } M_{ин} = \frac{G_B \cdot (D^2 + d^2) \cdot n}{750t}.$$

Для сплошного вала:

$$M_{ин} = \frac{G_B \cdot D^2 \cdot \pi \cdot n}{120gt}, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2;$$

$$M_{ин} = \frac{G_B \cdot D^2 \cdot n}{375t}, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2.$$

Для упрощения вычислений статические моменты инерции (маховые моменты инерции) отдельных валов в пределах приводной агрегаты относят к приводному валу агрегаты, соединённому с электродвигателем.

Приведённый статический момент инерции вала:

$$M_{ин.пр.} = M_{ин.} \cdot \frac{\dot{\omega}_1}{\dot{\omega}_{пр.}}$$

Отношение скоростей ($\dot{\omega}_1$ и $\dot{\omega}_{пр.}$) рассматриваемого вала и вала, к которому приводится статический момент инерции, обратно пропорционально отношению соответствующих диаметров (D и $D_{пр.}$):

$$\frac{\dot{\omega}_1}{\dot{\omega}_{пр.}} = \frac{D_{пр.}}{D}.$$

Откуда:

$$\omega_1 = \frac{D_{пр.} \cdot \dot{\omega}_{пр.}}{D}$$

или для пустотелого вала:

$$M_{ин.}^{пр.} = \frac{G_B \cdot (D^2 + d^2) \cdot \pi \cdot n \cdot D_{пр.}}{240 \cdot g \cdot t \cdot D}.$$

Для сплошного вала имеем:

$$M_{ин.}^{пр.} = \frac{G_B \cdot D^2}{4g} \cdot \frac{\omega_1}{t} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_{пр.}},$$

откуда после преобразований после подстановки значения ω_1 получим:

$$M_{ин.}^{пр.} = \frac{G_B D_{пр.}^2 \cdot \omega_{пр.}}{4gt}.$$

Статический момент инерции валов агрегаты равен сумме статических моментов валов, приведённых к приводному:

$$M_{ин.}^{сек.} = \sum M_{ин.}^{пр.}$$

Приведённый к валу электродвигателя, имеющего угловую скорость $\omega_{дв.}$ инерционный момент агрегаты равен:

$$M_{пр.}^{дв.} = M_{ин.}^{сек.} \cdot i = M_{ин.}^{сек.} \cdot \frac{\omega_{пр.}}{\omega_{дв.}},$$

где $i = \frac{\omega_{пр.}}{\omega_{дв.}}$ – передаточное отношение редуктора, установленного между двигателем и приводным валом.

На основании результатов испытаний принимают следующую кратность пускового момента по отношению к нормальному расчётному (без коэффициентов мощности и скорости):

$$k_{п} = \frac{M_{п}}{M} = \frac{T_{п}}{T}.$$

Для сеточной части коэффициент $0,5 \div 0,7$ (пуск сеточной части производят без бумаги, при отсутствии вакуума в отсасывающих ящиках и тяговое усилие при пуске меньше, чем при обычной работе).

Для прессовой части коэффициент $2,5$ (тяговое усилие при пуске может быть снижено при уменьшении линейного давления между валами прессов).

Для сушильной части коэффициент $1,5 \div 2,5$, если на сушильных цилиндрах установлены подшипники качения, или $3,5 \div 4,0$ при установке подшипников скольжения.

Для каландра коэффициент $3 \div 4$ (при подшипниках скольжения).

Для наката коэффициент $0,5 \div 1,5$ (пуск наката производят без бумаги).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Машины для производства бумаги и картона [Текст] / под ред. В. С. Курова, Н. Н. Кокушина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 646 с.
2. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. Т. 2. Бумагоделательные машины [Текст] / под ред. В. А. Чичаева. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 264 с.
3. Эйдлин, И. Я. Бумагоделательные и отделочные машины [Текст] / И. Я. Эйдлин. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 624 с.
4. Биргер, И. А., Шорр, Б. Ф., Иосилевич, Г. Б. Расчёт на прочность деталей машин [Текст]: справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.
5. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. [Текст] / В. И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 2008.
6. Бумагоделательные машины [Текст] / под ред. В. С. Курова, Н. Н. Кокушина. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2011. – 598 с.
7. Шульман, Г. З., Александров, А. В., Андреев, А. Г. Расчёт напускных устройств бумаго-картоноделательных машин [Текст]: учебное пособие / Г. З. Шульман, А. В. Александров, А. Г. Андреев. – СПб.: ГОУВПО СПбГТУРП, 2010. – 48 с.
8. Швецов, Ю. Н., Кугушев, И. Д., Слуцкий, А. Е. Расчёт обезвоживания в отсасывающей части бумаго- и картоноделательных машин [Текст]: учебное пособие / Ю. Н. Швецов, И. Д. Кугушев, А. Е. Слуцкий. – СПб.: ГОУВПО СПбГТУРП, 1993. – 106 с.