

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

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

*80-летию СПбГТУРП  
посвящается*

**В.М. Дробосюк**

# **Технология изготовления бумаги аэродинамическим способом**

Санкт-Петербург

2011

ББК 35.77  
Д 750  
УДК 676.026.21

Дробосюк В.М. Технология изготовления бумаги аэродинамическим способом / СПбГТУРП. СПб., 2011. 56 с.: ил. 11 - ISBN 978-5-91646-041-4

В монографии изложены теоретические основы нового технологического процесса для промышленного производства бумаги и картона аэродинамическим способом. Даны описания конструкций разработанного оборудования и технологических параметров стадий подготовки целлюлозного полуфабриката и формования полотна бумаги. Замена водной технологической среды, используемой в традиционном формовании, на воздушную обеспечивает полную экологическую безопасность производства из-за отсутствия промышленных стоков, а также позволяет уменьшить габариты оборудования, необходимого для формования полотна бумаги. Предложена технология изготовления методом аэродинамического формования санитарно-гигиенической бумаги из волокнистого природного сырья.

Монография предназначена для инженерно-технических и научных работников целлюлозно-бумажной промышленности, а также для студентов и аспирантов.

Рецензенты:

профессор, доктор техн. наук, проректор  
по научной работе и инновациям СПбГТУРП  
Куров В.С.;

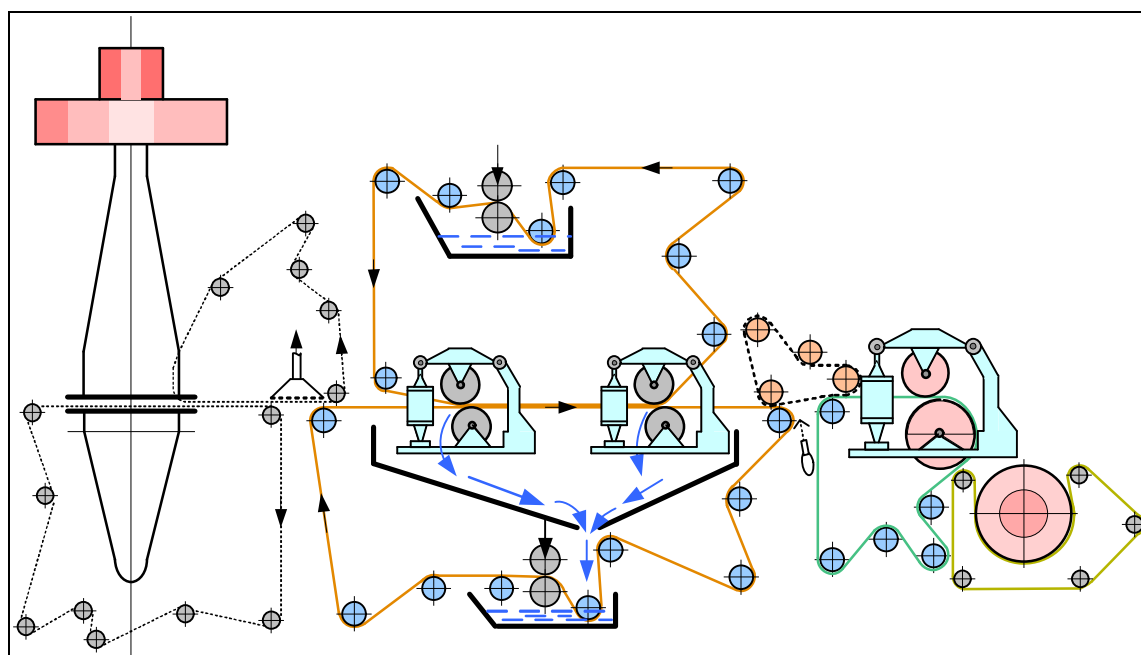
начальник отдела продаж одежды  
бумагоделательных машин ЗАО «БАНМАРК»  
Ануров Д.М.

ISBN 978-5-91646-041-4

© ФГБОУВПО Санкт-Петербургский  
государственный технологический  
университет растительных полимеров, 2011  
© Дробосюк В.М., 2011

**В.М. Дробосюк**

# **ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БУМАГИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ**



**Санкт-Петербург**

**2011**

**Содержание**

Введение ..... 4

1. Описание технологии в целом ..... 6

2. Описание отдельных технологических операций ..... 14

2.1. Размотка рулона сухой целлюлозы ..... 14

2.2. Увлажнение полотна сухой целлюлозы ..... 14

2.3. Измельчение полотна влажной целлюлозы ..... 18

2.4. Разделение измельченной целлюлозы на отдельные волокна ..... 23

2.5. Формирование потока аэрозвеси с равномерным распределением  
волокон целлюлозы по ширине формуемого полотна бумаги ..... 29

2.6. Формирование слоя волокон на формирующей сетке ..... 32

2.7. Формование полотна картона, писчей, печатной и других видов  
плотной бумаги ..... 39

2.8. Формование полотна бумаги санитарно-гигиенического  
назначения ..... 45

## Введение

Бумагоделательная машина, изобретённая около 200 лет тому назад, прошла длительный путь совершенствования, однако в её принципиальной схеме значительных изменений не произошло. Машины прошлых веков имели ту же принципиальную схему, как и современные: осаждение на сетке волокон целлюлозы из разбавленной водной суспензии, обезвоживание формирующегося слоя до 15 – 20 % сухости, обезвоживание водонасыщенного слоя волокон прессованием на вальцовых прессах до 42 – 45 % сухости, сушка на сушильных цилиндрах, отделка на каландре и намотка. При этом, на каждую тонну изготавливаемой бумаги через оборудование для подготовки водной суспензии волокон, формирования и обезвоживания слоя волокон перекачивается не менее 99 тонн воды. Из этого количества воды 80 тонн (современный лучший показатель) используется многократно (оборотная вода), а 20 тонн составляет постоянный расход свежей воды. Соответственно, на каждую тонну бумаги 20 тонн воды поступает в очистительные сооружения.

Необходимость перемещения значительного объёма воды, существенный расход энергии в процессе обезвоживания формируемого слоя волокон, а также необходимость строительства очистительных сооружений приводит к значительным капитальным и эксплуатационным затратам, составляющим не менее 30 % в общем технологическом процессе.

Увеличение производительности бумагоделательных машин, при ограничении роста их габаритов, требует повышения скорости процесса обезвоживания формируемого на сеточной части машины волокнистого слоя. Увеличение интенсивности процесса обезвоживания волокнистого слоя невозможно без существенных затрат энергии.

Предлагаемый технологический процесс и комплекс оборудования представляют собой основу нового промышленного способа производства бумаги и картона, в котором формование бумажного полотна осуществляется

осаждением на сетке волокон и компонентов бумаги (частиц наполнителя и гидрофобизатора) из воздушного потока. Воздух исполняет роль технологической среды, переносящей компоненты бумаги по технологической линии. Замена водной технологической среды на воздушную обеспечивает полную экологическую безопасность производства из-за отсутствия производственных стоков и вредных выбросов в атмосферу, позволяет уменьшить габариты оборудования, необходимого для формования полотна бумаги.

Вода в традиционном способе изготовления бумаги является не только технологической средой, предназначенной для транспорта волокнистого материала через подготовительное оборудование бумагоделательной машины. Вода является активным компонентом, участвующим в физико-химическом взаимодействии волокон, определяющим механическую прочность бумаги. Как показали результаты исследований, выполненных в Санкт-Петербургском государственном технологическом университете растительных полимеров, необходимое для физико-химического взаимодействия волокон количество воды составляет 1 кг на 1 кг сухих волокон целлюлозы. Остальные же 99 кг воды на 1 кг волокон используются в традиционном технологическом процессе только для транспорта волокнистого материала, значительно затрудняя при этом процесс формирования полотна бумаги.

В предлагаемом технологическом процессе формирование полотна бумаги осуществляется из потока влажных волокон целлюлозы (влажность не менее 30%), взвешенных в воздухе с относительной влажностью не менее 98 %. Влажный воздух сохраняет при формировании полотна бумаги влажность волокон, исключая проблемы, связанные с обезвоживанием волокнистого слоя.

Известен способ «сухого» формования специальных видов бумаги, использующий только длиноволокнистое сырьё (хлопок, синтетические волокна) и упрочняющие компоненты. В отличие от известного способа, предлагаемый технологический процесс и комплекс оборудования предназначен для изготовления писчих или печатных видов бумаги и картона, а также

бумаги санитарно-гигиенического назначения из обычного волокнистого сырья (сульфатная или сульфитная целлюлоза древесного происхождения). В предлагаемом способе подготовки аэровзвеси волокна сохраняют исходную длину и необходимую влажность (не менее 30 %), что позволяет изготавливать различные виды плотной бумаги и картона без использования дополнительных упрочняющих компонентов. Прочность бумаги обеспечивается за счёт сохранения указанной влажности волокон в аэровзвеси и дополнительного увлажнения бумажного полотна прессованием между влажных сушкон на вальцовом прессе.

## 1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЦЕЛОМ

Разработанная технология включает ряд технологических операций, представленных в таблице. В таблице даны результаты соответствующих операций и особенности технологии, указано, к какой части технологического процесса операции относятся, описаны конструкции технологического оборудования, особенности применения стандартного оборудования, параметры технологической операции.

**Операция 1. Размотка рулона сухой целлюлозы.** В технологическую линию волокнистый полуфабрикат поступает в виде рулона полотна сухой целлюлозы. Для последующей обработки рулон разматывается, для чего используется типовое оборудование, применяемое в бумагоделательной промышленности. Данная технологическая операция не требует каких-либо усовершенствований известного оборудования.

**Операция 2. Увлажнение полотна сухой целлюлозы** до влажности 50 – 52 % снижает величину удельной работы разделения полотна полуфабриката на отдельные волокна примерно до 100 дж / кг сухого волокна, что значительно меньше удельной работы разрушения отдельных волокон целлюлозы, составляющей величину 1000 дж/кг сухого волокна. Таким обра-

зом, на последующих стадиях механической обработки увлажнённое полотно можно разделять на отдельные волокна без их разрушения и укорачивания.

Таблица

### Этапы технологии

№	Технологическая операция	Результат операции	Особенности технологии
1	Размотка рулона сухой целлюлозы	Полотно сухой целлюлозы	Применяется типовое оборудование
2	Увлажнение полотна сухой целлюлозы водой в специальном устройстве-увлажнителе	Полотно влажной целлюлозы	Особая конструкция увлажнителя, позволяющая быстро и равномерно увлажнить полотно. Согласование скорости движения полотна сухой целлюлозы через увлажнитель и глубины погружения его в ванну с водой: <ul style="list-style-type: none"> <li>• со скоростью формования бумаги;</li> <li>• с массой квадратного метра полотна сухой целлюлозы и формуемой бумаги;</li> <li>• с шириной полотна сухой целлюлозы и формуемой бумаги.</li> </ul> Определённый диапазон влажности на выходе из увлажнителя для различных видов целлюлозы
3	Измельчение полотна влажной целлюлозы в специальном устройстве – «разрывателе»	Измельчённая на «лепестки» влажная целлюлоза	Особая конструкция разрывателя, обеспечивающая измельчение полотна целлюлозы на «лепестки»
4	Разделение измельчённой на «лепестки» целлюлозы во взвешенном слое на отдельные волокна в аппарате, состоящем из мельницы барабанного типа и отсасывающего устройства	Аэровзвесь влажных волокон целлюлозы	Особая конструкция мельницы. Специально подобранное по параметрам отсасывающее устройство. Определённые параметры получаемой аэровзвеси (влажность в волокон целлюлозы, влажность и температура воздуха).
5	Гомогенизация (создание однородности) аэровзвеси волокон целлюлозы центробежным гомогенизатором	Аэровзвесь влажных волокон целлюлозы, распределённая по ширине формуемого полотна	Особая конструкция гомогенизатора – массоподающего устройства. Определённые размеры, форма, место установки конструктивных элементов.



№	Технологическая операция	Результат операции	Особенности технологии
6	Формование слоя волокон целлюлозы на формующей сетке	Слой влажных волокон целлюлозы	Типовое сопло. Определённые параметры выходного потока аэровзвеси (влажность волокон целлюлозы, влажность и температура воздуха, связанная со скоростью выходного потока аэровзвеси). Особая конструкция дополнительных технических средств, обеспечивающих равномерное распределение волокон по сетке достигается за счёт определённого распределения под формующей сеткой дополнительного сопротивления аэродинамическому потоку
7	Формование плотного полотна бумаги	Плотное полотно бумаги с заполненным водой межволоконным объёмом	Увлажнение путём уплотнения Слой волокон целлюлозы, помещённого между влажным прессовым сукном и покровной сеткой, и последующее прессование между двух прессовых сукон. Определённая влажность прессового сукна. Определённое давление прессования.
8	Формование полотна бумаги с заданной структурой	Влажное полотно бумаги с заданной структурой	Формование путём уплотнения слоя волокон целлюлозы, помещённого между профилирующей и увлажняющей сетками, и последующее горячее прессование слоя, покрытого профилирующей сеткой. Определённый размер ячеек профилирующей сетки, зависящий от марки исходной целлюлозы. Определённый размер ячеек увлажняющей сетки, обеспечивающий избирательное увлажнение слоя. Определённое соотношение количества воды в увлажняющей сетке, температуры, давления и длительности прессования.
9	Сушка и крепирование влажного полотна бумаги	Сухое бумажное полотно	Типовое оборудование (Янки-цилиндр, простые сушильные цилиндры и др.).
10	Намотка бумажного полотна в рулон	Рулон бумаги	Типовое оборудование.

Увлажнение полотна сухой целлюлозы осуществляется в специальном устройстве: увлажнителе. Увлажнитель представляет собой ванну протяжённой формы, наполненную водой, и транспортёр в виде двух сеток. С помощью этих сеток полотно сухой целлюлозы протягивается через ванну с водой. Сетки натянуты между двумя барабанами, которые установлены в противоположных концах ванны и вращаются с помощью регулируемого привода.

Принципиально важным для данной технологической операции является обеспечение условий, при которых за время прохождения увлажняющей ванны полотном целлюлозы произойдёт полное смачивание волокон в структуре полотна. На выходе из увлажняющей ванны полотно подаётся на отжимной вальцовый пресс, который отжимает из полотна избыточную воду. При этом давление пресса должно быть отрегулировано таким образом, чтобы влажность полотна после пресса сохранялась в пределах 50 – 52 %.

**Операция 3. Измельчение полотна влажной целлюлозы.** Непрерывно поступающее в технологическую линию влажное полотно должно быть разделено на отдельные волокна в потоке воздуха для получения непрерывного однородного потока аэровзвеси волокон целлюлозы. Эта задача решается путём измельчения полотна на лепестки целлюлозы и последующего их разделения на волокна с образованием аэровзвеси этих волокон.

Для измельчения влажного полотна и обеспечения непрерывного однородного потока измельчённого материала сконструировано устройство двухступенчатого измельчения. На первой ступени увлажнённое полотно целлюлозы разрывается на сравнительно крупные элементы – полоски длиной около 10 см и шириной около 2 см. Это достигается с помощью вращающегося ротора, длина которого равна ширине подаваемого увлажнённого полотна.

После предварительного измельчения на первой ступени целлюлоза по специальному диффузорно-конфузорному каналу поступает на вторую ступень измельчения. Указанный канал имеет различную по длине канала фор-

му поперечного сечения, исключаящую неконтролируемое накопление в нем материала.

Благодаря указанному соотношению размеров ротора и полотна обеспечивается предварительное измельчение полотна, а за счет особой формы канала, по которому целлюлоза поступает на измельчитель второй ступени, обеспечивается равномерность её подачи.

Кроме того, данный вид механического воздействия способствует равномерному распределению межволоконной воды в объёме волокнистой структуры полуфабриката, что необходимо в дальнейшем для получения однородной аэровзвеси волокон.

***Операция 4. Разделение измельчённой целлюлозы в аэровзвеси на отдельные волокна*** осуществляется в мельнице роторного типа особой конструкции. В этой мельнице формируется вращающийся взвешенный слой частиц целлюлозы, которые подвергаются интенсивному соударению о ножи ротора и статорные элементы.

Через этот слой частиц продувается поток сушильного воздуха, который отбирает свободную межволоконную воду частиц целлюлозы, тем самым насыщаясь испаряемой водой. В результате на выходе мельницы формируется взвесь влажных волокон в потоке влажного воздуха.

***Операция 5. Гомогенизация (создание однородности) аэровзвеси волокон целлюлозы.*** Формование полотна бумаги требует высокой однородности распределения волокон в объёме потока аэровзвеси, поступающего на формующую сетку. Нарушение однородности аэровзвеси вызывает нарушение равномерности распределения толщины формируемого волокнистого слоя.

Основная причина нарушения однородности потока аэровзвеси состоит в том, что общая ширина потоков аэровзвеси, выходящих из мельниц, осуществляющих разделение волокнистого полуфабриката на отдельные волокна, меньше ширины формируемого полотна бумаги.

В массоподающем устройстве (гомогенизаторе) осуществляется смешивание (гомогенизация) отдельных потоков и равномерное распределение общего потока аэровзвеси по ширине формуемого полотна бумаги.

Смешивание отдельных потоков аэровзвеси в общий поток обеспечивается прохождением отдельных потоков по диффузорно-конфузорным каналам, соединяющимся в едином корпусе (улитке) массоподающего устройства. По ходу движения потоки огибают ротор с лопатками, установленный в корпусе массоподающего устройства. Вращение ротора обеспечивает интенсивное перемешивание аэровзвеси волокон в объеме образующего общего потока, что гарантирует равномерное распределение взвешенных волокон по ширине формуемого полотна бумаги.

Сформированный однородный поток аэровзвеси целлюлозных волокон поступает по массоподающему каналу на формующую сетку.

**Операция 6. Формование слоя волокон целлюлозы** осуществляется на движущейся сетке, пересекающей поток аэровзвеси волокон целлюлозы под определённым углом  $\alpha$ , величина которого зависит от скорости движения сетки. Длина участка сетки, пересекающей поток аэровзвеси, определяется требуемой величиной массы одного квадратного метра формуемого слоя волокон, а также концентрацией волокон в объеме аэровзвеси, поступающей из массоподающего устройства. За сеткой расположен воздухоотборный ящик, соединённый с отсасывающим (вытяжным) вентилятором. Вентилятор создаёт под сеткой разрежение, достаточное для преодоления потоком воздуха совокупного аэродинамического сопротивления формуемого слоя волокон и сетки. Угол наклона сетки и длина участка сетки, на котором формируется слой волокон, определяют высоту массоподающего канала, соединяющего массоподающее устройство с зоной формования волокнистого слоя. Формующийся слой волокон удерживается на сетке силой аэродинамического давления потока воздуха, проходящего через сформированный слой и сетку. Для предотвращения смещения элементов (участков) сформированного слоя

вдоль плоскости сетки, который может произойти под действием потока воздуха, устанавливается оптимальное соотношение скорости перемещения сетки, скорости потока аэровзвеси по массоподающему каналу и угла наклона сетки к направлению потока аэровзвеси волокон. Однородность потока аэровзвеси по высоте массоподающего канала и длине участка сетки, на котором формируется слой волокон, обеспечивается конструкцией воздухоотборного ящика, установленного за сеткой.

**Операция 7. Формование плотного полотна бумаги.** Слой, сформованный из аэровзвеси влажных волокон, помещается между покровной сеткой и увлажнённым прессовым сукном и прессуется на вальцовом прессе. Покровная сетка необходима для предотвращения разрыва увлажняемого волокнистого слоя потоком воды, выдавливаемой из влажного сукна. Наличие покровной сетки позволяет исключить противодействие воздуха, находящегося в межволоконном пространстве волокнистого слоя. Вода, отжатая из влажного сукна, вытесняет воздух из слоя волокон в покровную сетку. В результате вода фильтруется преимущественно поперёк волокнистого слоя, что полностью исключает возможность разрыва слоя продольными потоками воды.

Отжатая из сукна вода фильтруется через волокнистый слой в покровную сетку, заполняя свободное межволоконное пространство в слое волокон и свободное пространство в ячейках покровной сетки.

Влажность прессового сукна, используемого для увлажнения слоя волокон, составляет 60 – 62 %.

В зоне наибольшего сжатия прессовыми валами системы «прессовое сукно – слой волокон – покровная сетка» плотность волокнистого слоя равна приблизительно  $400 \text{ кг/м}^3$ , при этом вся система заполнена водой, отжатой из влажного прессового сукна. При выходе системы из зоны наибольшего сжатия прессовое сукно и слой волокон под действием внутренних напряжений расширяются. Вода из ячеек покровной сетки перемещается в на-

правлении сукна, заполняя увеличивающийся межволоконный объём расширяющегося волокнистого слоя. Влажность слоя волокон после прессования на влажном сукне с покровной сеткой составляет 65 – 70 %.

Увлажнённый волокнистый слой перед поступлением на сушильные цилиндры (сушильная часть бумагоделательной машины) дополнительно прессуется между двух сукон на втором вальцовом прессе, что обеспечивает снижение влажности слоя волокон до 45 – 50 %.

**Операция 8. Формование полотна бумаги санитарно-гигиенического назначения.** Волокнистый слой помещается между двух сеток (профилирующей и увлажняющей) и прессуется на вальцовом прессе. В результате прессования в структуре волокнистого слоя образуются уплотнённые участки, обеспечивающие механическую прочность бумаги, и рыхлые участки, обеспечивающие её высокую впитывающую способность.

Капиллярные свойства увлажняющей сетки обеспечивают избирательное насыщение водой уплотняющихся в процессе прессования участков волокнистого слоя.

Нити профилирующей сетки имеют плоские участки. Плоские участки сетки создают в процессе прессования уплотнённые участки слоя волокон. Плотность укладки волокон в таких участках слоя составляет приблизительно 750 – 800 кг/м<sup>3</sup>. Площадь уплотнённых участков и расстояние между ними, определяемое размерами ячеек профилирующей сетки, обеспечивают передачу механических напряжений при растяжении бумаги только по уплотнённым участкам.

В процессе прессования между нитями сетки и плоскими участками профилирующей сетки остаются рыхлые участки. Площадь рыхлых участков составляет приблизительно 50 % от общей площади бумаги. Плотность укладки волокон в рыхлых участках равна в среднем 100 кг/м<sup>3</sup>. Данные величины площади рыхлых участков и плотность укладки волокон в них обеспечивают общую гигроскопичность бумаги 2 – 2,5 кг воды / кг бумаги.

**Операция 9. Сушка и крепирование влажной бумаги.** При изготовлении плотных видов бумаги и картона влажное полотно бумаги поступает на сушильные цилиндры типовой сушильной части бумагоделательной машины. При изготовлении бумаги санитарно-гигиенического назначения сушка и крепирование осуществляется на сушильном Янки-цилиндре по типовой технологии.

**Операция 10. Намотка бумажного полотна в рулон.** Высушенное и крепированное полотно бумаги сматывается в рулон на типовом оборудовании.

## 2. ОПИСАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

### 2.1 Размотка рулона сухой целлюлозы

Данная технологическая операция не требует каких-либо усовершенствований или обновления оборудования, применяемого в бумагоделательной промышленности.

### 2.2. Увлажнение полотна сухой целлюлозы

*Описание конструкции.* Для увлажнения полотна сухой целлюлозы используется устройство – увлажнитель, схема которого представлена на рис.2.1. Увлажнитель выполнен в виде ванны 1, заполненной водой, и транспортирующей системы, состоящей из верхней 2 и нижней 3 транспортирующих сеток, а также барабанов 4 и 5. Полотно сухой целлюлозы 6 разматывается с бобины 7 и протягивается через ванну 1 с помощью транспортирующей системы между сетками 2 и 3. Во время нахождения полотна целлюлозы в воде происходит его увлажнение. Особенностью конструкции являются установленные в ванне 1 пластины 8 для гашения потоков воды, возникающих при быстром перемещении сеток с полотном целлюлозы.

Погружение полотна сухой целлюлозы в ванну с водой является самым эффективным способом её увлажнения. Однако при попытке добиться высо-

кой скорости транспортировки полотна (2 – 4 м/с) возникает серьёзная проблема. Перемещающиеся с большой скоростью сетки 2 и 3 увлекают за собой прилегающий к ним слой воды, вследствие чего в этом слое возникает движение воды с образованием волны, что существенно снижает однородность пропитки водой увлажняемого полотна 6. Для того чтобы устранить указанный недостаток, в ванне 1 установлены пластины 8, которые гасят возникающие волны. Пластины 6 устанавливаются с возможностью перемещения по глубине ванны 1, а также изменения угла наклона к плоскости сеток 2 и 3. Регулируя угол наклона пластин 8 и величину зазора между сетками 2, 3 и пластинами 8, можно добиваться оптимального значения скорости транспортировки полотна 6, глубины погружения полотна в ванну и иных условий, в которых осуществляется данная операция увлажнения.

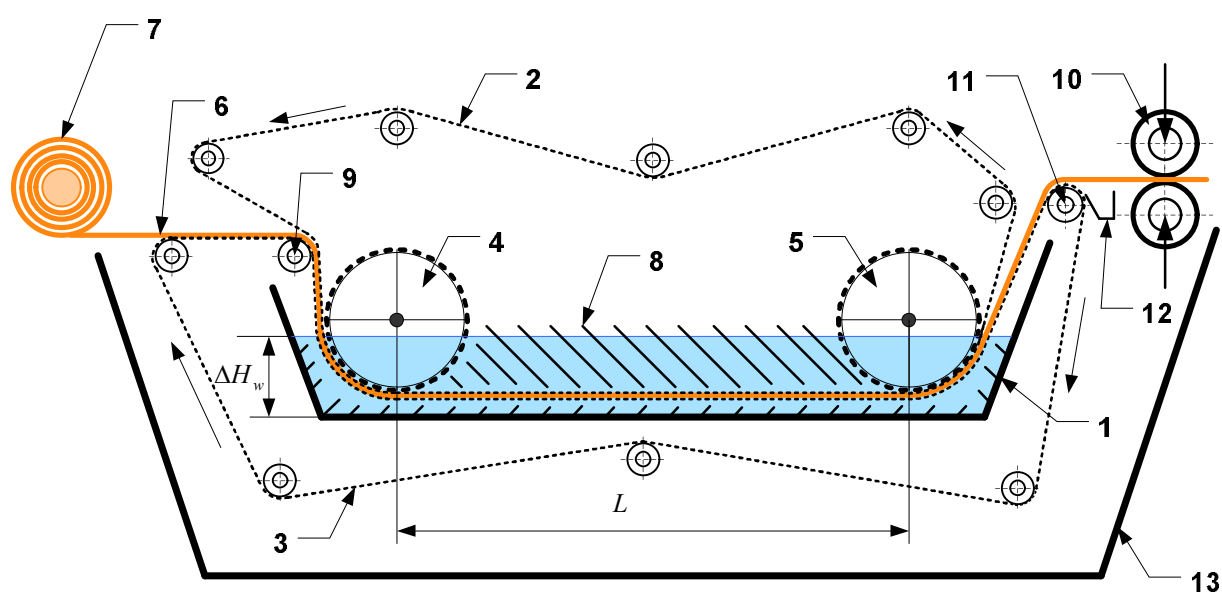


Рис. 2.1. Увлажнитель полотна сухой целлюлозы: 1, 13 – основная и дополнительная ванны; 2, 3 – верхняя и нижняя транспортирующие сетки; 4, 5 – барабаны; 6, 7 – полотно целлюлозы на бобине; 8 – пластины, гасящие волну; 9, 11 – сетководущие валики; 10 – отжимной пресс; 12 – устройство для воздушного сдува

*Описание работы.* Полотно сухой целлюлозы 6 с бобины 7, установленной на типовом раскате, подаётся между сетками 2 и 3 в зону их контакта на сетководущем валике 9. Натянутые сетки 2 и 3 транспортируют полотно в



ванну 1, заполненную водой. На участке между сетководущим валиком 9 и барабаном 4 полотно, покрытое сетками 2 и 3, входит в слой воды. На этом участке под действием гидростатического давления слоя воды и давления капиллярного впитывания происходит вытеснение воздуха из межволоконного пространства в структуре полотна 6 и заполнение водой капилляров стенок волокон. На горизонтальном участке транспортировки полотна 6 между барабанами 4 и 5 смачивание поверхности волокон в структуре полотна 6 обеспечивается, в основном, путём капиллярного впитывания воды в межволоконное пространство. Удалению пузырьков воздуха из структуры полотна 6 и однородности распределения воды по межволоконным капиллярам способствует интенсивное перемешивание воды в ванне 1, вызванное движением сеток 2 и 3 и обтеканием воды неподвижных пластин 8.

Натянутые сетки препятствуют разрушению структуры полотна, происходящему за счёт вымывания отдельных волокон из полотна потоками воды. При выходе полотна 6, покрытого сетками 2 и 3, из слоя воды на барабане 5 верхняя сетка 2 отделяется от полотна. Влажное полотно под действием силы тяжести остаётся на сетке 3.

Полотно подаётся сеткой 3 на отжимной вальцовый пресс 10. Съём полотна 6 с сетки 3 перед отжимным прессом 10 происходит за счет огибания сеткой 3 сетководущего валика 11.

Для предотвращения уноса полотна с сеткой 3 в пусковой период включается воздушный сдув 12, установленный под сеткой 3. Часть воды, заполняющей ячейки сетки 3, переходит на поверхность полотна. Вальцовый пресс 10 обеспечивает отжим избыточной воды до влажности 50 – 52 %. Отжимаемая вальцовым прессом 10 вода стекает в дополнительную ванну 13, установленную под основной ванной 1, откуда насосом (на рис.2.1 не показано) подаётся в основную ванну.

Полотно влажной целлюлозы после вальцового пресса 10 подаётся в устройство для измельчения полотна на лепестковые волокнистые элементы.

При изготовлении способом аэродинамического формования писчебечатных видов бумаги, содержащих в качестве гидрофобизатора канифоль (смоляные кислоты), в ванну 1 подаётся щелочная дисперсия натриевых солей смоляных кислот. Концентрация щелочной дисперсии смоляных кислот определяется требуемым содержанием гидрофобизатора в изготавливаемой бумаге и лежит в диапазоне 5 – 30 г/л.

*Технологические параметры.* Обеспечение полного увлажнения полотна сухой целлюлозы зависит от следующих факторов:

- скорость прохождения полотна целлюлозы через увлажнитель;
- глубина погружения полотна в ванну;
- скорость перемещения формирующей сетки в формирующем устройстве;
- масса квадратного метра полотна сухой целлюлозы;
- ширина полотна сухой целлюлозы;
- ширина формируемого полотна бумаги.

*Скорость движения полотна сухой целлюлозы через увлажнитель.* Скорость  $V_{cel}$  движения полотна целлюлозы через ванну 1 увлажнителя определяется следующим соотношением:

$$V_{cel} = V_{net} \cdot \frac{q_o}{q_{cel}} \cdot \frac{H_p}{H_{cel}}, \quad (2.1)$$

где  $V_{net}$  - скорость перемещения формирующей сетки в формирующем устройстве, м/с;

$q_o$  - масса квадратного метра формируемой бумаги, кг/м<sup>2</sup>;

$q_{cel}$  - масса квадратного метра полотна сухой целлюлозы, кг/м<sup>2</sup>;

$H_p$  - ширина формируемого полотна бумаги, м;

$H_{cel}$  - ширина полотна сухой целлюлозы, м.

Глубина погружения полотна целлюлозы в ванну с водой. Требуемая толщина  $\Delta H_w$  слоя воды над полотном целлюлозы определяется из уравнения фильтрации:

$$\Delta H_w = \frac{2 \cdot \sigma_w \cdot \cos \theta}{9,81 \cdot \rho_w \cdot d_f \cdot \left( \frac{\rho_f}{\rho_{cel}} - 1 \right)} \cdot \left[ \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 9,81 \cdot k \cdot \rho_w}{(\sigma_w \cdot \cos \theta)^2} \cdot h_{cel}^2 \cdot V_{cel}} - 1 \right], \quad (2.2)$$

где  $\sigma_w$  - поверхностное натяжение воды, н/м;

$\theta = 83^\circ$  - угол смачивания водой поверхности целлюлозы;

$\rho_w$  - удельный вес воды, кг/м<sup>3</sup>;

$d_f$  - средний диаметр волокон в полотне целлюлозы, м;

$\rho_f$  - удельный вес стенки волокон, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{cel}$  - удельный вес полотна сухой целлюлозы, кг/м<sup>3</sup>;

$h_{cel}$  - толщина полотна сухой целлюлозы, м;

$k = 5,0$  - постоянная Козени.

В случаях, если необходимая расчётная скорость  $V_{cel}$  движения полотна сухой целлюлозы через увлажнитель будет иметь большие значения, которые сложно обеспечить конструктивно, то в ванну 1 необходимо подавать сразу несколько слоёв полотна сухой целлюлозы. При этом в ванне должна возрасти толщина слоя воды в соответствии с уравнением (2.2).

### 2.3. Измельчение полотна влажной целлюлозы

*Описание конструкции.* Измельчение полотна влажной целлюлозы на лепестковые волокнистые элементы осуществляется в два этапа. На первом этапе увлажнённое полотно разрывается на сравнительно крупные элементы (полоски), которые затем поступают на вторую ступень измельчения, измельчаются на волокнистые элементы со средним диаметром 3 – 5 мм.

Первый этап измельчения осуществляется в бункере 1 (рис.2.2), поперечный размер которого  $L_1$  не менее ширины подаваемого в него увлажнённого полотна целлюлозы. В бункере 1 расположен вращающийся вал 2, на котором установлено восемь двойных рядов прямоугольных лопаток 3. Лопатки 3 в каждом двойном ряду устанавливаются в шахматном порядке. Размеры отдельных лопаток и расстояния между их рядами по окружности вала определяются заданными размерами лепестков, на которые измельчается увлажнённое полотно на первом этапе.

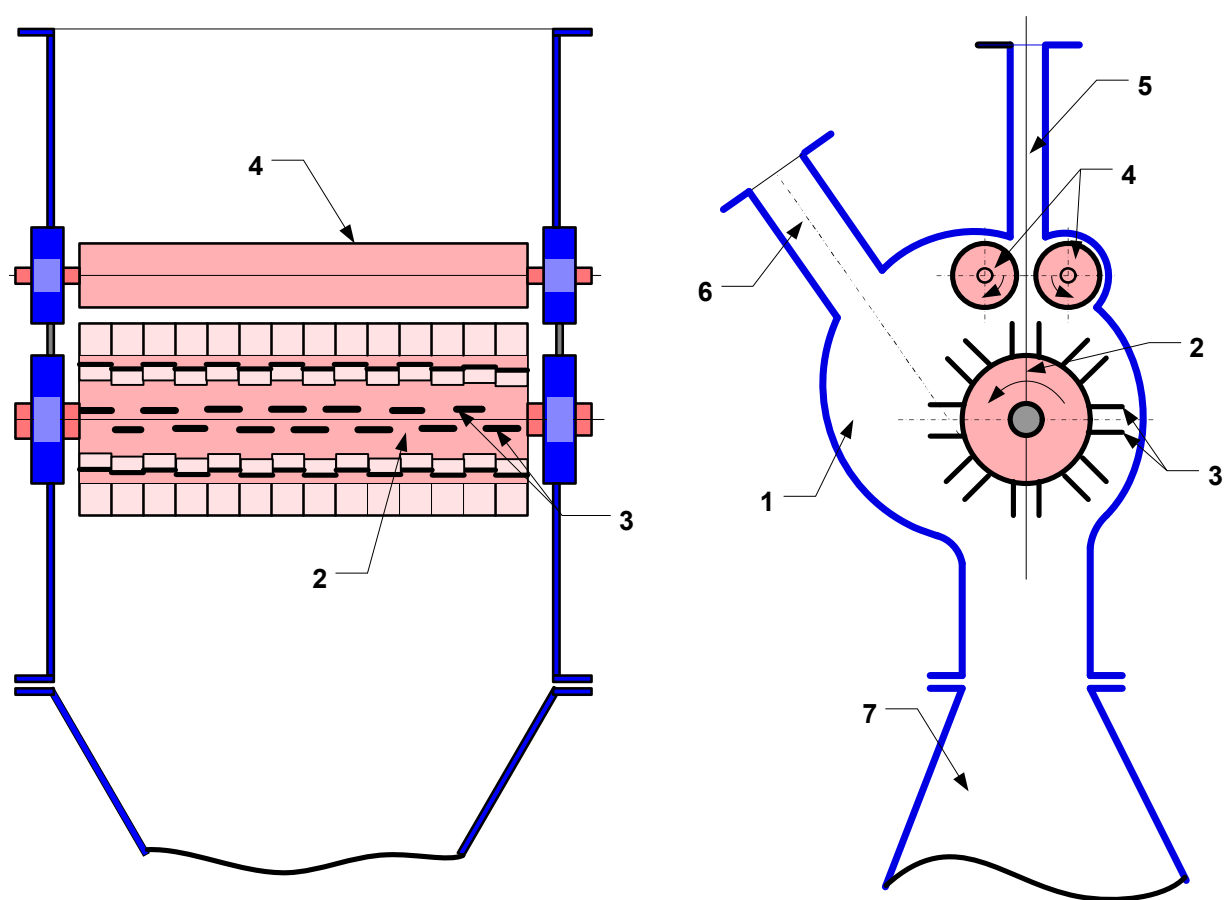


Рис.2.2. Измельчитель полотна влажной целлюлозы: 1 –бункер; 2 – вал; 3 – лопатки вала; 4 – вращающиеся валики; 5, 6 – патрубки; 7 – диффузорно-конфузорный канал

Над валом 2 с лопатками 3 расположены два валика 4, снабжённые механизмом взаимного прижима с усилием не более 1 кг на см длины валиков 4. Длина валиков 4 равна длине вала 2.

Валики 4 снабжены электроприводом (на рис.2.2 не показан), который работает независимо от электропривода вала 2. Расстояние (h) между внешним срезом лопаток 3 вала и горизонталью, соединяющей оси установленных над ним валиков 4, должно быть минимальным и определяться возможностью конструктивного исполнения, обеспечивающего независимое вращение вала 2 и валиков 4. Над точкой контакта валиков 4 в бункере 1 установлен патрубок 5 прямоугольного сечения, большая сторона которого равна ширине подаваемого увлажнённого полотна, меньшая сторона – не более диаметра валиков 4.

Бункер 1 имеет также патрубок 6 прямоугольного сечения для подачи в бункер сушильного воздуха. При этом патрубок 6 установлен таким образом, что его осевая плоскость является касательной к окружности вала 2. Часть корпуса 1, примыкающая к патрубку 6, имеет форму кривоосного канала. Расстояние от внутренней стенки корпуса до внешнего среза лопаток 3 вала 2 на этом участке корпуса равно меньшей стороне прямоугольного сечения патрубка 6. Расстояние между внешним срезом лопаток 3 вала 2 и внутренней стенкой противоположной части корпуса должно быть минимальным и определяется возможностью конструктивного исполнения.

Бункер 1 установлен на диффузорно-конфузорном канале 7, соединяющим его с центробежным разрывателем (рис.2.3). Центробежный разрыватель осуществляет измельчение второй ступени увлажнённого полотна целлюлозы. Диффузорно-конфузорный канал 7 обеспечивает преобразование плоского воздушного потока, выходящего из бункера 1, в осесимметричный поток круглого сечения, поступающий в центробежный разрыватель.

Форма канала 7 соответствует условию линейного закона площадей поперечного сечения по длине канала. Образующие канала в плоскости

симметрии, параллельной длинной стороне прямоугольника выходного сечения из бункера 1, являются прямыми линиями.

Второй этап измельчения увлажнённого полотна целлюлозы осуществляется в центробежном разрывателе (рис.2.3), состоящем из двух камер 8 и 9, через которые проходит вал 18 ротора.

В нижней камере 9 на валу ротора 10 установлен диск 11 с прямоугольными лопатками 12, которые при вращении осуществляют подсос воздушно-го потока и вынос измельчённого волокнистого материала из разрывателя через выходной патрубок 13.

В верхней камере 8 на валу 10 установлен диск 14 с ножами 15. Диаметр диска 14 превышает диаметр отверстия 16, соединяющего камеры 8 и 9. Расстояние между нижней плоскостью диска 14 и перегородкой 17, разделяющей камеры 8 и 9 составляет 30 мм. Указанное расположение диска препятствует прямому переносу элементов полотна целлюлозы из бункера 1 (рис.2.2) в камеру 9. На внутренней поверхности камеры 8 расположены лопатки 18 прямоугольной формы.

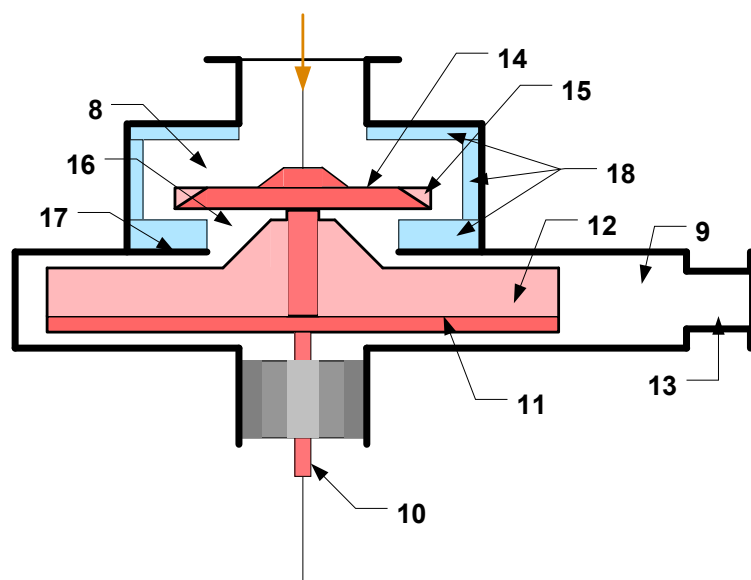


Рис.2.3. Центробежный разрыватель: 8,9 - камеры; 10 – ротор; 11, 14 – диски; 12 – прямоугольные лопатки; 13 – выходной патрубок; 15 – ножи; 16 – отверстие между камерами; 17 – перегородка; 18 – лопатки.

*Описание работы.* Увлажнённое полотно целлюлозы подаётся по патрубку 5 в зону контакта валиков 4. Вращающиеся валики 4 принудительно транспортируют полотно на вал 2, прямоугольные лопатки которого 3 ударяют по увлажнённому полотну. В результате ударов лопаток 3, благодаря их шахматному порядку расположения в двойном ряду, полотно разбивается на элементы (лепестки). Средний размер элементов определяется шириной лопаток 3 и расстоянием между ними, а также соотношением скорости вращения валиков 4 и вала 2. Соотношение скоростей вращения валиков 4 и вала 2 устанавливается регулированием независимых электроприводов вала 2 и валиков 4.

Элементы увлажнённого полотна целлюлозы отбрасываются лопатками 3 вала 2 в ту часть корпуса, которая имеет форму кривоосного канала и примыкает к патрубку 6. Под действием центробежной силы и дополнительного аэродинамического давления потока воздуха, поступающего через патрубок 6, элементы (лепестки) увлажнённого полотна целлюлозы поступают в диффузорно-конфузорный канал 7. По каналу 7 лепестки увлажнённого полотна поступают в камеру 8 центробежного разрывателя.

Вращение диска 14 с ножами 15 создаёт в камере 8 центробежного разрывателя осецентрированный вихрь, который увлекает лепестки увлажнённого полотна, отбрасывая их на лопатки 18. В результате ударов о ножи 15 и лопатки 18 лепестки измельчаются. Осецентрированный вихрь перемещает измельчаемые лепестки целлюлозы как по окружности вращения диска 14, так и по высоте камеры 8 (вдоль оси ротора). В результате многократных ударов лепестки увлажнённого полотна измельчаются до размера, который способен уноситься засасывающим потоком воздуха, создаваемым вращением диском 11 с прямоугольными лопатками 12 в камере 9. Измельчённые лепестки увлажнённого полотна поступают с потоком воздуха в камеру, откуда в виде аэровзвеси по тангенциальному патрубку 13 поступают на следующую операцию.

*Технологические параметры.* Для разрыва увлажнённого полотна на элементы при ударе о полотно лопаток 3 необходимо соблюдение следующего условия:

$$V = 2 \cdot \left[ A_{sp} \cdot \left( 1 + \frac{B}{L} \right) \cdot \frac{\lambda_f}{B} \right]^{1/2}, \quad (2.3)$$

где  $V$  - окружная скорость вращения кромки лопаток, м/с;

$A_{sp}$  - удельная работа разволокнения влажной целлюлозы, определяемая экспериментально,  $A_{sp} = 50$  дж/кг;

$B$  - ширина элемента полотна целлюлозы, приблизительно равная ширине лопатки, м;

$L$  - длина элемента полотна, м;

$\lambda_f$  - средняя длина волокон целлюлозы, м.

#### **2.4. Разделение измельчённой целлюлозы на отдельные волокна.**

*Описание конструкции.* Разделение измельченной целлюлозы на отдельные волокна осуществляется в специальном аппарате (рис. 2.4), состоящем из мельницы роторного типа – диспергатора 1, улитки 2 для подачи сушильного воздуха и отсасывающего устройства (на рис. 2.4 отсасывающее устройство не показано).

Диспергатор состоит из ротора, представляющего собой установленный на валу 3 диск 4, на котором расположены лопатки 5 с ножами 6. Ротор помещён в цилиндрический корпус 7, в котором по окружности расположены статорные элементы 8. Статорные элементы расположены таким образом, что между ними имеются каналы 9 для прохода сушильного воздуха. Поступающий через каналы 9 поток воздуха удаляется через патрубок 10. На патрубке 10 расположены статорные лопатки 11, обеспечивающие спрямление вращательного движения выходящего потока аэровзвеси.



Снаружи цилиндрического корпуса 7 установлена улитка 2 для равномерной подачи сушильного воздуха по каналам 9. Измельчённая до лепестков целлюлоза в виде аэровзвеси поступает в диспергатор по патрубку 12 и лопатками 15 подаётся в зону 13 активного механического воздействия.

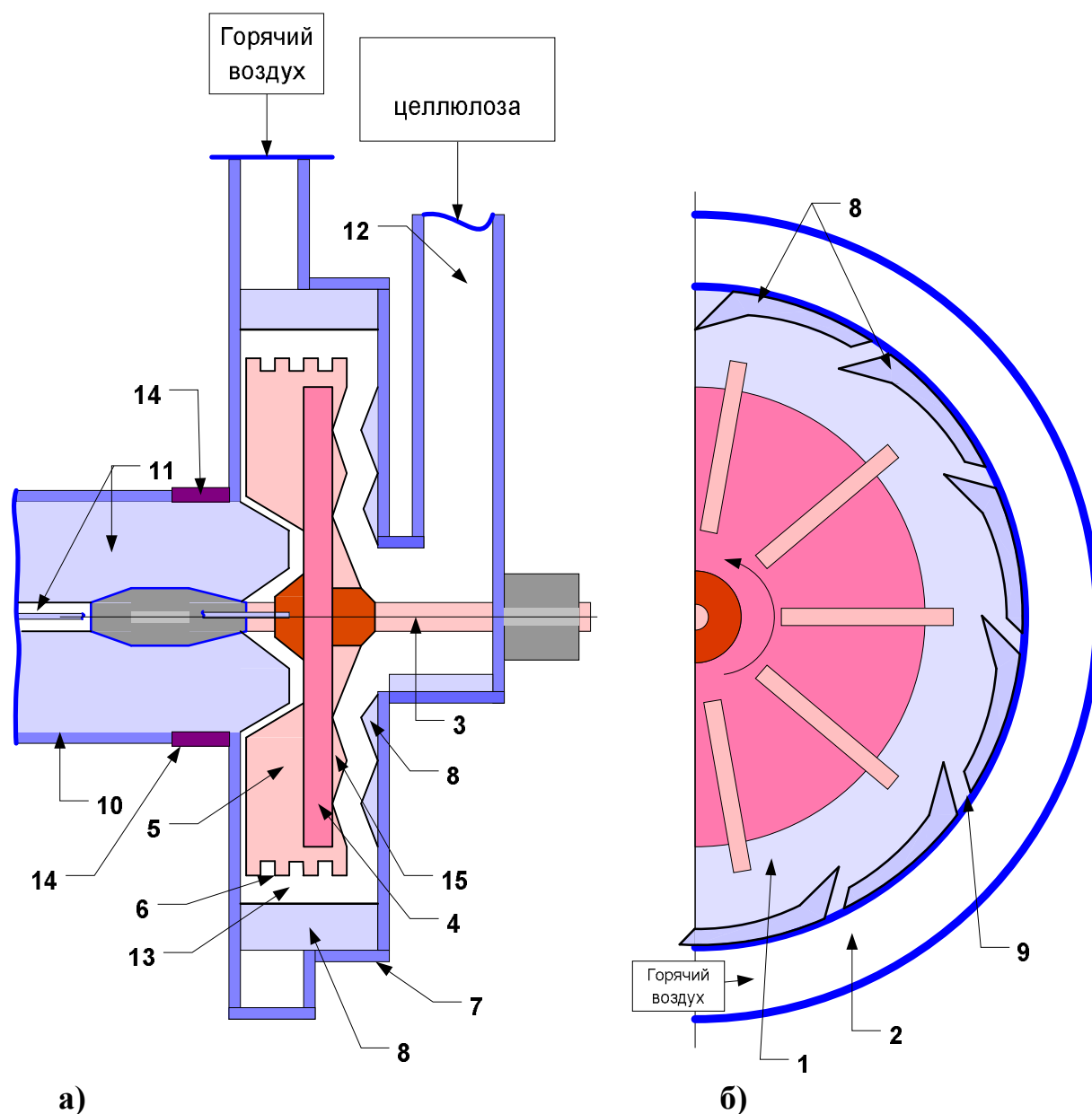


Рис.2.4. Схема диспергатора (а - вид сбоку, б - вид сверху): 1 – ротор; 2 – улитка для подачи воздуха; 3 – вал; 4 – диск; 5 – лопатки ротора; 6 – ножи; 7 – корпус диспергатора; 8 – статорные элементы; 9 – каналы для подачи воздуха; 10, 12 – патрубки; 11, 15 – лопатки; 13 – зона активного механического воздействия; 14 – теплоизоляционные вставки

Сохранение бумагообразующих свойств отдельных волокон, взвешенных в потоке воздуха, требует сохранения влажности волокон не менее 30 %. При этом конкретное значение влажности волокон определяется видом целлюлозы (лиственная, хвойная, сульфитная, сульфатная) и устанавливается экспериментально.

Для сохранения влажности взвешенных волокон необходимо обеспечить поддержание на всём пути транспортировки аэровзвеси относительной влажности воздуха в аэровзвеси не менее 97,5 %. Для этого следует исключить дополнительный нагрев аэровзвеси волокон, выходящей из зоны активного механического воздействия 13. Поскольку частицы находятся в зоне 13 незначительное время, то для эффективной сушки сушильный воздух нагревается до температуры не менее 70°C. При этом возможна неконтролируемая передача тепла от сушильного воздуха, поступающего в улитку 2, к аэровзвеси волокон, находящихся в патрубке 10, по теплопроводным частям корпуса диспергатора. Для предотвращения неконтролируемого перегрева аэровзвеси волокон в конструкции диспергатора предусмотрены теплоизоляционные вставки 14.

*Описание работы.* Вращение ротора вызывает вращение подаваемой в диспергатор измельчённой целлюлозы, которая под действием центробежных сил отбрасывается на статорные элементы 8. Форма статорных элементов 8 обеспечивает смещение частиц целлюлозы в направлении ножей 6 ротора.

В результате в кольцевом зазоре между статорными элементами 8 и внешним срезом ножей ротора образуется взвешенный слой измельчаемой целлюлозы, в котором частицы целлюлозы подвергаются ударам о ножи ротора 6 и статорные элементы 8.

На частицы целлюлозы действуют следующие силы:

- центробежные, обусловленные их вращением;
- удара о ножи ротора;

• аэродинамического давления потока сушильного воздуха, направление которого противоположно направлению центробежных сил.

Соударение лепестков измельчаемой целлюлозы с ножами 6 ротора и статорными элементами 8 приводит к разделению лепестков на отдельные волокна – разволокнению. Отдельные волокна под действием аэродинамического давления радиального потока воздуха удаляются из диспергатора через патрубок 10, а неразделённые частицы остаются в зоне 13 активного механического воздействия.

#### *Технологические параметры.*

1). Скорость разволокнения  $q_t$  (кг/сек) определяется следующей зависимостью:

$$q_t = k_d \cdot Q, \quad (2.4)$$

где  $Q$  - масса целлюлозы во взвешенном слое, кг, находящаяся в зоне активного механического воздействия;

$k_d$  - константа диспергирования, 1/сек, определяющая долю массы целлюлозы во взвешенном слое, разделяющейся на отдельные волокна в единицу времени;

$$k_d \approx 0,02 \cdot \lambda_f \cdot \sqrt{\frac{1 + u_i}{g_i \cdot BL} \cdot \frac{m_{st} \cdot m_{rot}}{m_{rot} - m_{st}} \cdot n_{rot}^2}, \quad (2.5)$$

где  $\lambda_f$  - средняя длина отдельных волокон целлюлозы;

$u_i$  - влагосодержание целлюлозы, поступающей в диспергатор, кг воды/ кг сухой целлюлозы;

$g_i$  - ускорение свободного падения, м/сек<sup>2</sup>;

$BL$  - разрывная прочность (разрывная длина), м влажной целлюлозы;

$m_{rot}$  - число лопаток ротора;

$m_{st}$  - число статорных элементов;

$n_{rot}$  - частота вращения ротора, 1/сек.

Скорость разволокнения пропорциональна величине общего объема зоны 13 активного механического воздействия и квадрату частоты вращения ротора. В зависимости от технологических требований и технических условий необходимая скорость разволокнения достигается подбором оптимального сочетания размеров зоны 13 диспергатора и частоты вращения ротора.

2). Скорость радиальной составляющей потока воздуха устанавливается из условия удаления из зоны 13 активного механического воздействия только отдельных волокон. Частицы целлюлозы, состоящие из 3-х волокон (пучок) остаются в зоне 13.

Скорость радиальной составляющей потока воздуха определяется следующим уравнением:

$$V_R = \frac{3 \cdot v_a}{1,18 \cdot d_f} \cdot \left[ \sqrt{1 + \frac{1,18 \cdot \pi}{18 \cdot v_a^2} \cdot d_f^3 \cdot \frac{\rho_f}{\rho_a} \cdot (2\pi \cdot n_{rot})^2 \cdot R_{rot}} - 1 \right], \quad (2.6)$$

где  $d_f$  - средний диаметр отдельных волокон целлюлозы;

$v_a$  - кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/сек;

$\rho_f$  - плотность влажных волокон целлюлозы, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_a$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

3). Поток воздуха, проходящий через диспергатор, обеспечивает сушку разделяемой на волокна целлюлозы. В результате сушки целлюлозы воздух насыщается парами испаряемой воды. Насыщение воздуха парами воды необходимо для сохранения влажности отдельных волокон в аэровзвеси в процессе её транспортировки в устройства для формования бумажного полотна.

Целлюлоза, поступающая в диспергатор, имеет влагосодержание, в среднем, 1 кг воды на 1 кг сухого волокна (50 %). Влагосодержание отдельных волокон в потоке аэровзвеси, выходящей из диспергатора, составляет, в среднем, 0.5 кг воды на 1 кг сухого волокна (33 %). В диспергаторе в про-

цессе разделения целлюлозы на отдельные волокна из одного кг сухой целлюлозы должно испариться 0,5 кг воды. Для обеспечения сушки целлюлозы необходимо соблюдение следующего баланса содержания воды в воздухе и целлюлозе:

$$q_t \cdot (U_{in} - U_{out}) = G_R \cdot (C_s - C_o), \quad (2.7)$$

где  $U_{in}$  - влагосодержание целлюлозы, поступающей в диспергатор, кг воды/кг волокна;

$U_{out}$  - влагосодержание отдельных волокон целлюлозы, выходящей из диспергатора в потоке аэрозвеси, кг воды/кг волокна;

$G_R$  - величина расхода воздуха, проходящего через диспергатор, м<sup>3</sup>/сек;

$C_s$  - концентрация насыщения паров воды в воздухе, кг/м<sup>3</sup>;

$C_o$  - концентрация паров воды в воздухе, поступающем в диспергатор, кг/м<sup>3</sup>.

Из уравнения (2.13) следует, что для сохранения влажности волокон в потоке аэрозвеси величина скорости разделения целлюлозы на отдельные волокна должна удовлетворять условию:

$$q_t \geq G_R \cdot \frac{C_s - C_o}{U_{in} - U_{out}}. \quad (2.8)$$

4). Температура сушильного воздуха,  $t_H$ , подаваемого в улитку 2, определяется тепловым балансом процесса сушки целлюлозы:

$$t_H = \frac{(0,24 + 0,47 X_s) t_a + 595 (X_s - X_o)}{0,24 + 0,47 X_0} + \frac{\frac{X_s - X_o}{U_{in} - U_{out}} (c_{p.c} + c_{p.w} \cdot U_{in})(t_a - t_o)}{0,24 + 0,47 X_0}, \quad (2.9)$$

где  $X_s$  - абсолютное влагосодержание воздуха, выходящего из диспергатора кг воды / кг воздуха;

$X_o$  - абсолютное влагосодержание воздуха, поступающего в диспергатор, кг воды / кг воздуха;

$t_a$  - температура аэровзвеси волокон целлюлозы, выходящей из патрубка  $10^\circ C$ ;

$t_o$  - температура влажной целлюлозы, поступающей в патрубок 12;

$c_{p.c}$  - теплоёмкость целлюлозы, ккал / кг  $^\circ C$ ;

$c_{p.w}$  - теплоёмкость воды, ккал / кг  $^\circ C$ .

5). Мощность, потребляемая в процессе измельчения целлюлозы на отдельные волокна, затрачивается на преодоление трения взвешенного слоя целлюлозы о поверхность элементов диспергатора в зоне 13 активного механического воздействия и на совершение работы разделения целлюлозы на отдельные волокна.

$$N = N_{fr} + N_{cr}, \quad (2.10)$$

где  $N_{fr}$  - мощность, затрачиваемая на преодоление трения (ватт);

$N_{cr}$  - мощность, затрачиваемая на совершение работы разделения целлюлозы на отдельные волокна (ватт);

$$N_{fr} = 0,28 \frac{\eta_{sl}}{\lambda_f} \cdot \frac{V_{rot} R_{rot}}{m_{rot}} \left( \frac{h_{gap}}{H_{bl}} + 0,42 \right) \sqrt{\frac{g_i BL}{1 + u_i}} q_t, \quad (2.11)$$

$$N_{cr} = 5 g_i BL \varepsilon_{cr} q_t, \quad (2.12)$$

где  $h_{gap}$  - расстояние между внешним срезом ножей лопаток ротора;

$H_{bl}$  - ширина лопаток ротора;

$\eta_{sl}$  - коэффициент трения скольжения целлюлозы о металлические поверхности элементов диспергатора в зоне активного механического воздействия;

$V_{rot}$  - окружная скорость вращения внешнего среза ножей (6) лопаток ротора;

$R_{rot}$  - радиус внешнего среза ножей 6 лопаток ротора;

$\varepsilon_{cr}$  - предельная деформация растяжения целлюлозы.

## **2.5. Формирование потока аэровзвеси с равномерным распределением волокон целлюлозы по ширине формуемого полотна бумаги**

*Описание конструкции.* Массоподающее устройство (рис. 2.5) содержит цилиндрический ротор 1 с рядами прямых лопаток 2, расположенных в шахматном порядке. Ротор 1 заключен в корпус 3, выполненный в виде улитки с патрубками входа 4 с конфузorno-диффузорными переходами и одним патрубком - выходом 5, который является массоподающим каналом. Количество входных патрубков 4 определяется числом отдельных потоков аэровзвеси волокон или частиц минерального наполнителя, поступающих из мельниц. Выходной патрубок 5 имеет в зоне присоединения к корпусу 3 колено 6, поворачивающее выходной поток на  $180^\circ$ .

*Описание работы.* Потоки аэровзвеси подаются вентиляторами из мельниц во входные патрубки 4 массоподающего устройства. Перемещаясь по диффузорно-конфузорным переходам патрубка 4, отдельные потоки расширяются в направлении, перпендикулярном направлению движения, и сливаются в один поток  $G_1$ , движущийся по улитке 3 к выходному патрубку 5. По ходу движения потоки огибают вращающийся цилиндр 1. Лопатки 2 цилиндра 1 вовлекают часть общего потока  $G_1$  в циркуляционный поток  $G_2$ , вращающийся вокруг цилиндра 1. Перепад статического давления, создаваемый лопатками 2, порождает дополнительные циркуляционные потоки  $G_3$  вокруг этих лопаток: межлопаточные вихри, которые обеспечивают интенсивное перемешивание аэровзвеси волокон в объеме основного  $G_1$  и циркуляционного  $G_2$  потоков. Поворот основного потока в колене 6 выходного патрубка 5 препятствует переносу в выходной патрубок сгустков волокон,

которые могут образовываться при перемещении аэровзвеси из диспергатора. Благодаря действию центробежных сил сгустки волокон увлекаются циркуляционным потоком  $G_2$  и разрушаются при соударении с лопатками 2 ротора 1.

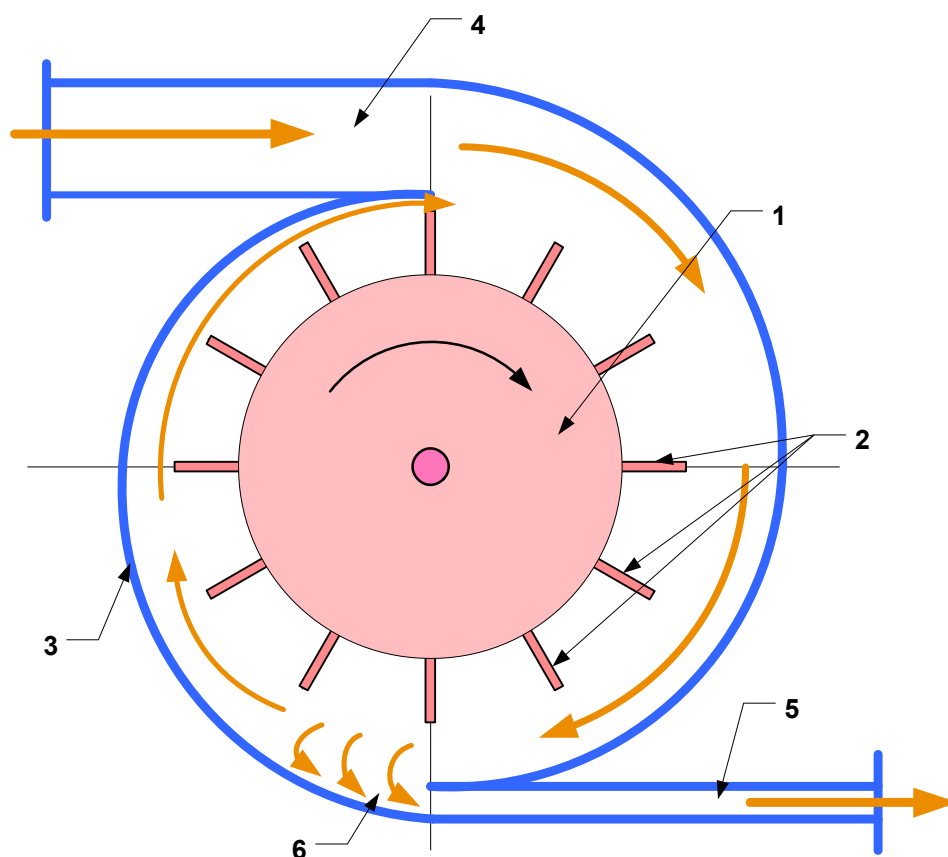


Рис.2.5. Массоподающее устройство: 1 – ротор; 2 – лопатки; 3 – корпус; 4, 5 – входной и выходной патрубки, 6 – колено

*Технологические параметры.* Интенсивность перемешивания волокон аэровзвеси в рабочем объёме массоподающего устройства определяется величиной средней скорости воздуха  $V_3$  в межлопаточных вихрях:

$$V_3 \approx \pi n R_z \left( \frac{R_{bl}^2}{R_z^2} - 1 \right)^{1/2}, \quad (2.13)$$

где  $n$  - частота вращения цилиндра 1, 1/сек;



$R_z$  - радиус цилиндра 1 м;

$R_{bl}$  - радиус внешнего среза лопаток 2, м.

Для обеспечения интенсивного перемешивания аэровзвеси волокон необходимо соблюдать следующее условие:

$$V_3 \geq 0,015 \left[ \frac{(2 \pi n R_{bl})^{2/1,45}}{R_1^{1/1,45}} \right], \quad (2.14)$$

$$V_3 \geq 0,015 \left[ (2 \pi n)^{2/1,45} R_{bl}^{1/1,45} \right], \quad (2.15)$$

где  $R_1$  - радиус улитки (корпуса) в зоне слияния в один поток  $G_1$  отдельных потоков, поступающих во входные патрубки 4.

Соблюдение данных условий обеспечивает интенсивное перемешивание аэровзвеси целлюлозных волокон как в циркуляционном, так и в общем потоке.

Величина основного потока  $G_1$ , выходящего из массоподающего устройства, определяется материальным балансом процесса формования бумажного полотна:

$$G_1 = \frac{q_o V_F H_F}{C_f}, \quad (2.16)$$

где  $q_o$  - масса квадратного метра формируемого бумажного полотна, кг/м<sup>2</sup>;

$V_F$  - скорость движения формирующей сетки, м/с;

$H_F$  - ширина формируемого полотна бумаги, м;

$C_f$  - концентрация волокон целлюлозы в аэровзвеси, поступающей из мельниц, кг/м<sup>3</sup>;

Соотношение величин циркуляционного и основного потоков определяется формулой:

$$\frac{G_2}{G_1} = \frac{R_{bl} \left[ 1 - \left( \frac{R_z}{R_{bl}} \right)^2 \right]}{2 h_{can}}, \quad (2.17)$$

где  $h_{can}$  - высота выходного патрубка, м.

### 2.6. Формование слоя волокон целлюлозы на формующей сетке

*Описание устройства.* Формование слоя волокон осуществляется в формующем устройстве (рис. 2.6) на движущейся сетке, пересекающей под углом поток аэровзвеси волокон целлюлозы.

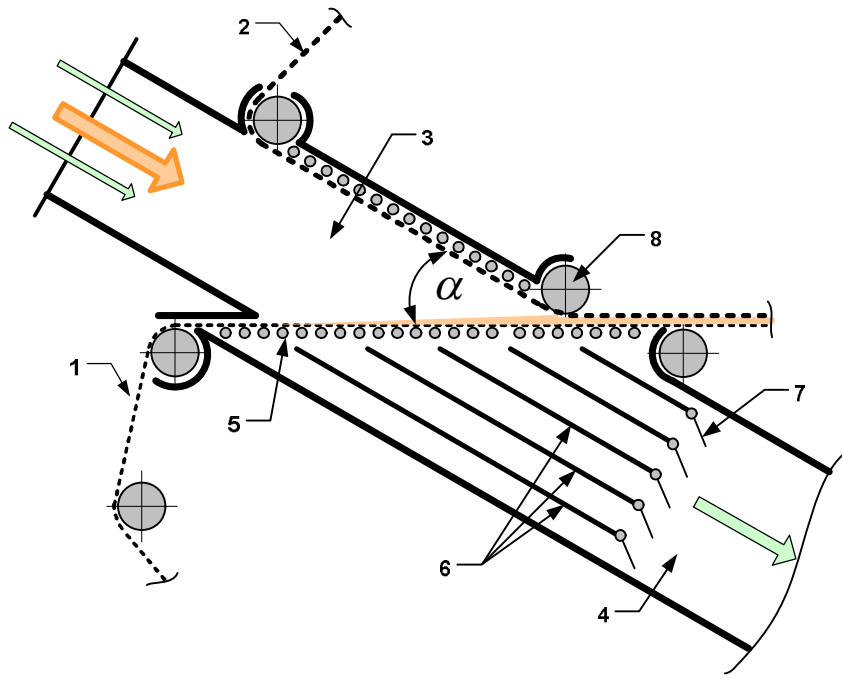


Рис.2.6. Формующее устройство: 1,2 – сетки; 3,4 – первая и вторая части формующего устройства; 5 – решетка; 6 – пластины заслоночного устройства; 7 – заслонки; 8 – сетководущий валик

Формующее устройство состоит из стенок, образующих аэродинамический канал. В формующем устройстве движутся две сетки 1 и 2. Формование слоя волокон осуществляется на сетке 1, которая пересекает формующее устройство под определённым углом  $\alpha$  к потоку аэровзвеси. При этом сетка 1 делит формующее устройство на две части 3 и 4. Первая часть 3 формующе-

го устройства является продолжением массоподающего канала и служит для подачи потока аэровзвеси на формующую сетку 1. Величина угла  $\alpha$  наклона сетки 1 к направлению потока аэровзвеси определяется скоростью перемещения сетки, величиной массы квадратного метра формуемого слоя, концентрацией волокон целлюлозы в объёме поступающего на сетку потока аэровзвеси.

Вторая часть формующего устройства представляет собой воздухоотборный ящик 4, соединённый с вытяжным вентилятором, и служит для отвода профильтрованного через формуемый слой и сетку потока воздуха.

Воздухоотборный ящик имеет решетку 5, составленную из круглых стержней (проволок), на которую опирается движущаяся сетка 1.

Воздухоотборный ящик разделён плоскими горизонтальными пластинами 6 на каналы с изменяющейся вдоль высоты воздухоотборного ящика 4 длиной. Изменение длины этих каналов определено условием постоянства суммарного аэродинамического сопротивления канала, сетки 1, решетки 5 и слоя волокон на сетке перед каналом, т.е. постоянства суммарного аэродинамического сопротивления вдоль формуемого на сетке слоя волокон. Это обеспечивает однородность потока аэровзвеси по высоте формующего устройства в зоне 3.

Для более точного регулирования аэродинамического сопротивления вдоль формуемого слоя волокон и, следовательно, обеспечения высокой однородности потока аэровзвеси, в каналах установлены специальные устройства 7 заслоночного типа, поворот которых меняет сопротивление канала.

Увеличение количества каналов способствует повышению однородности потока аэровзвеси перед сеткой 1 и ограничивается только возможностями монтажа пластин и заслоночных устройств 7.

По горизонтальной стенке части 3 формующего устройства перемещается сетка 2, ширина которой равна ширине формующей сетки 1. Сетки 1 и 2 соединяются на сетководущем валике 8, покрывая с обеих сторон сформированный на сетке 1 слой волокон.

*Описание работы.* Аэровзвесь волокон целлюлозы поступает на сетку 1 формующего устройства из массоподающего устройства (гомогенизатора). При прохождении потока аэровзвеси через формующую сетку волокна целлюлозы осаждаются на нитях сетки. Отфильтрованный через слой осаждаемых волокон и сетку воздух поступает в воздухоотборный ящик 4 формующего устройства и удаляется вытяжным вентилятором. Массоподающее устройство и вытяжной вентилятор обеспечивают перепад статического давления, необходимый для переноса аэровзвеси на сетку, фильтрации воздушного потока через слой осаждающихся на сетке волокон, сетку и решетку 5, а также для прохождения потока воздуха через воздухоотборный ящик 4. Формующийся слой волокон удерживается на сетке 1 силой аэродинамического давления потока воздуха, проходящего через сформованный слой и сетку. Для предотвращения сдвига элементов сформованного слоя волокон вдоль плоскости сетки, который может происходить под действием потока воздуха, устанавливается оптимальное соотношение величин скорости перемещения сетки, скорости движения потока аэровзвеси волокон и угла наклона сетки к направлению потока, поступающего на сетку 1.

Формующая сетка переносит слой осаждающихся на ней волокон к сетководущему валику 8, где сформированный слой покрывается сеткой 2. Сетками 1 и 2 сформованный слой транспортируется в устройство, осуществляющее дополнительное увлажнение слоя и его прессование.

### ***Технологические параметры***

*1. Ориентация потока аэровзвеси волокон относительно формующей сетки.* Формование слоя волокон осуществляется на наклонной сетке, пересекающей поток аэровзвеси под углом  $\alpha$ .

Вектор скорости  $V$  потока воздуха, фильтрующегося через формируемый слой волокон и сетку 1, может быть представлен как векторная сумма двух составляющих скоростей:

$V_N$  - составляющая скорости потока воздуха, перпендикулярная плоскости сетки, м/с;

$V_t$  - составляющая скорости потока воздуха, параллельная плоскости сетки, м/с.

Каждая из составляющих вектора скорости определяет соответствующую составляющую вектора силы аэродинамического давления, действующего на элемент волокнистого слоя, осаждённого на сетку, например, в точке А.

Составляющая вектора силы, перпендикулярная плоскости сетки  $F_N$ , прижимает элемент волокнистого слоя к нитям сетки. Составляющая вектора силы, параллельная плоскости сетки  $F_t$ , может вызвать сдвиг элемента волокнистого слоя вдоль плоскости сетки. Сдвиг элемента волокнистого слоя порождает неоднородность толщины формируемого волокнистого слоя (образование «барханов»).

Для предотвращения сдвига элементов волокнистого слоя вдоль плоскости сетки необходимо соблюдение следующего условия:

$$F_t \leq \eta F_N, \quad (2.18)$$

где  $\eta$  - коэффициент трения скольжения волокон о нити сетки.

Составляющая вектора силы аэродинамического давления, параллельная плоскости сетки, пропорциональна квадрату разности скоростей движения сетки  $V_{net}$  и составляющей скорости потока воздуха  $V_t$ :

$$F_t = \frac{C_w S_f \rho_a (V_t - V_{net})^2}{2}, \quad (2.19)$$

где  $C_w$  - коэффициент аэродинамического сопротивления элемента волокнистого слоя;

$S_f$  - площадь поперечного сечения волокон в элементе волокнистого слоя, обтекаемых потоком воздуха, м<sup>2</sup>;

$\rho_a$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Составляющая вектора силы  $F_N$ , перпендикулярная плоскости сетки, определяется как

$$F_N = \frac{C_w S_f \rho_a V_N^2}{2}. \quad (2.20)$$

Учитывая, что  $V_t = V \cos \alpha$  и  $V_N = V \sin \alpha$ , из неравенства (2.18) следует допустимый диапазон значений угла наклона плоскости сетки к направлению потока аэровзвеси:

$$\arctg \frac{V_N}{V_{net} - \sqrt{\eta} V_N} \geq \alpha \geq \arctg \frac{V_N}{V_{net} + \sqrt{\eta} V_N}. \quad (2.21)$$

Составляющая скорости потока воздуха, перпендикулярная плоскости сетки  $V_N$ , представляет собой скорость фильтрации воздуха через формуемый волокнистый слой и сетку.

Величина  $V_N$  ограничивается величиной аэродинамического сопротивления волокнистого слоя и сетки. Экспериментально установлена следующая зависимость аэродинамического сопротивления слоя волокон целлюлозы от величины удельного веса слоя  $q_o$  г/м<sup>2</sup> и скорости фильтрации воздушного потока:

$$\Delta P_{sh} = 9.81 \cdot (0.468 + 0.046 \cdot q_o - 7.81 \cdot 10^{-5} \cdot q_o^2) \cdot V_N^2, \quad (2.22)$$

где  $\Delta P_{sh}$  - аэродинамическое сопротивление слоя волокон, н/м<sup>2</sup>.

Допустимая величина перепада давления по толщине волокнистого слоя и сетки 1 определяется величиной разрежения, которую может обеспечить промышленный вытяжной вентилятор, удаляющий воздух под сеткой, а также возможной степенью герметизации канала подачи аэровзвеси и воздухоотборного ящика. Экспериментально установлено, что величина скорости фильтрации  $V_N$  должна лежать в диапазоне 2,5 – 5,0 м/с.

Длина сетки  $L_{net}$  в формующем устройстве определяется следующей зависимостью, вытекающей из материального баланса процесса формования полотна бумаги:

$$L_{net} = \frac{q_o}{C_f} \cdot \frac{V_{net}}{V_N}, \quad (2.23)$$

где  $C_f$  - концентрация волокон целлюлозы в потоке воздуха, поступающего в формующее устройство, кг/м<sup>3</sup>.

Высота канала  $h_{can}$ , соединяющего массоподающее устройство с формующим устройством, равна:

$$h_{can} = L_{net} \cdot \sin \alpha. \quad (2.24)$$

2. *Дополнительные технические средства, обеспечивающие равномерное распределение волокон на сетке.* Для обеспечения однородности потока аэрозвеси волокон целлюлозы по высоте  $h_{can}$  массоподающего канала необходимо компенсировать возрастающее по ходу сетки аэродинамическое сопротивление волокнистого слоя. Это достигается с помощью установленных за сеткой пластин б, образующих каналы различной длины. Длина каналов выбирается такой, чтобы полное сопротивление канала, сетки и участка волокнистого слоя на сетке перед каналом было постоянным вдоль формующей сетки. Постоянство сопротивления обеспечивается с точностью, достаточной для практики.

Аэродинамическое сопротивление канала определяется следующей формулой:

$$\Delta P_{can} = \frac{\lambda \cdot L_i \cdot \left( \frac{B_{can}}{H_{sh}} + 1 \right) \cdot \rho_a \cdot V_i}{4 \cdot B_{can}}, \quad (2.25)$$

где  $\lambda$  - коэффициент сопротивления канала;

$L_i$  - длина  $i$ -того канала, м;

$B_{can}$  - высота канала, м;

$V_i$  - скорость воздуха в канале, м/с.

Если каналы установлены под тем же углом к плоскости сетки, что и массоподающий канал, то скорость воздуха в них определяется как

$$V_i = \frac{V_N}{\sin \alpha} . \quad (2.26)$$

Сопротивление волокнистого слоя по ходу сетки возрастает по закону:

$$\Delta(\Delta P) = 0,046 \cdot \frac{q_o}{L_{net}} \cdot V_N^2 \cdot \Delta X , \quad (2.27)$$

где  $X$  - координата вдоль сетки, м.

Из соотношений (2.31), (2.32) и (2.33) следует зависимость необходимого изменения длины каналов:

$$\Delta L_i = 0,184 \cdot B_{can} \cdot \frac{(\sin \alpha)^2}{\lambda \cdot \rho_a} \cdot \frac{q_o}{L_{net}} \cdot \Delta X . \quad (2.28)$$

## 2.7. Формование полотна картона, писчей, печатной и других видов плотной бумаги.

*Описание конструкции.* Необходимые деформационно-прочностные свойства картона, писчих и печатных видов бумаги, изготавливаемых аэродинамическим методом, достигаются за счёт двух основных факторов:

- сохранение в процессе подготовки аэровзвеси и аэроформования бумажного полотна «связанной» воды в волокнах целлюлозы (влажность не менее 30 %);
- увлажнение сформованного полотна картона или бумаги до влажности 65 – 70 %, обеспечивающее смачивание поверхности волокон в структуре полотна «свободной» межволоконной водой.

Увлажнение осуществляется прессованием на вальцовом прессе волокнистого слоя, помещённого между влажным прессовым сукном 13 и покровной сеткой 3 (рис.2.7).



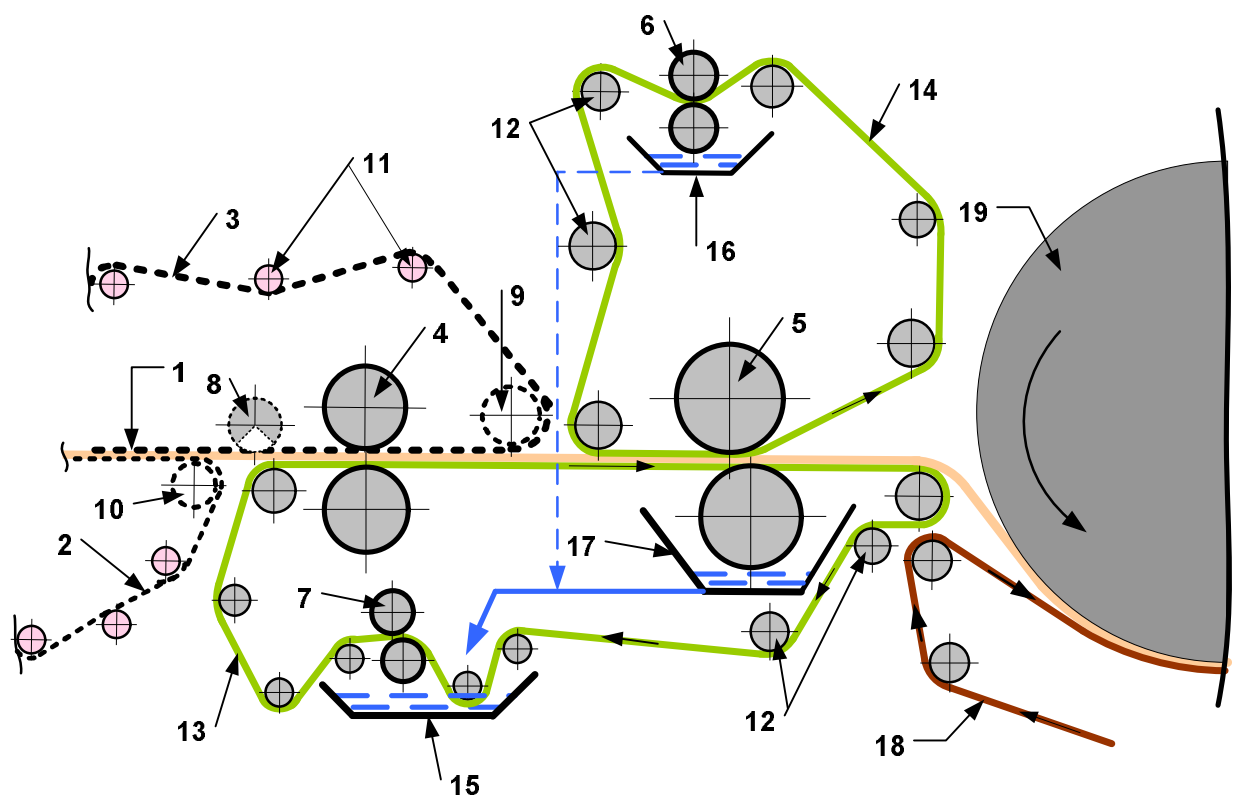


Рис.2.7. Схема прессовой части: 1 – слой волокон; 2,3 – формующая и покрывная сетки; 4,5,6,7 – вальцовые прессы; 8 – пересасывающий вал; 9,10 – перфорированные валы; 11,12 – сукноведущие валики; 13,14 – прессовые сукна; 15 – увлажняющая ванна; 16,17 – ванны для сбора воды; 18 – сушильное сукно; 19 – Янки-цилиндр

Нити покрывной сетки имеют в узлах переплетения плоские участки, чтобы исключить образование на поверхности полотна бумаги необратимого рельефа. Покровная сетка необходима для предотвращения разрыва увлажняемого волокнистого слоя потоком воды, выдавливаемой из влажного сукна.

Увлажнённый слой волокон перед поступлением на сушильные цилиндры (сушильная часть бумагоделательной машины) дополнительно прессуется между двух прессовых сукон на втором вальцовом прессе.

Прессовая часть состоит из вальцовых прессов 4, 5, 6, 7; пересасывающего вала 8; перфорированных валов 9, 10; сетководущих валиков 11; сукноведущих валиков 12; накладной сетки 3; прессовых сукон 13, 14;

ванны 15 для увлажнения прессового сукна 13; ванн 16, 17 для сбора воды, отжимаемой из прессовых сукон 13, 14.

*Описание работы.* Слой волокон 1 с помощью формующей сетки 2 и покровной сетки 3 подаётся в зону перфорированного вала 10 и пересасывающего вала 8, где от волокнистого слоя 1 отделяется формующая сетка 2.

Слой волокон 1, остающийся на покровной сетке 3, с помощью сукноведущего валика 12 помещается на влажное прессовое сукно 13. Сеткой 3 и прессовым сукном 13 слой волокон подаётся в вальцовый пресс 4.

На первом участке зоны прессования (от точки входа системы «прессовое сукно – слой волокон – покровная сетка» в зону прессования до точки наибольшего сжатия) из влажного прессового сукна 13 выжимается вода. Отжатая из сукна, вода фильтруется через волокнистый слой в покровную сетку, заполняя свободное межволоконное пространство в слое волокон и свободное пространство в ячейках покровной сетки. Наличие покровной сетки позволяет исключить противодействие воздуха, находящегося в межволоконном пространстве волокнистого слоя. Вода, отжимаемая из влажного сукна, вытесняет воздух из слоя волокон в покровную сетку. В результате вода фильтруется преимущественно поперёк волокнистого слоя, что полностью предотвращает возможность разрыва слоя продольными потоками воды.

На втором участке зоны прессования (точки наибольшего сжатия системы «прессовое сукно – слой волокон – покровная сетка» до точки выхода из зоны прессования) прессовое сукно и слой волокон под действием накопленных внутренних напряжений расширяются. При этом вода из ячеек покровной сетки перемещается в направлении сукна, заполняя увеличивающийся межволоконный объём в расширяющемся волокнистом слое.

Покровная сетка с помощью перфорированного вала 9 отделяется от увлажнённого волокнистого слоя, который прессовым сукном 13 подаётся в вальцовый пресс 5.

Перед подачей в пресс 5 влажный слой волокон с помощью сукноведущего валика 12 покрывается вторым прессовым сукном 14.

В прессе 5 осуществляется глубокий отжим волокнистого слоя до сухости 45 – 55 %. Величина сухости слоя волокон, достигаемая в прессе, зависит от компрессионных свойств (степень сжимаемости) прессовых сукон 13, 14.

Прессовое сукно 14 перед подачей его на влажный волокнистый слой дополнительно отжимается на вальцовом прессе 6. Это способствует повышению сухости слоя волокон при прессовании на вальцовом прессе.

Использование прессового сукна 14 в прессе 5 зависит от требований, предъявляемых к изготавливаемому волокнистому материалу. При изготовлении бумаги с высокой степенью гладкости поверхности, слой волокон не покрывается вторым прессовым сукном 14. Верхний вал пресса контактирует непосредственно с поверхностью волокнистого слоя. При этом устраняется возможность повышенной шероховатости поверхности волокнистого слоя, контактировавшей с покровной сеткой 3.

Из пресса 5 слой волокон транспортируется прессовым сукном 13 на сушильный цилиндр 19. Передача волокнистого слоя на сушильный цилиндр осуществляется с помощью сукноведущего валика 12 и сушильного сукна 18. Сушка волокнистого слоя осуществляется так же, как и в традиционной технологии изготовления бумаги.

Вода, отжатая из прессовых сукон 13, 14, собирается в ванны 16 и 17, из которых вода подаётся (стекает) в ванну 15 для увлажнения прессового сукна 13. Над увлажняющей ванной 15 установлен вальцовый пресс 7. Пресс 7 необходим для регулирования влажности прессового сукна 13, обеспечивающего увлажнение волокнистого слоя 1.

При изготовлении бумаги, содержащей в качестве гидрофобизатора натриевую соль смоляных кислот, в ванну 15 подаётся раствор сернокислого алюминия, обеспечивающий необратимую фиксацию гидрофобизатора на

поверхности волокон в процессе увлажнения волокнистого слоя 1 на вальцовом прессе 4.

*Технологические параметры.* Скорость  $V_{filtr}$  перемещения воды в свободном межволоконном объёме слоя волокон зависит от величины гидростатического давления, действующего на волокнистый слой:

$$V_{filtr} = \frac{K_f}{\mu_w} \cdot \frac{P_h}{h_y}, \quad (2.29)$$

где  $K_f$  - коэффициент фильтрации, характеризующий сопротивление волокнистого слоя процессу течения воды в межволоконном объёме, м<sup>2</sup>;

$P_h$  - гидростатическое давление, н/м<sup>2</sup>;

$h_y$  - толщина волокнистого слоя, межволоконный объём которого заполнен водой (толщина пропитки), м.

Величина  $h_y$  в уравнении (2.35) представляет собой только часть общей толщины  $h_{sh}$  увлажняемого волокнистого слоя. Полное увлажнение слоя достигается при условии:  $h_y = h_{sh}$  и определяется следующей зависимостью:

$$h_{sh} = \sqrt{\frac{2 \cdot K_f}{\mu_w \cdot V_p} \cdot P_h}, \quad (2.30)$$

где  $V_p$  - скорость перемещения слоя волокон вдоль зоны прессования (скорость бумагоделательной машины), м/с.

Коэффициент фильтрации  $K_f$  уменьшается с увеличением плотности волокнистого слоя и зависит от направления течения воды (вдоль или поперёк волокнистого слоя).

Величина коэффициента фильтрации при течении воды поперёк волокнистого слоя зависит от плотности волокнистого слоя и определяется следующей функцией:

$$K_{f.y} = 4,33 \cdot 10^{-14} \cdot \left( \frac{\rho_f}{\rho_{sh}} - 1 \right) - 2,55 \cdot 10^{-15}, \quad (2.31)$$

где  $\rho_f$  - удельный вес (плотность) волокон, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{sh}$  - удельный вес (плотность) волокнистого слоя, кг/м<sup>3</sup>.

Величина коэффициента фильтрации при течении воды вдоль волокнистого слоя

$$K_{f.x} = 10^{-24} \cdot \left( 2,82 \cdot 10^{13} \right)^{\left( 1 - \rho_{sh} / \rho_f \right)}. \quad (2.32)$$

Предотвращение разрыва волокнистого слоя продольным потоком воды определяется следующим условием:

$$\frac{K_{f.x}}{K_{f.y}} \leq \sqrt{\eta_{sl.f}}, \quad (2.33)$$

где  $\eta_{sl.f}$  - коэффициент взаимного трения скольжения волокон целлюлозы,

$$\eta_{sl.f} = 0,25.$$

Условие (2.39) соблюдается при плотности волокнистого слоя выше 290 кг/м<sup>3</sup>.

Плотность волокнистого слоя, транспортируемого формующей сеткой 2 из формующего устройства, равна приблизительно 50 кг/м<sup>3</sup>. Отсюда следует, что режим увлажнения волокнистого слоя прессованием на вальцовом прессе 4 должен обеспечивать:

- 1) уплотнение волокнистого слоя до 290 кг/м<sup>3</sup> в начале первого участка зоны прессования без выдавливания воды из прессового сукна 13;
- 2) насыщение волокнистого слоя водой, выдавливаемой из прессового сукна 13, при повышении плотности слоя от 290 до 400 кг/м<sup>3</sup>.

Данный режим может быть реализован при использовании на прессе 4 прессового сукна 13, компрессионная характеристика которого достаточно хорошо для практического применения описывается следующей функцией:

$$h_{f.i} = \frac{q_f}{\rho_{th}} \cdot \left[ \frac{2}{(P_{pr} + 0,068)^{0,25}} + 0,084 \right], \quad (2.34)$$

где  $h_{f.i}$  - толщина прессового сукна, м;

$q_f$  - удельный вес прессового сукна, кг/м<sup>2</sup>;

$\rho_{th}$  - плотность нитей сукна, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{th} \approx 1300$  кг/м<sup>3</sup>;

$P_{pr}$  - давление сжатия прессового сукна, МПА.

Величина влажности прессового сукна 13, поступающего в вальцовый пресс 4 после отжима на вальцовом прессе 7, должна лежать в диапазоне 60 – 62 %.

Величина линейного давления в вальцовом прессе 4, обеспечивающего необходимый режим прессования при скорости бумагоделательной машины до 2000 м/мин, определяется следующим уравнением:

$$P_{line} = 14 \cdot \sqrt{2 \cdot R_o \cdot q_f}, \quad (2.35)$$

где  $P_{line}$  - линейное давление, кг/м;

$R_o$  - радиус прессовых валов вальцового пресса 4, м;

$q_f$  - вес квадратного метра прессового сукна 13, кг/м<sup>2</sup>.

Величина линейного давления в вальцовом прессе 5, предназначенного для обезвоживания и уплотнения слоя волокон, должна лежать в диапазоне

$$P_{line} = (45 \div 50) \cdot \sqrt{2 \cdot R_1 \cdot q_{2f}}, \quad (2.36)$$

где  $R_1$  - радиус прессовых валов пресса 5, м;

$q_{2f}$  - вес квадратного метра двух прессовых сукон 13 и 14, кг/м<sup>2</sup>.

## 2.8. Формование полотна бумаги санитарно-гигиенического назначения

*Описание конструкции.* Сочетание механической прочности и высокой впитывающей способности бумаги достигается за счёт создания в волокни-

стом слое регулярного рельефа, состоящего из участков с различной плотностью укладки волокон.

Для создания рельефа слой волокон прессуется на вальцовом прессе (рис. 2.8) между двумя сетками: профилирующей 2 и увлажняющей 8. Нити профилирующей сетки имеют в узлах переплетения плоские участки, которые при прессовании уплотняют участки волокнистого слоя до плотности  $700 - 750 \text{ кг/м}^3$ . В ячейках между нитями профилирующей сетки образуются участки с пониженной плотностью, порядка  $100 \text{ кг/м}^3$ .

Увлажняющая сетка 8, ячейки которой заполнены водой, обеспечивает в процессе прессования необходимое увлажнение уплотняемого слоя волокон.

Прессовая часть состоит из вальцового пресса 3; пересасывающих валов 4, 5, 6, 7; сетководущих валиков 10; профилирующей сетки 2; увлажняющей сетки 8; ванны 9 для заполнения ячеек увлажняющей сетки 8 водой.

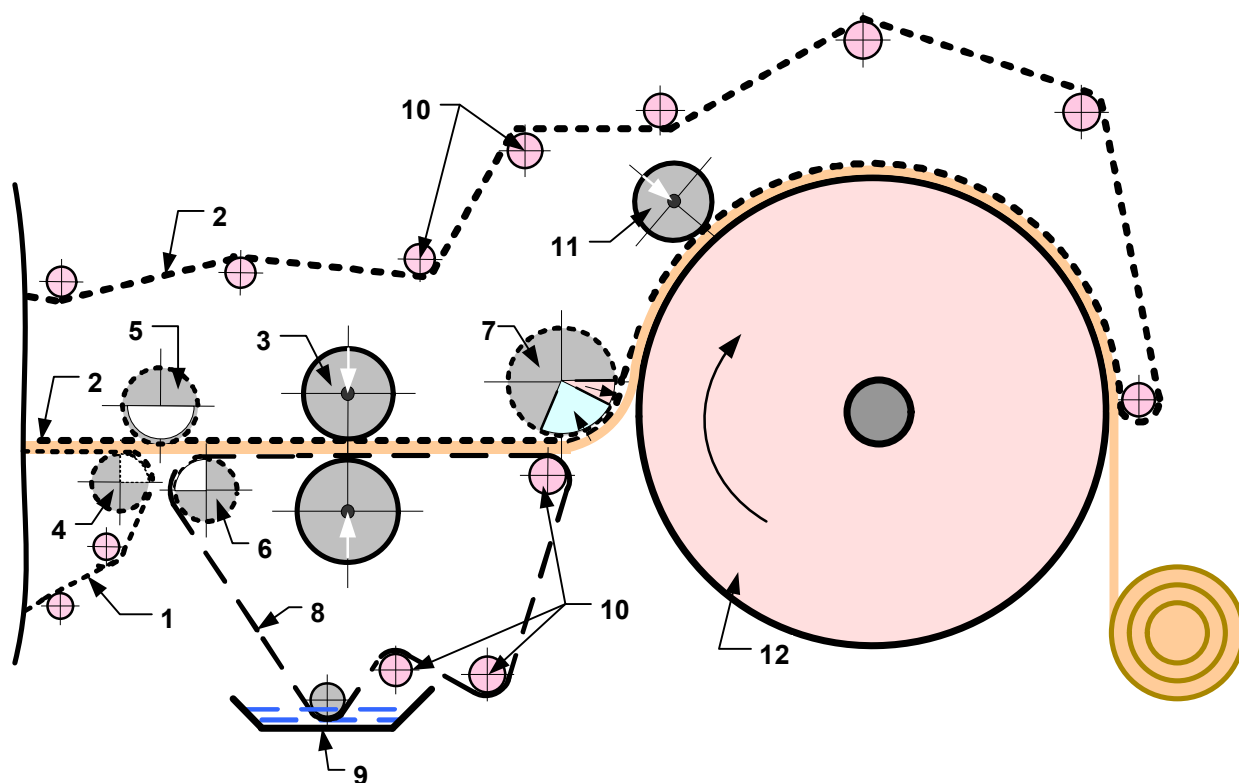


Рис. 2.8. Схема прессовой части при формировании бумаги санитарно-гигиенического назначения: 1 – формующая сетка; 2,8 – профилирующая и увлажняющая сетки; 3 – вальцовый пресс; 4, 5, 6, 7 – пересасывающие валы; 9 – ванна для увлажнения сетки; 10 - сетководущие валики; 11 – прессовый вал; 12 – Янки-цилиндр

*Описание работы.* Слой волокон с помощью формирующей сетки 1 и профилирующей сетки 2 подаётся в зону пересасывающих валов 4, 5, 6, где от волокнистого слоя отделяется формирующая сетка. Слой волокон, остающийся на профилирующей сетке 2, с помощью пересасывающих валов 5 и 6 переносится на увлажняющую сетку 8. Сетками 2 и 8 слой подаётся в вальцовый пресс 3.

В начальном участке зоны прессования плотность всего слоя возрастает до  $80 - 100 \text{ кг/м}^3$ . Участки волокнистого слоя, расположенные в ячейках профилирующей сетки 5, сохраняют эту величину плотности вдоль всей зоны прессования. Участки волокнистого слоя, расположенные под плоскими участками нитей профилирующей сетки 2, уплотняются по мере перемещения слоя вдоль зоны прессования. При достижении уплотняемыми участками волокнистого слоя плотности выше  $100 \text{ кг/м}^3$ , давление капиллярного впитывания свободной межволоконной воды слоем волокон становится равным давлению капиллярного впитывания ячейками увлажняющей сетки 8. Вода из ячеек увлажняющей сетки 8 поступает в уплотняемые участки слоя волокон. При дальнейшем уплотнении этих участков свободная межволоконная вода через рыхлые участки волокнистого слоя перемещается в ячейки увлажняющей сетки 8.

Увлажняющая сетка 8 с помощью пересасывающего вала 7 отделяется от увлажнённого слоя волокон. Волокнистый слой, покрытый профилирующей сеткой 2, с помощью пересасывающего вала 7 подаётся на Янки-цилиндр 12.

Волокнистый слой, расположенный между профилирующей сеткой 2 и горячей поверхностью Янки-цилиндра, дополнительно уплотняется прессовым валом 11. При прессовании волокнистого слоя на Янки-цилиндре та часть межволоконной воды, которая переместилась из рыхлых участков в уплотнённые участки, вновь выдавливается в разрыхлённые участки волокнистого слоя и испаряется.



При уплотнении и сушке волокнистого слоя на Янки-цилиндре фиксируется структура бумажного полотна. По мере испарения воды из волокнистого слоя в уплотнённых участках образуются межволоконные связи, обеспечивающие механическую прочность полотна бумаги санитарно – гигиенического назначения.

*Технологические параметры.* Общая прочность листа рельефной бумаги при растяжении определяется участками, плотность которых составляет 700 – 750 кг/м<sup>3</sup>, и равна:

$$F = k_n \cdot F_n \cdot \frac{S_n}{S_p}, \text{ Н/м}, \quad (2.37)$$

где  $k_n$  - коэффициент пропорциональности;

$F_n$  - прочность отдельного плотного участка, Н/м;

$S_n$  - площадь плотных участков, м<sup>2</sup>;

$S_p$  - общая площадь листа рельефной бумаги, м<sup>2</sup>.

Участки с низкой плотностью укладки волокон (порядка 100 кг/м<sup>3</sup>) практически не имеют прочности. Эти рыхлые участки обеспечивают высокую впитывающую способность изготавливаемой бумаги.

Размеры отдельных плотных участков и расстояние между ними должны исключать возможность прохождения линии разрыва бумаги только по рыхлым участкам между плотными участками. Расстояние между плотными участками  $L$ , расположенными вокруг рыхлого участка, должно отвечать условию:

$$L \leq \frac{\lambda_e}{2}, \quad (2.38)$$

где  $\lambda_e$  - среднее расстояние между концами отдельного волокна в плоскости листа бумаги, м.

При соблюдении этого условия волокна соединяют между собой плотные участки и передают от участка к участку механические напряжения, возникающие при растяжении бумаги.

Эффективность передачи механических напряжений характеризуется величиной коэффициента  $k_n$ . Величина коэффициента  $k_n$  определяется долей количества волокон, вовлечённых одновременно в рыхлые и два ближайших уплотнённых участка.

На рис. 2.9 представлена схема профилирующей сетки. Между нитями 1 сетки расположена ячейка 2, образующая при прессовании слоя волокон рыхлый участок. Ячейка 2 окружена четырьмя плоскими участками 3, расположенными в узлах соединения нитей сетки. Длина пунктирной линии, соединяющей центры плоских участков 3, равна периметру  $P$  элемента профилирующей сетки.

Доля  $k_n$  количества волокон, расположенных в одном элементе профилирующей сетки, которые вовлечены в рыхлый участок ячейки 2 и два ближайших уплотнённых участка 3, определяется соотношением:

$$k_n = \frac{P_n}{P}, \quad (2.39)$$

где  $P_n$  - часть периметра элемента сетки, проходящего по плоским участкам.

Как следует из схемы, приведённой на рис.2.9, величина коэффициента  $k_n$  определяется параметрами профилирующей сетки:

$$k_n = \frac{a + b}{l_{th} + l_{free}}, \quad (2.40)$$

где  $a$  - длина плоского участка сетки;

$b$  - ширина плоского участка сетки;

$l_{th}$  - диаметр нитей профилирующей сетки;

$l_{free}$  - расстояние между нитями профилирующей сетки.

Отношение площади плотных участков  $S_n$  к общей площади  $S_p$  листа рельефной бумаги, определяющее разрывную прочность бумаги, также выражается через параметры профилирующей сетки:

$$\frac{S_n}{S_p} = \frac{\pi \cdot a \cdot b}{l_{th} + l_{free}} \quad (2.41)$$

Величина влагоёмкости рельефной бумаги, которая состоит из участков с различной плотностью укладки волокон, определяется зависимостью:

$$U_s = q_o \cdot \frac{\rho_w}{\rho_f} + \sum_i \left[ \frac{S_i}{S_p} \cdot \left( \frac{\rho_f}{\rho_i} - 1 \right) \right], \text{ кг воды/кг сухого волокна,} \quad (2.42)$$

где  $i$  - количество участков, с различной плотностью укладки волокон;

$S_i$  - площадь участков, имеющих определённую плотность,  $\text{м}^2$ ;

$\rho_i$  - плотность укладки волокон  $i$ -того участка,  $\text{кг/м}^3$ .

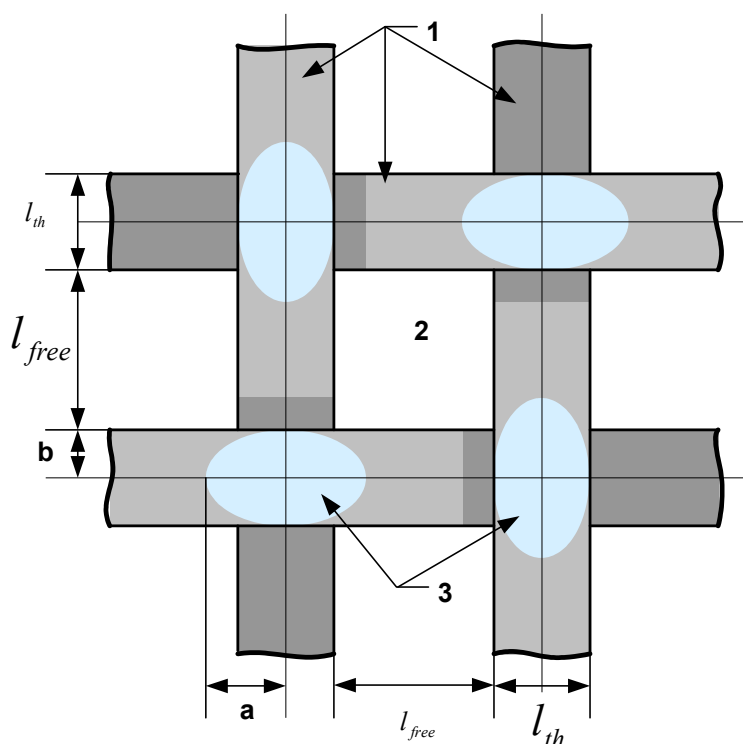


Рис.2.9. Схема профилирующей сетки: 1 – нити сетки; 2 – ячейки сетки; 3 – плоские участки нитей сетки

Рельефная бумага, полученная в результате прессования слоя волокон на профилирующей сетке, схема которой представлена на рис.2.9, имеет три вида участков:

- рыхлый участок, образующийся в ячейке 2 профилирующей сетки, с плотностью укладки волокон  $80 - 100 \text{ кг/м}^3$ ;
- плотный участок, образующийся на плоском участке 3 профилирующей сетки, с плотностью укладки волокон  $700 - 750 \text{ кг/м}^3$ ;
- участок, расположенный под нитями 1 сетки между плотными участками, с изменяющейся по длине участка плотностью. Средняя величина плотности составляет  $350 - 400 \text{ кг/м}^3$ .

Приведённые уравнения позволяют оценить необходимые параметры профилирующей сетки, обеспечивающие величины прочности и влагоёмкости рельефной бумаги.

Волокнистый слой, помещённый между профилирующей и увлажняющей сетками, увлажняется свободной межволоконной водой, поступающей из ячеек увлажняющей сетки 8. Увлажнение происходит при условии:

$$\Delta P_{c.sh} > \Delta P_{c.net}, \quad (2.43)$$

где  $\Delta P_{c.sh}$  - давление капиллярного впитывания воды слоем волокон целлюлозы,  $\text{Н/м}^2$ ;

$\Delta P_{c.net}$  - давление капиллярного впитывания воды ячейками увлажняющей сетки,  $\text{Н/м}^2$ .

Давление капиллярного впитывания воды  $\Delta P_{c.sh}$  слоем волокон целлюлозы зависит от плотности  $\rho_i$  укладки волокон в слое, среднего диаметра волокон целлюлозы  $d_f$ , угла смачивания поверхности волокон водой  $\theta$ :

$$\Delta P_{c.sh} = \frac{4}{d_f} \cdot \frac{\rho_i}{\rho_f} \cdot \frac{\sigma_w \cdot \cos \theta}{1 - \frac{\rho_i}{\rho_f}}, \text{ Н/м}^2, \quad (2.44),$$

где  $\sigma_w$  - поверхностное натяжение воды на границе с воздухом, Н/м;

$\rho_f$  - средняя плотность волокон целлюлозы, кг/м<sup>3</sup>.

Давление капиллярного впитывания воды ячейками увлажняющей сетки

$$\Delta P_{net} = \frac{4 \cdot \sigma_w \cdot \cos \theta_{net}}{d_{th} \cdot \varepsilon_{net}}, \text{ Н/м}^2, \quad (2.45)$$

где  $\theta_{net}$  - угол смачивания водой поверхности нитей увлажняющей сетки;

$d_{th}$  - диаметр нитей увлажняющей сетки, м;

$\varepsilon_{net}$  - пористость увлажняющей сетки.

Удельное количество свободной воды  $Q_w$ , которое переносит увлажняющая сетка, зависит от параметров сетки:

$$Q_w = \frac{d_{th} \cdot \rho_w}{\left(1 + \frac{l_{free}}{d_{th}}\right)^2}, \text{ кг/м}^2. \quad (2.46)$$

Для эффективного увлажнения слоя волокон удельное количество воды в увлажняющей сетке должно определяться условием:

$$Q_w > q_o \cdot \frac{S_i}{S_p} \cdot \frac{\rho_w}{\rho_f} \cdot \left(\frac{\rho_f}{\rho} - 1\right), \text{ кг/м}^2, \quad (2.47)$$

где  $S_i$  - общая площадь плотных участков в слое волокон, м<sup>2</sup>;

$\rho$  - плотность укладки волокон 400 кг/м<sup>3</sup>.

Капиллярное впитывание воды только участками слоя волокон, расположенными под плоскими участками профилирующей сетки, определяется условием:

$$380 < \Delta P_{net} < 880, \text{ Н/м}^2. \quad (2.48)$$

Выполнение этого условия обеспечивает избирательное увлажнение волокнистого слоя только в плотных участках, исключая избыточное увлажнение всего волокнистого слоя.

\*\*\*

Основные элементы конструкций, определяющие работоспособность представленного оборудования, апробированы на специально изготовленных экспериментальных установках.

Лабораторная установка периодического действия (рис.2.10) обеспечивает формирование образцов волокнистого слоя площадью  $150 \times 150$  мм со скоростью  $0,15$  г/сек. Возможный вес формуемых образцов лежит в диапазоне  $20 \times 200$  г/м<sup>2</sup> в зависимости от времени формирования.

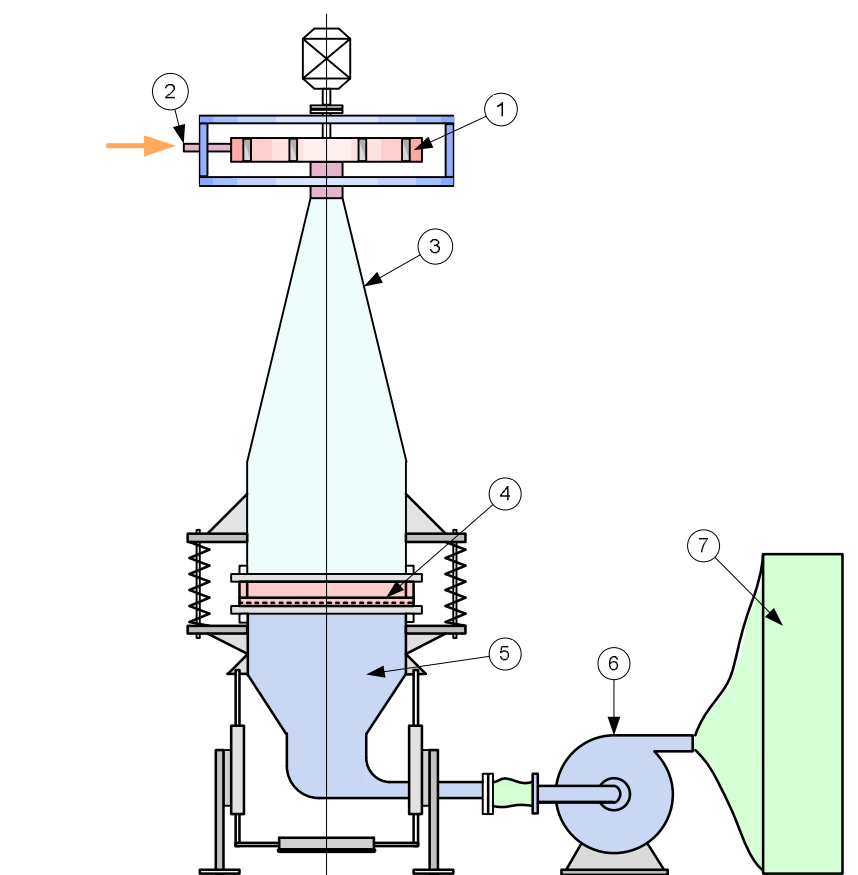


Рис.2.10. Схема лабораторной установки периодического действия для аэродинамического формования отдельных образцов бумаги: 1 – диспергатор; 2 – канал подачи волокнистого материала; 3 – распределяющая шахта; 4 – выдвигаемая рамка со съёмной сеткой; 5 – воздухоотборный патрубок; 6 – воздухоотборный вентилятор; 7 – фильтр

Лабораторный стенд (рис.2.11) осуществляет формирование непрерывного полотна бумаги шириной 300 мм, весом  $80 \text{ г/м}^2$  со скоростью 2.5 м/мин.

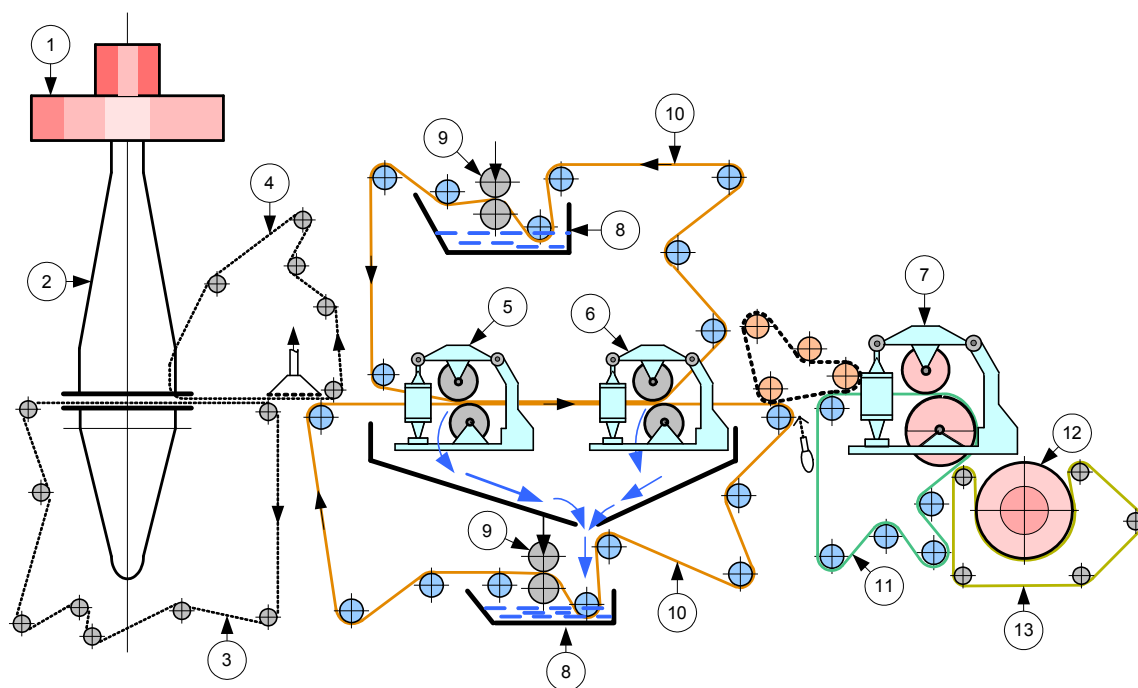


Рис.2.11. Схема лабораторного стенда для изготовления непрерывного полотна бумаги методом аэродинамического формования: 1 – диспергатор; 2 – формующее устройство; 3 – формующая сетка; 4 – покровная сетка; 5 – увлажняющий пресс; 6 – уплотняющий пресс; 7 – пресс горячего прессования; 8 – ванна увлажнения прессового сукна; 9 – пресс отжима прессового сукна; 10 – покровное прессовое сукно увлажняющего и уплотняющего пресса; 11 – сукно пресса горячего прессования; 12 – сушильный цилиндр; 13 – сукно сушильного цилиндра

Для определения параметров конструкций оборудования в зависимости от требуемой производительности, вида изготавливаемой бумаги или картона, вида волокнистого сырья разработано математическое описание процессов:

- увлажнения привозного воздушно-сухого волокнистого полуфабриката;
- получения из влажного волокнистого полуфабриката взвеси влажных волокон в потоке влажного воздуха;
- формирования на сетке, перемещающейся с различной скоростью, волокнистого слоя из потока аэровзвеси влажных волокон;
- прессования и сушки сформированного волокнистого полотна для непрерывного процесса изготовления бумаги или картона.

Всё оборудование, используемое в технологическом процессе подготовки аэровзвеси волокон, аэроформовании бумажного полотна и его дальнейшей обработки, не имеет узлов, более сложных для изготовления, чем оборудование бумагоделательной машины, работающей по традиционной водной технологии. Соответственно, стоимость бумагоделательной машины аэродинамического формования не превышает стоимость бумагоделательной машины водного формования, а энергопотребление машины аэродинамического формования меньше приблизительно на 30 %.

***Основные технические решения защищены следующими патентами:***

Пат. № 2100508 РФ Способ аэродинамического изготовления картона, писчей или печатной бумаги /О.А.Терентьев, В.М.Дробосюк; заявл.08.12.1994; опубл.27.12.1997, Бюл. № 36.

Пат. № 2169223 РФ Способ формования полотна из аэровзвеси волокнистого материала / В.М.Дробосюк; заявл.10.11.1998; опубл.20.09.2001, Бюл.№ 17.

Пат. № 2153546 Устройство для измельчения листового волокнистого материала / В.М.Дробосюк; заявл.16.11.1998; опубл.27.07.2000, Бюл. № 21.

Пат. № 2154706 РФ Диспергатор / В.М.Дробосюк; заявл.16.11.1998; опубл.20.08.2000, Бюл. № 23.

Пат. № 2157867 РФ Способ формования полотна из аэровзвеси волокнистого материала / В.М.Дробосюк; заявл.10.11.1998; опубл.20.10.2000, Бюл. № 29.

Пат. № 2157868 РФ Устройство для пропитки движущегося полотна, преимущественно целлюлозного / В.М.Дробосюк; заявл.10.11.1998; опубл.20.10.2000, Бюл. № 29.

Пат. № 2159304 РФ Аэродинамический способ изготовления санитарно-гигиенической бумаги / В.М.Дробосюк; заявл.15.12.1998; опубл.20.11.2000, Бюл.№32.



Научное издание

Виктор Михайлович Дробосюк

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БУМАГИ  
АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Редактор и корректор Басова В.А.  
Технический редактор Титова Л.Я.

Темплан 2011г., поз.71

---

Подп. к печати 08.11.2011 Формат 60x84/16. Бумага тип.№1.  
Печать офсетная. Объём 3,5 печ.л., 3,5 уч.-изд. л. Тираж 100 экз.  
Изд. № 71. Цена «с». Заказ

---

Ризограф Санкт-Петербургского государственного технологического  
Университета растительных полимеров, 198095, Санкт-Петербург,  
ул. Ивана Черных, 4.