

**А.В. Александров, А.А. Гаузе,
В.Н. Гончаров**

ОБОРУДОВАНИЕ ЦБП

**Часть I. Основное оборудование
для производства целлюлозы**

Учебное пособие

**Санкт-Петербург
2014**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ
ПОЛИМЕРОВ»**

А.В. Александров, А.А. Гаузе, В.Н. Гончаров

ОБОРУДОВАНИЕ ЦБП

**Часть I. Основное оборудование
для производства целлюлозы**

Учебное пособие

**Санкт-Петербург
2014**

УДК 676.2 (075)

ББК 35.77я7

А 465

Александров А.В., Гаузе А.А., Гончаров В.Н. Оборудование ЦБП. Часть I. Основное оборудование для производства целлюлозы/ СПбГТУРП. – СПб., 2014. – 90 с.: ил. 36, табл.5.

В учебном пособии рассмотрены основы проектирования оборудования для производства целлюлозы: корообдирочного оборудования, рубительных машин, установок периодической и непрерывной варки целлюлозы, приведены классификация и особенности конструкции оборудования.

Учебное пособие предназначено для студентов направлений подготовки: 151000 «Технологические машины и оборудование», 240100 «Химическая технология», 261700 «Технология полиграфического и упаковочного производства» и 140400 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Рецензенты:

Ю.А. Тихонов – д-р техн. наук, профессор кафедры ПАХТ СПбГТУРП;

Б.Е. Борилкевич – генеральный директор ООО «Р – центр».

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия.

©Александров А.В., Гаузе А.А.,
Гончаров В.Н. 2014

©Санкт-Петербургский
государственный
технологический университет
растительных полимеров, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Окорка древесины и ее измельчение в щепу – важнейшие этапы целлюлозно-бумажного производства, назначение которых состоит в том, чтобы привести исходное сырье в состояние, наиболее пригодное для его дальнейшей термомеханической обработки в установках для варки целлюлозы или механической обработки в размалывающих машинах с целью получения древесной массы. На целлюлозно-бумажных предприятиях в настоящее время для окорки и измельчения древесины в технологическую щепу используются, в основном, окорочные барабаны и дисковые рубительные машины. Варка сульфитной целлюлозы проводится в котлах периодического действия, а варка сульфатной, нейтральной сульфитной и бисульфитной - в установках непрерывного действия.

В пособии рассмотрены конструкции, принцип работы и физические основы процессов, протекающих в оборудовании для окорки древесины, рубительных машинах для измельчения древесины в технологическую щепу, в установках периодического и непрерывного действия для производства целлюлозы; приведены расчеты производительности и мощности привода оборудования. Рассмотрены перспективы совершенствования основного оборудования для производства волокнистых полуфабрикатов, вопросы стандартизации.

ВВЕДЕНИЕ

Общая схема подготовки древесины к переработке в полуфабрикаты

Заготовленная в лесу балансовая древесина доставляется на предприятия ЦБП водным путем, автомобильным транспортом и по железной дороге в крытых вагонах и на платформах.

Сезонность доставки при относительно кратковременном сплавном периоде создает необходимость хранить на предприятии большие массы балансового сырья, вследствие чего обслуживающие выгрузку механизмы бывают загружены неравномерно: в течение 120-140 дней, обычно составляющих продолжительность лесосплава, им необходимо поднять из воды количество балансов, отвечающее полной годовой потребности предприятия. Иногда часть древесины, доставленной на предприятие водным путем, хранится на воде, что позволяет несколько удлинить период выгрузки, используя для нее время между таянием льда на рейде предприятия и началом лесосплава. Хранение на воде иногда сопровождается необходимостью искусственного поддержания водного пространства в незамерзшем состоянии теми или иными средствами.

При современных масштабах производства целлюлозно-бумажные предприятия потребляют сотни тысяч кубических метров древесины. Практически справиться с выгрузкой и укладкой этих масс древесины можно лишь при высокой степени механизации и весьма совершенной организации биржевого хозяйства, что представляет нелегкую задачу и требует применения наиболее совершенных и мощных механизмов и сооружений. На бирже производится выгрузка древесины из воды или из железнодорожных вагонов, распределение и укладка материала на биржевой площадке, хранение и подача в производство.

В настоящее время применяют два принципиально отличных метода хранения древесины:

1) штабельный - в правильно уложенных штабелях, преимущественно в виде длинника;

2) кучевой - в свободно насыпанных кучах в виде коротких балансов.

Технологический процесс подготовки древесины, а,

следовательно, и весь комплекс необходимого оборудования, определяются прежде всего способом изготовления полуфабрикатов и видом поступающего на переработку сырья (рис. 1).

Для изготовления древесной массы на дефибрерах используется только балансовое сырье, а подготовка его ограничивается облагораживанием древесины путем удаления коры.

При получении целлюлозы, полуцеллюлозы, а также древесной массы в дисковых мельницах подготовка древесного сырья заключается в приготовлении технологической щепы и включает, помимо окорки, операции по измельчению сырья на щепу с последующим ее сортированием с целью удаления слишком крупных и мелких фракций. Крупная щепа в большинстве случаев дополнительно измельчается и возвращается на сортирование.

Для приготовления технологической щепы используются балансы, технологические дрова и отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности. Процесс переработки балансов и низкокачественной древесины включает все три основные технологические операции - окорку, измельчение и сортирование. Процесс изготовления технологической щепы из отходов лесопиления и деревообработки включает только операции измельчения и сортирования, так как на переработку поступает окоренное сырье.

Почти пятая часть производственных мощностей целлюлозно-бумажных предприятий удовлетворяется за счет привозной щепы, и в дальнейшем объемы поставок этой щепы будут расти. Поэтому для приведения качества привозной щепы в соответствие с требованиями конкретного целлюлозно-бумажного производства проводится повторное сортирование щепы. Вследствие окорки значительных объемов древесного сырья на предприятиях скапливается большое количество коры. Наиболее простым способом утилизации коры считается ее сжигание. Подготовка коры к утилизации включает обезвоживание, измельчение и отжим. Необходимый состав операций определяется используемым окорочным оборудованием, а также типом и параметрами топочных установок.

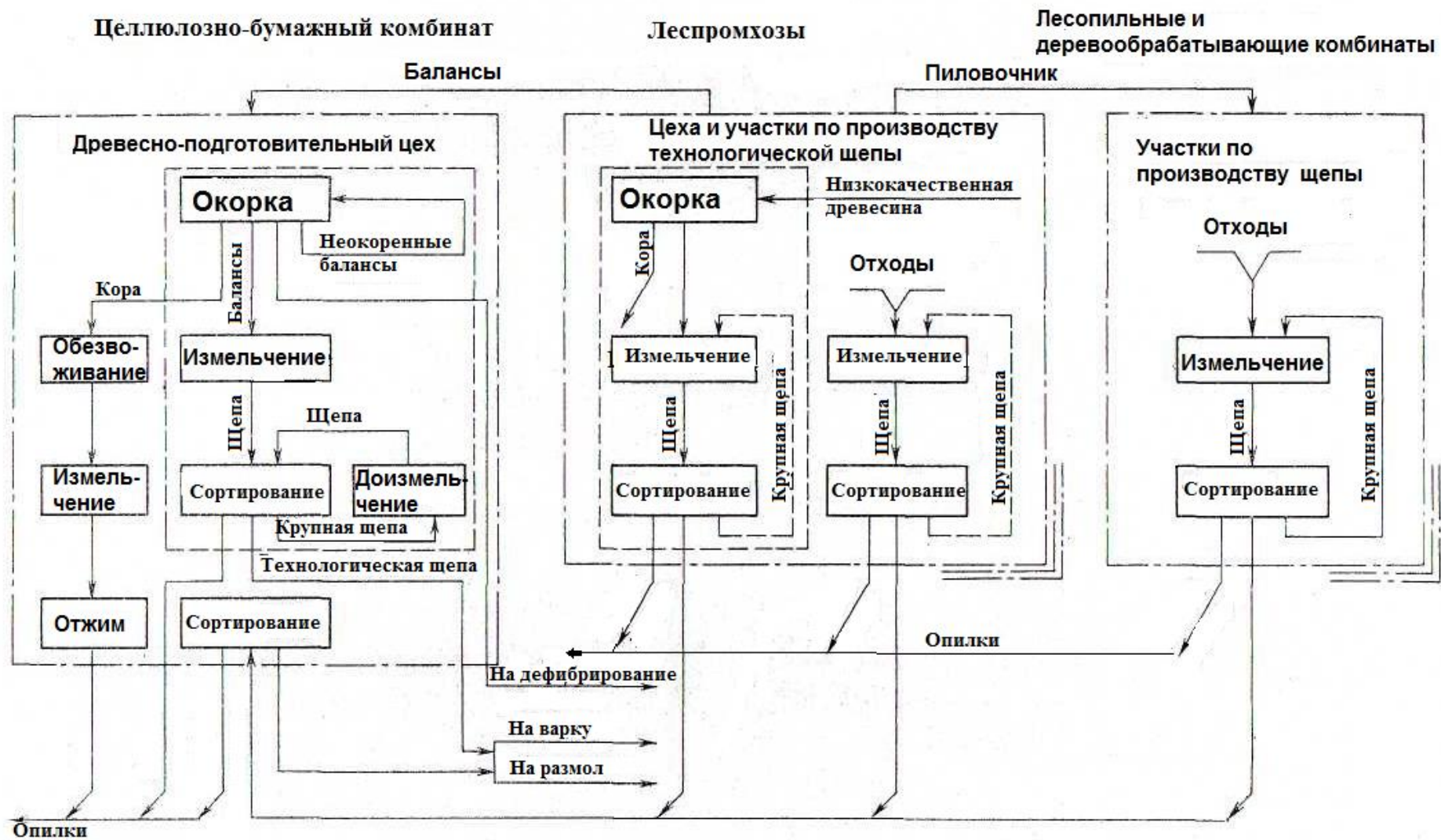


Рис.1. Структура и технологический процесс подготовки древесного сырья

1. КОРООБДИРОЧНЫЕ БАРАБАНЫ

1.1.Строение древесной коры

Необходимость снятия коры с древесины в целлюлозно-бумажном производстве объясняется строением и химическим составом древесной коры. Кора дерева (рис. 2) содержит корку и лубяной слой, прилегающий к камбию древесины. Корка состоит из мертвой пробковой ткани и отмерших клеток паренхимы, потерявших волокнистую структуру и механическую прочность. Корка служит для защиты луба и ствола древесины от механических повреждений и температурных воздействий.

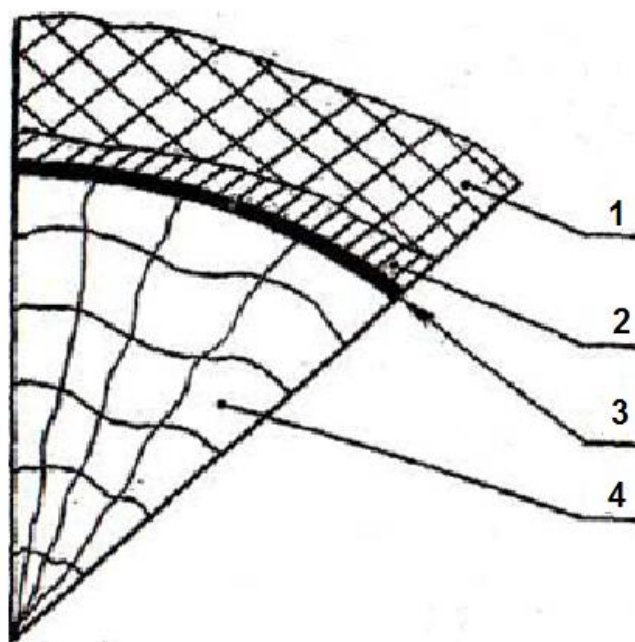


Рис.2. Составные части древесного ствола:
1 - корка; 2 - луб; 3 - камбий;
4 - древесина

Лубяной слой состоит в основном из сетевидных клеток с тонкими целлюлозными стенками и клеток лубяной паренхимы. Основным назначением лубяного слоя является подача питательных веществ от корней к кроне дерева. В вегетационный период клетки луба и особенно камбия сильно набухают, прочность их уменьшается, и кора легче отделяется от древесины. Содержание коры на древесине составляет от 6 до 30 % по объему, при этом часть коры имеет неволокнистое строение, что снижает механические свойства готового продукта при использовании неокоренной древесины. Кора, в особенности корка, содержит большое количество экстрактивных красящих веществ, что служит причиной загрязнения целлюлозы и древесной массы. Во время варки кора поглощает в два раза больше активной щелочи, чем древесина, вызывая нерациональный расход химикатов. Повышается сорность готового продукта, возникает окрашивание, которое очень плохо поддается отбелке. Кора может служить источником загрязнений минерального происхождения. В результате затрудняется работа очистного оборудования, происходит повышенный износ оборудования и трубопроводов. Требования к качеству окорки древесины определяются видом вырабатываемой продукции, техническим оснащением предприятия и применяемым способом варки. Различают два вида окорки: грубую и чистую. При грубой окорке снимается корка и частично луб, при чистой снимается корка и луб. Чистой окорке подвергаются балансы, предназначенные для выработки высококачественной растворимой целлюлозы, целлюлозы для электроизоляционных бумаг. Газетная бумага допускает содержание луба до 10-15 % от первоначального объема. При выработке крафт-целлюлозы для мешочной бумаги, полуцеллюлозы, бурой древесной массы могут использоваться балансы с полностью оставленным лубом.

1.2. Требования к качеству окорки

Качество окорки древесины характеризуется степенью окорки M :

$$M = \frac{100(k_H - k_K)}{k_H}, \%, \quad (1.1)$$

где k_n - содержание коры на древесине, %;
 k_k - содержание коры в объеме щепы, %.

Содержание коры на древесине зависит от породы, возраста, условий произрастания дерева и условий поставки. Средние данные по содержанию коры приведены в табл. 1.1 и 1.2 [1].

Таблица 1.1

Количество коры на балансах при различных способах поставки, % от объема ствола без коры

Порода древесины	В свежесрубленном состоянии	При поставке сухопутным транспортом и в судах	При поставке молевым и плотовым сплавом
Сосна, ель, береза, осина, кедр, пихта	13,0	10,0	9,0
Лиственница	28,0	22,0	20,0

Необходимая степень окорки может быть определена по формуле (1.1) с использованием данных табл. 1.1, 1.2 и 1.3 или с учетом содержания коры на свежесрубленной древесине [2].

Таблица 1.2

Количество коры на балансах 1-4-го сортов при различных способах поставки, % от объема ствола без коры

Порода древесины	Балансы 1-3-го сортов при поставке		Балансы 4-го сорта при поставке	
	сухопутным транспортом и в судах	молевым и плотовым сплавом	сухопутным транспортом и в судах	молевым и плотовым сплавом
Ель	10,0	8,5	11,0	9,5
Сосна	9,5	8,0	10,0	9,0
Лиственница	21,0	18,5	23,0	20,0

Окончание табл. 1.2

Порода древесины	Балансы 1-3-го сортов при поставке		Балансы 4-го сорта при поставке	
	сухопутным транспортом и в судах	молевым и плотовым сплавом	сухопутным транспортом и в судах	молевым и плотовым сплавом
Кедр	13,0	11,0	14,0	12,0
Пихта	12,0	10,0	13,0	11,0
Береза	12,5	11,0	14,0	12,0
Осина	10,0	8,5	11,0	9,5

Степень окорки зависит от назначения древесины и определяется показателями засоренности щепы корой [2], приведенными в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Показатели засоренности щепы корой

Назначение щепы	Массовая доля коры в щепе, не более, %
Сульфитная целлюлоза и древесная масса для бумаги с регламентируемой сорностью	1,0
Сульфитная целлюлоза и древесная масса для бумаги и картона с нерегламентируемой сорностью, сульфатная и бисульфитная целлюлоза для бумаги и картона с регламентируемой сорностью	1,5
Сульфатная целлюлоза и различные виды полуцеллюлозы для бумаги и картона с нерегламентируемой сорностью	3,0
Древесно-волокнистые и древесно-стружечные плиты	15,0

Существенное влияние на процесс окорки оказывает предел прочности коры на скалывание с древесины. Предел прочности на скалывание зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются порода древесины, температура, в летнее время - влажность древесины.

Прочность сцепления коры с древесиной зависит от времени года. С понижением температуры силы сцепления коры с древесиной возрастают в 3-5 раз. В летнее время существенное влияние на прочность сцепления коры с древесиной оказывает влажность древесины. Сопротивление окорке резко снижается в период вегетации, а затем снова возрастает.

1.3. Движение балансов в барабане

Окорка древесины в корообдирочных барабанах осуществляется за счет взаимодействия балансов при их движении внутри барабана. Поэтому изучение кинематики движущейся массы балансов необходимо для выбора оптимального режима окорки. Движение балансов в барабане состоит из их перемещения в поперечном и продольном направлениях. Рассмотрим отдельно оба этих движения.

1.3.1. Движение балансов в поперечном сечении корообдирочного барабана

В поперечном сечении барабана масса балансов образует сегмент заполнения. Пусть в неподвижном барабане сегмент заполнения AmB находится в горизонтальном положении (рис.3). При повороте барабана на некоторый угол α , тангенс которого равен коэффициенту трения покоя между балансами (положение сегмента заполнения A_1B_1), начнется обрушение массы балансов в клине B_1A_1C по линии обрушения A_1C . Эта линия наклонена к горизонту под углом обрушения β , который определяется состоянием поверхности балансов и соотношением между их длиной и диаметром барабана.

В состоянии обрушения сегмент заполнения барабана можно разделить на две зоны - зону подъема балансов и зону обрушения, границей которых является линия обрушения.

Анализ кинематики движения балансов в поперечном сечении барабана позволяет вывести уравнения траектории движения балансов в зоне обрушения и зоне подъема [3].

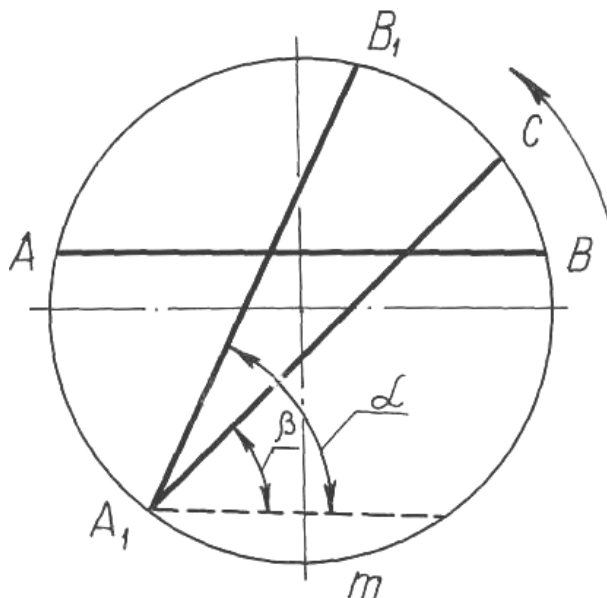


Рис.3. Положение сегмента заполнения:
 (AmB - до начала движения;
 A_1mB_1 – при установившемся движении).

Полный цикл движения баланса в поперечном сечении $t_{ц}$ состоит из времени подъема по круговым траекториям в зоне подъема t_n и времени обрушения в зоне обрушения t_0 .

$$t_{ц} = t_n + t_0. \quad (1.2)$$

Вышерассмотренный механизм движения балансов в барабане нарушается при угловых скоростях больше допустимой из-за действия центробежной силы. При этих скоростях происходит отрыв балансов от сегмента заполнения, что приводит к нарушению активного взаимодействия балансов, а, следовательно, и процесса окорки. Под допустимой скоростью вращения барабана понимается скорость, при которой в поперечном сечении сохраняются зона подъема и зона обрушения. Допустимая скорость вращения барабана определяется из условия равновесия сил, действующих на баланс наружного слоя в точке его перехода из зоны подъема в зону обрушения. Рассмотрим силы, действующие на баланс в точке C (рис. 4).

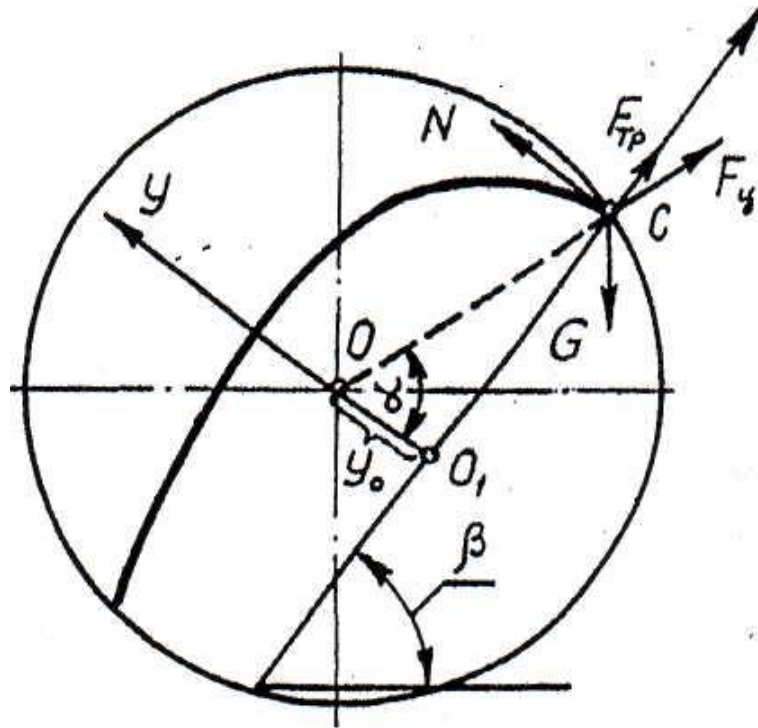


Рис. 4. Схема к определению допустимой скорости вращения барабана

На баланс действуют: G - сила тяжести баланса, F_{Tp} - сила трения, $F_{ц}$ - центробежная сила и реакция N . Проецируя указанные силы на оси координат, после преобразования уравнений равновесия получим выражение для определения допустимой скорости вращения барабана:

$$\omega_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{g(\sin \beta - tg \delta \cos \beta)}{y_0 tg \delta + \sqrt{R^2 - y_0^2}}}, \quad (1.3)$$

где δ - угол естественного откоса; R - радиус барабана; y_0 - начало координат системы координат xO_1y , ось X которой совпадает с линией обрушения A_1C .

$$tg \delta = f, \quad (1.4)$$

где f - коэффициент трения скольжения между балансами.

При увеличении скорости вращения барабана теоретически возможна скорость, при которой под воздействием центробежной силы прекращается отрыв балансов от внутренней поверхности барабана, т.е.

$$\angle\beta = \frac{\pi}{2}.$$

Такая скорость называется критической.

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R}}. \quad (1.5)$$

Рабочая скорость корообдирочных барабанов $\omega=(0,2\div 0,3)\omega_{кр}$.

1.3.2. Движение балансов в продольном направлении корообдирочного барабана. Транспортная производительность барабана

В барабанах непрерывного действия происходит перемещение балансов от входного сечения к выходному.

Движение балансов вдоль продольной оси обеспечивается разностью уровней заполнения на входе и выходе барабана, что создает наклон плоскости обрушения к продольной оси барабана под углом γ (рис. 5).

В барабане непрерывного действия степень заполнения и угол обрушения изменяются по длине. Поэтому, рассматривая продольное движение балансов на малом участке длины барабана dl , можно считать, что степень заполнения поперечного сечения и угол обрушения - величины постоянные.

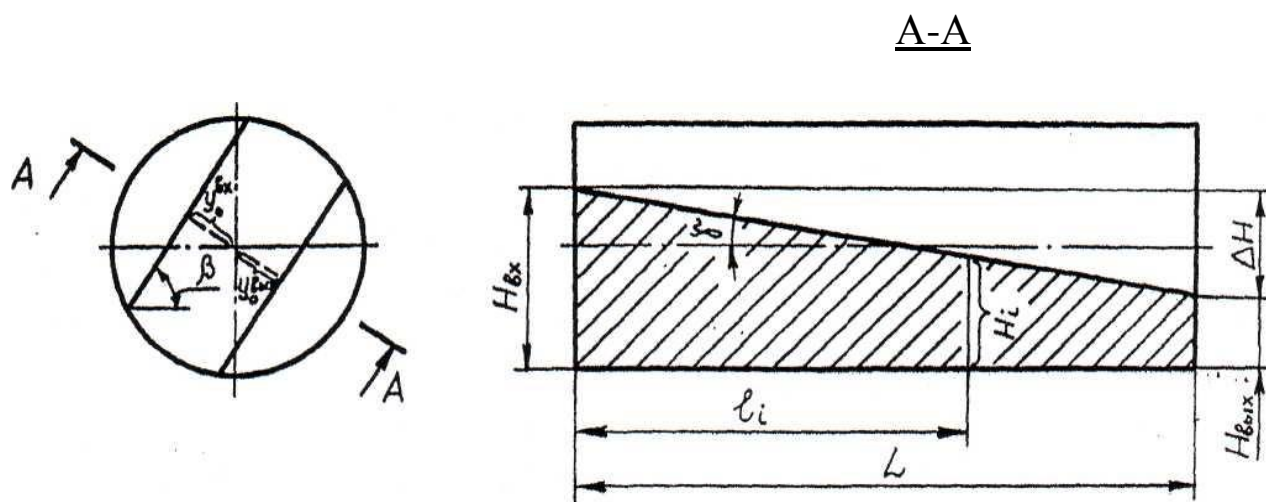


Рис. 5. Расположение плоскости обрушения в барабане непрерывного действия

Анализ кинематики движения балансов в продольном направлении барабана [4] позволяет получить общую формулу для определения времени транспортировки балансов через барабан:

$$t_{mp} = \int_0^L \frac{t_{ц} \operatorname{tg} \beta}{S \sin \gamma} dl, \quad (1.6)$$

где S - длина проекции траектории обрушения баланса на плоскость обрушения в поперечном сечении барабана.

Одним из основных показателей, определяющих работу корообдирочного барабана, является транспортная производительность. Она определяется объемом древесного сырья, который может быть пропущен через барабан в единицу времени:

$$Q_{mp} = \frac{V}{t_{mp}}, \quad (1.7)$$

где V - объем древесины, находящейся в барабане.

Для определения величины V рассмотрим небольшой участок

длины барабана dl . Объем древесины, находящейся на этом участке:

$$dV = \pi R^2 k_{\partial} \varphi_{\partial} dl, \quad (1.8)$$

где k_{∂} - коэффициент полндревесности в динамическом состоянии; φ_{∂} - степень заполнения барабана в динамическом состоянии.

После интегрирования выражения (1.8) получим

$$V = \pi R^2 \int_0^L k_{\partial} \varphi_{\partial} dl. \quad (1.9)$$

Подставляя выражения (1.9) и (1.6) в (1.7), получим общую формулу для определения транспортной производительности корообдирочного барабана

$$Q_{\text{тр}} = \frac{\pi R^2 \sin \arctg \frac{\Delta H}{L} \int_0^L k_{\partial} \varphi_{\partial} dl}{\int_0^L \frac{t_{\text{н}}}{S} \text{tg} \beta dl}. \quad (1.10)$$

Величины, входящие в последнее выражение, определяются на основании теоретического и экспериментального анализа движения балансов в поперечном сечении барабана [4].

1.4. Механизм процесса окорки древесины в корообдирочном барабане. Технологическая производительность барабана

Окорка древесины в корообдирочном барабане происходит за счет деформаций, возникающих в коре в результате взаимодействия балансов при их движении относительно друг друга. Теоретический и экспериментальный анализы движения древесины в барабане показывают, что смещение слоев балансов, необходимое для их окорки, происходит в зоне обрушения сегмента заполнения, при этом

балансы, находящиеся в наружных слоях, перемещаются с большими скоростями, чем во внутренних. В зоне подъема балансы вращаются как одно целое с барабаном, что исключает их взаимное перемещение относительно друг друга. В этой зоне кора балансов подвергается преимущественно деформациям сжатия от веса вышележащих слоев, что способствует некоторому ослаблению адгезии коры к древесине. Однако эти деформации намного меньше деформаций, возникающих в зоне обрушения.

Эффективность процесса окорки может быть охарактеризована работой по деформации коры, совершаемой силами взаимодействия балансов при их обрушении. Для обеспечения заданной степени окорки M единичной поверхностью баланса должна быть совершена определенная работа A_M по ее деформации (удельная работа деформации).

Технологическая производительность корообдирочного барабана определяется объемом древесного сырья, окоряемого до требуемой степени окорки в единицу времени:

$$Q_M = \frac{V}{t_M}, \quad (1.11)$$

где V - объем одновременно окоряемой древесины;

t_M - время обработки древесины в барабане, необходимое для достижения требуемой степени окорки M .

Для определения t_M мысленно разделим барабан по его длине на n участков так, чтобы время нахождения балансов на каждом участке Δt было одинаковым, а степень заполнения в пределах каждого участка можно было бы считать постоянной. В этом случае удельную работу деформации можно представить в виде:

$$A_M = \sum_{i=1}^n A_{o,i} P_i, \quad (1.12)$$

где $A_{o,i}$ - работа по деформации единичной поверхности баланса среднего слоя за одно обрушение на i -м участке барабана; P_i - число циклов подъем-обрушение на i -м участке барабана:

$$P_i = \frac{\Delta t_i}{t_{ц,i}} = \frac{\Delta t}{t_{ц,i}}, \quad (1.13)$$

где $t_{ц,i}$ - время обработки на i -м участке барабана.

Подставляя значение P_i в выражение (1.12), после преобразований получим:

$$A_M = \Delta t n \frac{\sum \frac{A_{o,i}}{t_{ц,i}}}{n} \quad \text{или}$$

$$A_M = t_M (A_o t_{ц}^{-1})_{ср}, \quad (1.14)$$

откуда

$$t_M = \frac{A_M}{(A_o t_{ц}^{-1})_{ср}}. \quad (1.15)$$

При $n \rightarrow \infty$

$$(A_o t_{ц}^{-1})_{ср} = L^{-1} \int_0^L (A_o t_{ц}^{-1}) dl,$$

где L - длина барабана.

Подставляя выражения (1.9), (1.15) в (1.11), получим общую формулу для определения технологической производительности корообдирочного барабана:

$$Q_M = \frac{\pi R^2}{A_M L} \int_0^L k_{\partial} \varphi_{\partial} dl \int_0^L A_o t_{\text{ц}}^{-1} dl. \quad (1.16)$$

1.5. Основные типы корообдирочных барабанов

Современные корообдирочные барабаны имеют диаметр от 3 до 6 м и длину от 3,5 до 30 м. Корообдирочные барабаны могут быть непрерывного и периодического действия. В практике целлюлозно-бумажного производства в основном применяются барабаны непрерывного действия.

Барабаны периодического действия применяются для небольших производств. Барабаны непрерывного действия предназначены для окорки длинника (4 - 6 м) и коротья (1,2 - 2,2 м).

В последнее время созданы барабаны, которые используются для одновременной окорки длинника и коротья. Для окорки длинномерной древесины (4,5 - 6,0 м) в Швеции фирмой KMW выпускаются барабаны конической формы длиной 45 - 60 м. Эти барабаны служат для окорки свежесрубленной (весной, летом) или сплавной древесины. Древесина должна быть правильной формы, с небольшой кривизной, подобрана по диаметру, что ограничивает применение таких барабанов в ЦБП России. Широкое распространение в отечественной практике получили барабаны для окорки коротья (1,2 - 2,2 м) полусухим и сухим способами.

Барабаны полусухой окорки состоят из двух-трех секций. В первой (глухой) секции, не имеющей отверстий на боковой поверхности барабана, происходит предварительная обработка древесины в присутствии воды (40 – 80 °С), что создает условия для размораживания и увлажнения коры, обеспечивая хорошую окорку любой древесины.

Расход воды в таких барабанах достигает 2-3 м³ /м³ древесины. Барабаны могут окоривать древесину от 1 - 3 и до 6 м в зависимости от диаметра барабана. Производительность барабанов достигает 300 - 400 пл.м³/ч, табл. 1.4 [5].

Таблица 1.4

Барабаны для окорки древесины длиной 1 - 6 м

Страна, фирма, тип барабана	Показатели						
	диа- метр, м	длина, м	длина ба- лансов, м	частота враще- ния, мин ⁻¹	масса, т	потребляе- мая мощ- ность, кВт	произво- дитель- ность, пл. м ³ / ч
Финляндия:	4,0	20	1 - 2	6 - 7	110	270	42 - 91
«Раума- Репола»	4,5	25	1 - 3	5,5	140	440	91 - 196
	5,0	30	2 - 4	5,5	150	610	126 - 315
	4,0	24	1 - 2	5,5	131	264	80 - 100
«Коне- Вуд»	5,0	24	2 - 4	5,5	174	530	120 - 150
	5,0	30	2 - 4	5,5	209	640	150 - 200
	5,5	28	2 - 5	5,0	218	800	200 - 280
	5,5	35	2 - 5	5,0	268	1000	280 - 350
	6,0	35	2 - 6	5,0	287	1280	300 - 400
Россия:	3,85	25	1 - 2	6 - 9	170	350 - 500	до 150
КБ-100 (КБП-425)	5,0	30	2 - 4	6 - 8	250	600 - 800	до 250
КБ-530 (КБП-530)							

В барабанах для сухой окорки в глухую секцию подается пар (130-140 °С) в количестве 25-55 кг/пл.м³, что обеспечивает размораживание коры. ЗАО «Петрозаводскмаш» разработало гамму корообдирочных барабанов [5]: односекционные КБ-410Б-1 (КБП-410Б-1), КБ-412Б-1 (КБП-412Б-1), КБ-420Б-1 (КБП-420Б-1), КБ-425Б-1 (КБП-425-1), КБ-525Б-1 (КБП-525Б-1) и двухсекционные КБ-420А (КБП-420А), КБ - 425А (КБП-425А), КБ-530 (КБП-530). В зависимости от направления вращения секции, по часовой или против часовой стрелки, барабаны могут изготавливать левого (КБ) или правого (КБП) исполнений.

Односекционные корообдирочные барабаны предназначены для окорки древесины хвойных и лиственных пород с использованием подогретой воды или пара на предприятиях целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности.

Таблица 1.5

Технические характеристики односекционных корообдирочных барабанов ЗАО «Петрозаводскмаш»

Параметр	Марки корообдирочных барабанов				
	КБ-410Б-1 КБП-410Б-1	КБ-412Б-1 КБП-412Б-1	КБ-420Б-1 КБП-420Б-1	КБ-425Б-1 КБП-425Б-1	КБ-525Б-1 КБП-525Б-1
Производительность, м ³ /ч (в плотной мере)	25-40	35-50	50-90	60-105	120-150
Размеры окашиваемой древесины, мм: - длина - диаметр	700-2000 60-800	700-2000 60-800	700-2000 60-800	700-4000 60-800	700-6000 60-800
Диаметр секций, мм	3836	3836	3900	3900	5000
Длина секции, мм	10000	12000	20600	24100	24100
Частота вращения секций, мин ⁻¹	9-6	9-6	9-6	9-6	8-5
Установленная мощность, кВт	183	223	423	423	503
Габаритные размеры, мм - длина - ширина - высота	11200 6800 6650	13200 6800 6650	21700 6800 6650	25200 6800 6650	25200 8000 7850
Масса комплекта поставки, кг	111000	118000	210000	220000	310000

Двухсекционные корообдирочные барабаны предназначены для окорки хвойных и лиственных пород с использованием для интенсификации окорки подогретой воды или пара (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Технические характеристики двухсекционных
корообдирочных барабанов ЗАО «Петрозаводскмаш»

Параметр	Марки корообдирочных барабанов				
	КБ-420А КБП-420А		КБ-425А КБП-425А		КБ-530 КБП-530
Производительность, м ³ /ч (в. плотной мере)	50-60		60-105		150-200
Размеры окариваемой древесины, мм: - длина - диаметр	700-2000 60-800		700-2000 60-800		700-3000 60-800
Диаметр секций, мм	3900		3900		5000
Частота вращения секций, мин ⁻¹	6	9	6	9	6
Установленная мощ- ность, кВт	269	325	269	365	625
Габаритные размеры, мм - длина - ширина - высота	25800 6550 5600		25800 6550 5600		36500 8050 7000
Масса комплекта по- ставки, кг	205000		220000		360000

Барабаны большого диаметра 5,0 - 6,0 м позволяют окаривать древесину длиной до 6 м. Благодаря этому отпадает необходимость в установке слешера для распиловки длинника, что упрощает процесс подготовки сырья.

2.РУБИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Измельчение древесины в щепу – один из важных этапов целлюлозно-бумажного производства, назначение которого состоит в том, чтобы привести исходное сырье в состояние, наиболее пригодное для дальнейшей его химической обработки в варочных котлах с целью получения целлюлозы или механической обработки в размалывающих машинах с целью получения древесной массы [3,6].

2.1. Основные свойства древесины, влияющие на рубку

Наибольшее значение для процесса рубки имеют следующие физико-механические показатели древесины: плотность, влажность, механическая прочность в различных направлениях, коэффициенты трения древесины о древесину и металл. Плотность абсолютно сухого вещества древесины, состоящего в основном из целлюлозы и лигнина, не зависит от породы древесины и составляет $\rho=1,54 \text{ г/ см}^3$. В отличие от этого, абсолютно сухая древесина имеет плотность, зависящую от породы. Плотность определяется анатомическим строением, наличием пустот как внутри волокон, так и в межклеточном пространстве. В табл. 2.1 приведены значения плотности различных пород древесины.

В силу гигроскопичности древесного вещества, образующего стенки волокон, древесина в реальных условиях хранения и транспортирования имеет влажность, отличающуюся от нуля. Древесина собирает влагу из воздуха, которая проникает внутрь клеточных стенок, приводя их к разбуханию. Максимально возможное количество гигроскопической (связанной) воды в древесине различных пород составляет 30 % от массы абсолютно сухого вещества. Увеличение относительной влажности воздуха приводит к постепенному увеличению влажности древесины. Кроме гигроскопической влаги, в стволе древесины, находящемся в воде или свежесрубленном, содержится свободная влага, заполняющая полости клеток.

Таблица 2.1.

Плотность древесины различных пород

Порода древесины	Плотность, г/см ³	Порода древесины	Плотность, г/см ³
Пихта сибирская	0,33	Береза	0,59
Кедр сибирский	0,34	Тис	0,60
Осина	0,40	Ясень	0,60
Липа	0,45	Лиственница	0,60
Ель	0,46	Дуб	0,69
Сосна	0,47	Бук	0,72
Вяз	0,52	Граб	0,83
Клен	0,54		

Это механически связанная влага, удерживающаяся в древесине силами поверхностного натяжения (капиллярными силами). В зимних условиях свободная вода замерзает, что сильно увеличивает удельный расход энергии на рубку и ухудшает качество щепы. Наличие влаги существенно влияет на механические показатели древесины: модули упругости в различных направлениях, предел прочности, объёмную массу древесины и коэффициент трения.

Влажность древесины, поступившей на рубку, может колебаться в широких пределах в зависимости от метода её транспортировки, хранения и времени года. Древесина, транспортируемая железнодорожным транспортом, может иметь относительную влажность 20-30 %; доставленная сплавом и пролежавшая несколько месяцев на лесной бирже, имеет влажность от 18-20 % до 40-45 %. Древесина, поступившая непосредственно из воды, обычно имеет влажность 50-55 %. Установлено, что для различных пород древесины модули упругости и прочность снижаются с увеличением влажности древесины. Это приводит к тому, что удельная работа и мощность рубки уменьшаются. Поэтому экономически целесообразно подавать древесину на рубку непосредственно из воды.

Структурные особенности древесины определяют явно выраженные различия в структурных свойствах её по разным

направлениям, т.е. упругую анизотропию. В первом приближении древесину можно рассматривать как идеально упругое тело, обладающее определёнными модулями упругости по трём главным направлениям: осевом, радиальном, тангенциальном. Однако, при достаточно больших нагрузках появляются не только мгновенные, но и развивающиеся во времени упругие деформации, а также необратимые пластические деформации.

Важное значение при рассмотрении процесса рубки имеют показатели предела прочности древесины в различных направлениях. В табл. 2.2 указаны пределы прочности древесины при различных видах напряжённого состояния.

Таблица 2.2

Пределы прочности древесины, МПа

Напряжённое состояние	Сосна		Лиственница		Берёза		Дуб	
	влажность, %							
	12	30	12	30	12	30	12	30
Сжатие:								
вдоль волокон, $\sigma_{смп}$	47,5	20,5	63,0	25,0	54,0	22,0	56,5	30,5
поперёк волокон, $\sigma_{смп}^{\perp}$	3,8	1,8	5,0	2,1	7,2	2,9	7,5	4,1
Растяжение:								
вдоль волокон	102	77,5	122	95	165	124	-	-
поперёк волокон	5,1	3,8	6,1	4,7	8,3	6,2	-	-
Скалывание:								
вдоль волокон, τ_{II}	6,3	3,7	8,3	5,3	7,7	4,1	8,5	6,4
поперёк волокон, τ_I	3,1	1,9	-	-	3,9	2,1	4,3	3,2
Перерезание:								
поперёк волокон	25,0	15,0	-	-	31,0	16,5	25,5	14,5
изгиб статический	84,5	48,7	109	60,5	108	58,5	101	67,0

В табл. 2.2 представлены лишь крайние возможные случаи

направления действия сил по отношению к направлению волокон: когда угол между этими направлениями $\theta = 0$ (сила действует вдоль волокна) и когда угол $\theta = \pi/2$ (сила действует поперёк волокон).

В табл. 2.3 приведены пределы прочности древесины на скалывание в радиальной и тангенциальной плоскостях. Этот показатель имеет важное значение при формировании размеров щепы по толщине и оказывает существенное влияние на удельный расход энергии.

Таблица 2.3

Прочность древесины разных пород на скалывание вдоль волокон

Порода	Влажность, %	Пределы прочности, МПа	
		в радиальной плоскости	в тангенциальной плоскости
Хвойные			
Ель	-	4,9-5,9	5,9
Сосна	-	6,8-9,6	-
Пихта	-	3,6-6,9	7,8
Лиственница	-	7,8-9,4	8,8
Лиственные			
Осина	15	4,4-5,7	-
Берёза	15	6,2-7,2	-
Вяз	15	7,0	7,7
Клён	15	8,7-11,7	13,2
Дуб	15	8,1-10,4	9,1
Бук	15	6,8-9,9	9,2-13,1
Ясень	15	8,0	13,3

2.2. Требования, предъявляемые к технологической щепе

Технологическая щепка характеризуется рядом показателей, определяющих качество и выход целлюлозы.

Размер щепы. Наиболее важными размерами щепы являются её длина и толщина. Длина щепы $l_{щ}$ измеряется в направлении вдоль волокон. Толщина $S_{щ}$ и ширина $b_{щ}$ - в радиальном и тангенциальном направлениях поперёк волокон (рис.6).

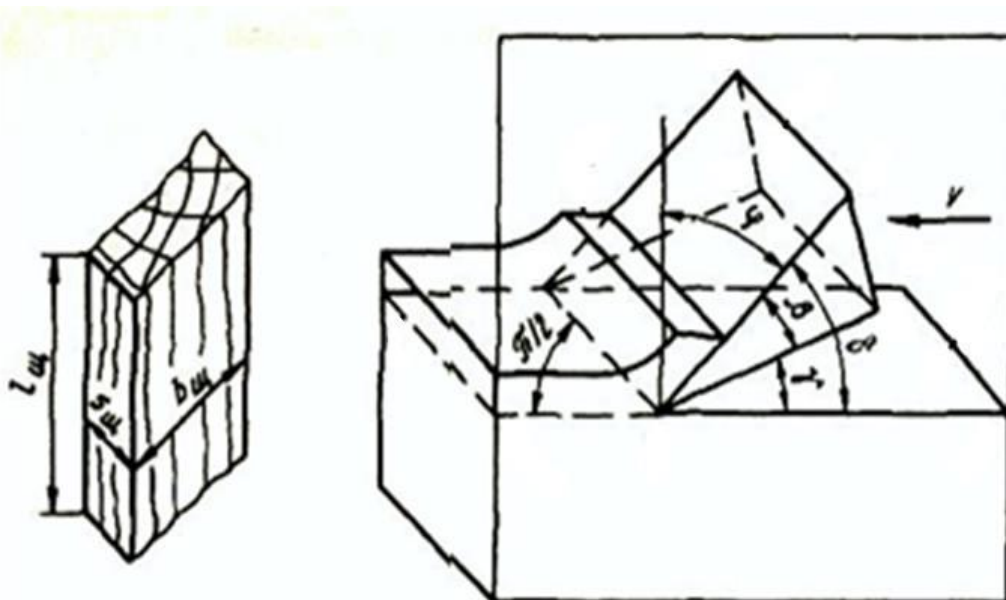


Рис. 6. Размеры технологической щепы

Желательное соотношение длины и толщины щепы определяется скоростью проникновения варочного раствора в соответствующих направлениях. При сульфатной варке диффузия варочного раствора в продольном, тангенциальном и радиальном направлениях происходит примерно с одинаковой скоростью. Поэтому наибольшее влияние на равномерность провара оказывает наименьший размер – толщина щепы. Длина щепы также влияет на равномерность её провара при сульфатной варке, но в значительно меньшей степени, чем толщина.

При сульфитной варке варочный раствор проникает в щепу в продольном направлении в несколько раз быстрее, чем в других направлениях. Поэтому важно, чтобы при сульфитной варке отношение длины щепы к её толщине не превышало отношения скоростей диффузии раствора в этих направлениях.

Для ускорения процессов пропитки и варки желательно получать щепу возможно меньших размеров. Однако при этом неизбежно заметное укорочение волокна древесины, которое повлечет снижение качества сваренной целлюлозы. Зависимость между длиной щепы $l_{щ}$ и средним значением длины волокна l_B для различной природной длины волокна M в древесине определяется формулой :

$$l_B = M \cdot l_{из} / (M + l_{из}). \quad (2.1)$$

Срез щепы должен быть чистым под углом 30-60°, без смятых и ломаных кромок. Смятие кромок ведёт к закрытию капилляров, ухудшает пропитку, снижает качество и выход целлюлозы. В районе срезов происходит перерубание и повреждение волокон, что снижает механическую прочность целлюлозы.

При рубке балансов на существующих рубительных машинах геометрические размеры щепы варьируются в широких пределах: длина 5 -50 мм, толщина 1 - 12 мм и ширина 0,5 - 60 мм. Анализ исследований, выполненных Н.М. Вальщиковым и Э.П.Лицманом [6], показал, что оптимальные размеры щепы следующие: длина вдоль волокна 15 -20 мм, толщина 3-5 мм, ширина щепы не играет существенной роли, но устанавливается в пределах 2 -20 мм по условиям сортирования. Оптимальная длина щепы при рубке лиственных пород 10 - 15 мм.

Однородность щепы по размерам является важной характеристикой её качества, обеспечивает равномерность процесса делигнификации и позволяет добиваться плотной загрузки варочных котлов. Реальная щепа даже в самых совершенных рубительных машинах имеет значительный разброс по размерам. Поэтому она подвергается сортированию на специальных вибрационных сортировках.

2.3. Виды конструкций рубительных машин

Виды конструкций рубительных машин определяются как направлением взаимодействия ножа (резца) с древесиной, так и видом поверхности, по которой расположены ножи.

По отношению к волокнам древесины различают три основных направления резания: торцевое, продольное и поперечное (рис. 7). При торцевом резании кромка резца движется в плоскости, перпендикулярной направлению волокон, перерезая их. При продольном – резец движется вдоль волокон в направлении, параллельном их длине. При поперечном резании – вектор скорости резания нормален к волокнам, а плоскость резания параллельна им.

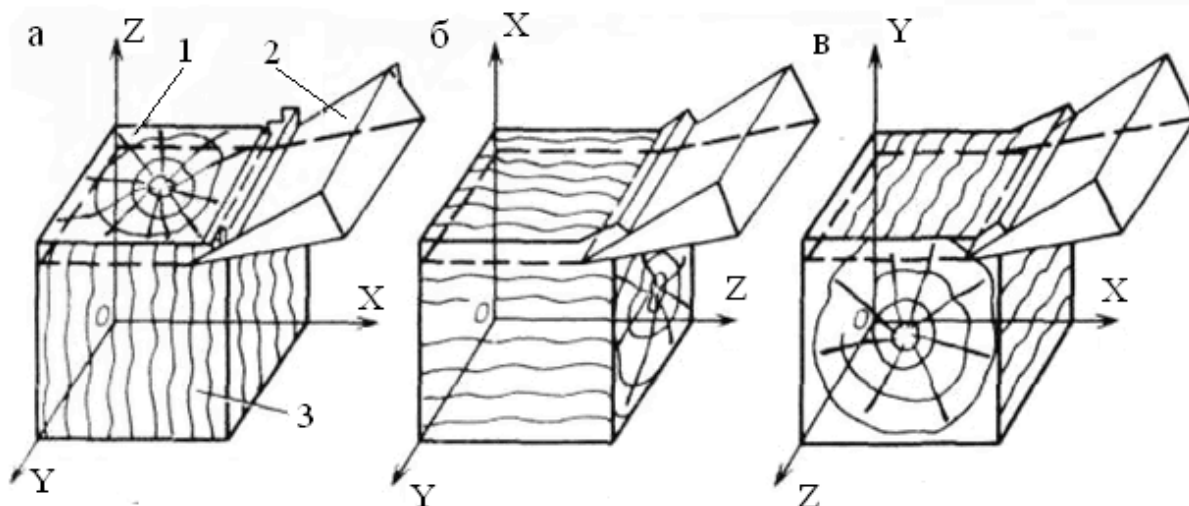


Рис. 7. Главные направления резания древесины:
 а – торцевое; б – продольное; в – поперечное;
 1 – образец древесины, 2 – резец, 3 – волокна
 древесины

В рубительных машинах имеет место более сложный общий случай торцево-продольно-поперечного резания (торцево-продольное, торцево-поперечное), при котором вектор скорости v и плоскость резания не параллельны и не нормальны к осям X, Y, Z .

В зависимости от поверхности, по которой расположены ножи, рубительные машины можно подразделить на следующие основные виды: дисковые, барабанные, конические (двухконические).

В дисковых рубительных машинах механизм резания выполнен в виде массивного диска, на котором установлены режущие ножи. В барабанных рубительных машинах механизм резания состоит из вращающегося барабана с режущими ножами. Конические рубительные машины (двухконические) имеют рабочий механизм в виде двух усечённых конусов с ножами, соединённых меньшими диаметрами. В практике целлюлозно-бумажного производства наибольшее распространение получили дисковые рубительные машины с торцево-продольно-поперечным резанием (рис.8). Эти машины отличаются простой и надёжной конструкцией и обеспечивают одинаковые условия резания независимо от диаметра балансов.

Барабанные рубительные машины с торцево-продольным резанием (рис.9) применяются для переработки отходов лесопиления

и деревообработки (реек и горбылей), а также отходов лесозаготовок (сучьев и вершин) в щепу для гидролизного производства и производства древесно-волокнистых плит. На предприятиях ЦБП в настоящее время эти машины практически не применяются. Основным недостатком их является зависимость углов резания от диаметра балансов. Вследствие этого щепы имеет неодинаковое направление среза и неоднородна по фракционному составу.

Барабанные рубительные машины с поперечным резанием (рис.10) обеспечивают постоянство фракционного состава щепы. В процессе резания щепы мало повреждается, что обеспечивает повышенные показатели качества целлюлозы. Достоинствами машин этого типа являются меньшие удельные усилия резания и меньшие удельные затраты энергии по сравнению с другими конструкциями. Применение барабанных рубительных машин ограничивается их сложностью.

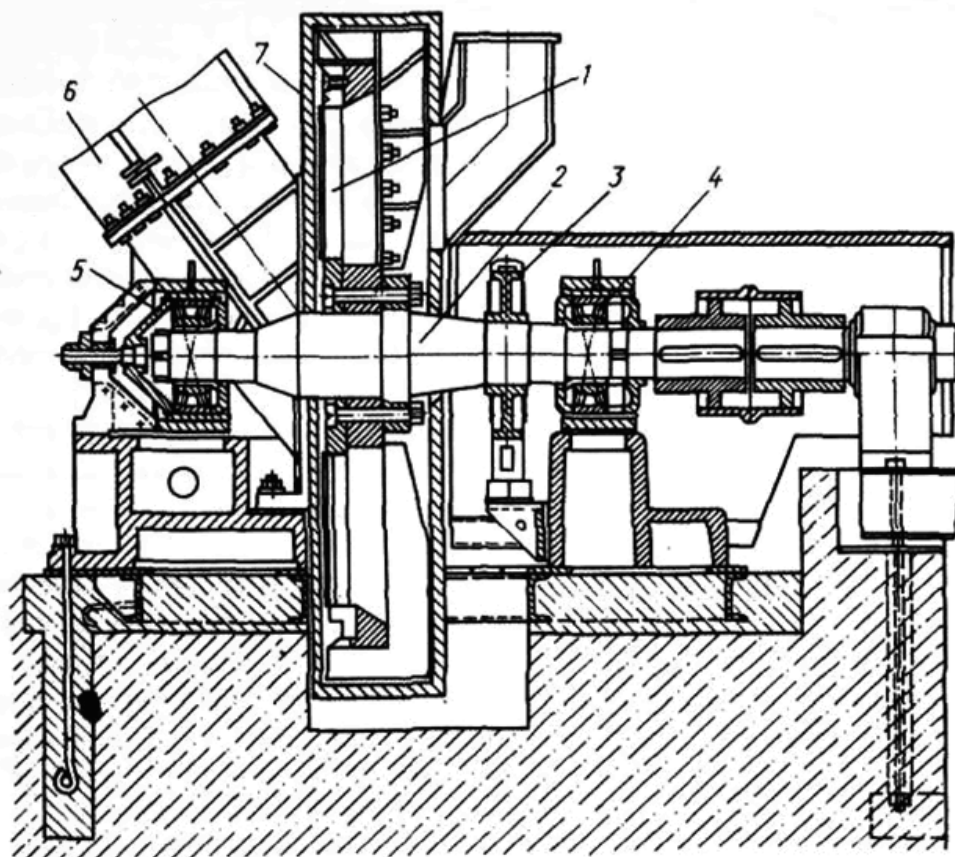


Рис. 8. Дисковая рубительная машина:

1 – диск; 2 – вал; 3 – тормоз; 4,5 – подшипники;
6 – загрузочный патрон; 7 – кожух

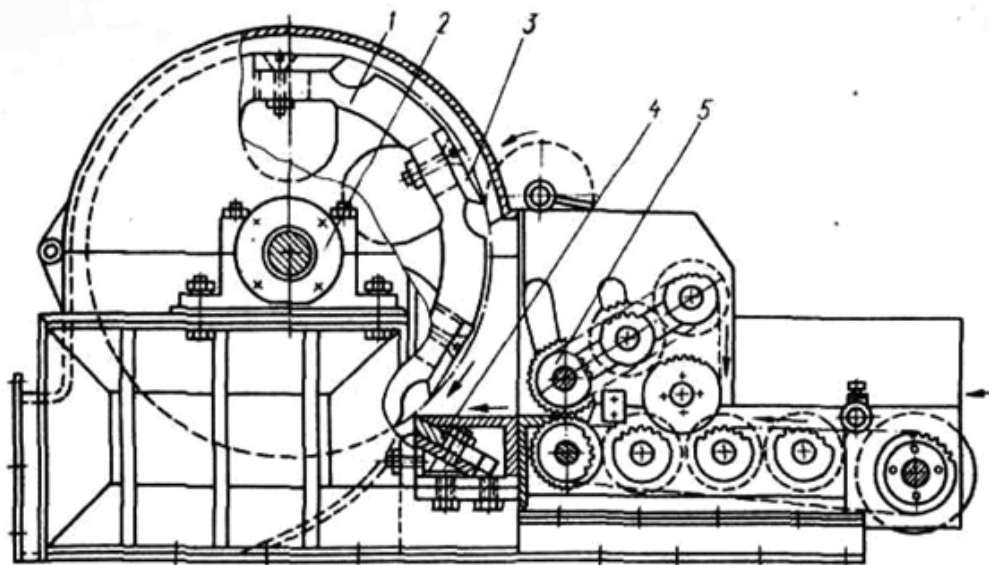


Рис. 9. Схема барабанной рубительной машины с торцево - продольным резанием: 1 – ножевой барабан; 2 – откидной кожух; 3 – ножи; 4 – контрнож; 5 – вальцы для подачи древесины

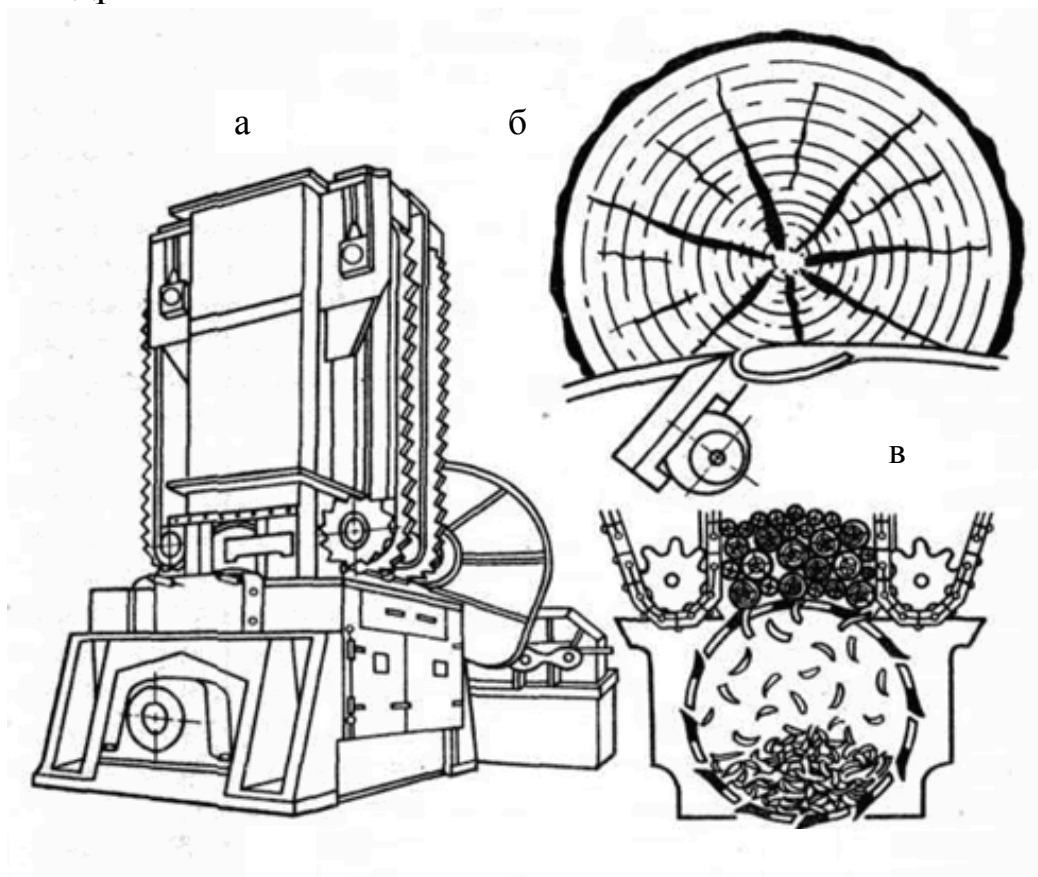


Рис.10. Схема барабанной рубительной машины с поперечным резанием: а – общий вид; б – схема резания; в – принцип работы

Конические (спиральные) рубительные машины имеют специфическое применение для снятия горбыльной части при получении бруса.

2.4. Устройство и принцип действия дисковой рубительной машины

Ножевой диск крепится к буртику вала с помощью болтов без зазора. Диск имеет сквозные щели для отвода щепы (их число соответствует числу ножей), наклонённые по ходу вращения к радиусу диска. В гнёздах, расположенных над щелями, устанавливаются ножи. Для увеличения момента инерции на валу ранее устанавливали маховик, служивший одновременно тормозным шкивом ленточного тормоза, необходимого для остановки машины. В современных конструкциях машин маховик отсутствует, а необходимый запас кинетической энергии обеспечивается массивным диском.

Подшипники вала установлены в чугунных разъёмных корпусах, закреплённых на станинах. Стакан лицевого подшипника перемещается винтовым устройством, регулирующим зазор между ножами диска и контрножом. Загрузочный патрон служит для подачи древесины к ножевому диску. Патрон наклонён к горизонтальной плоскости, проекция оси патрона развёрнута относительно оси вала. Для обеспечения скатывания балансов малого диаметра к центру диска дно патрона имеет наклон. Этим обеспечивается непрерывность резания при рубке балансов малого диаметра.

Кожух служит в качестве ограждения и является направляющим каналом для потока щепы. При верхнем выбросе кожух имеет патрубок для отвода щепы и отверстие для присоединения рециркуляционного трубопровода от циклона. По обе стороны кожуха располагаются отверстия для смены ножей. В машине с нижним выбросом часть кожуха открытая и имеет фланец для присоединения кожуха к бункеру для щепы.

Работа дисковой рубительной машины заключается в

следующем: древесину по питающему патрону подают под вращающиеся ножи диска. Каждый нож отрубает шайбу толщиной, равной выпуску режущих ножей над плоскостью диска. Отрубаемая древесина распадается на отдельные элементы, которые проходят через подножевые щели на приводную сторону диска и удаляются из машины.

2.5.Классификация дисковых рубительных машин

Дисковые рубительные машины отличаются разнообразием конструкций и могут быть классифицированы по ряду конструктивных признаков.

По расположению вала эти машины подразделяются на горизонтальные, вертикальные и наклонные.

По виду рабочей поверхности диска рубительные машины бывают с плоским диском и с профилированным (геликоидальным). Во втором случае поверхность диска имеет особый профиль (геликоидальная поверхность), обеспечивающий непрерывный контакт торца древесины с поверхностью диска и лучшие условия отруба.

По характеру отруба различают машины с прерывистым и с непрерывным режимом работы. Рубительные машины с прерывистым отрубом – это малоножевые машины старой конструкции (3-4-х ножевые). Прерывистость отруба – недостаток, снижающий производительность, эксплуатационные характеристики и качество получаемой щепы.

В машинах с непрерывным режимом резания в контакте с древесиной находится постоянно, по крайней мере, один нож, что обеспечивает более спокойные условия резания и лучшее качество щепы. Непрерывность достигается установкой на диске большего количества режущих ножей (до 10-16), в связи с чем машины такого типа называются многоножевыми. Эти машины получили в настоящее время наибольшее распространение.

По направлению подачи древесины различают дисковые машины с наклонной и горизонтальной подачей. При наклонной подаче используется собственный вес балансов, при горизонтальной обычно применяются механизмы принудительной подачи балансов.

Достоинством машин с горизонтальной подачей является возможность перерабатывать балансы большой длины. Выбор типа подачи определяется в зависимости от вида оборудования для окорки древесины и общей компоновки древесно-подготовительного отдела.

По способу удаления щепы из рубительной машины различают машины с верхним и нижним выбросом. При верхнем выбросе щепа удаляется лопастями, установленными на периферии диска, в циклон, где происходит отделение щепы от пыли. При нижнем выбросе щепа под действием собственного веса падает на транспортёр и далее направляется на сортирование. Нижний выброс предпочтителен при выработке высококачественных видов целлюлозы, где особенно нежелательно повреждение щепы. Достоинством этого метода является снижение на 15-20 % необходимой мощности по сравнению с машинами для верхнего выброса. Недостатком является большая запыленность помещения. При нижнем выбросе необходим глубокий приямок для транспортёра щепы и дополнительный транспортёр для подачи щепы к сортировкам. В последнее время находят применение машины с безударным удалением щепы (прямоточного типа), в которых повреждаемость щепы существенно снижается.

2.6. Геометрия резания древесины в дисковой рубительной машине

Углы резания задаются расположением ножей и патрона по отношению к диску (рис.11). На рис. 11а показаны основные угловые параметры заточки и установки ножа. Угол β – угол заточки или заострения ножа, образованный передней и задней гранями; γ – задний угол, между задней гранью ножа и плоскостью резания (угол затягивания); δ – угол резания между передней гранью и плоскостью резания ($\delta = \beta + \gamma$); ε – угол встречи. Величина угла заточки β выбирается в диапазоне 30-40⁰. Меньшее значение угла β приводит к получению более толстой щепы и ограничивается стойкостью режущих ножей. Положение баланса (соответственно, патрона) принято характеризовать углами α_1 и α_2 в системе координат XYZ, в которой ось OZ параллельна оси вращения диска, а плоскость YOX

параллельна плоскости диска.

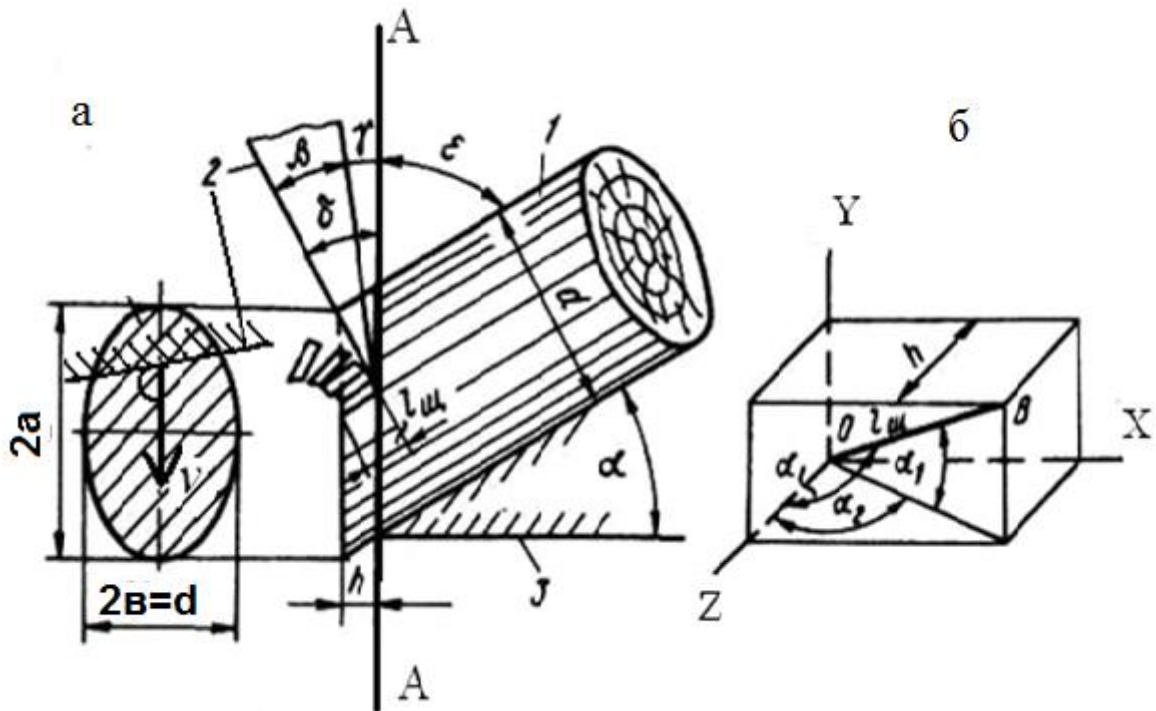


Рис. 11. Угловые параметры рубки древесины (а) и схема для определения длины щепы (б):
1 – баланс; 2 – нож; 3 – контрнож

Угол α_1 характеризует наклон патрона к горизонтальной плоскости; α_2 - угол разворота патрона в горизонтальной плоскости; α – угол между осью баланса и осью вращения диска. Существует зависимость $\cos \alpha = \cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2$.

Применяются различные варианты ориентации патрона (рис. 11б):

- 1) с одним углом наклона α_1 к горизонтальной плоскости; угол $\alpha_2 = 0$. В этом случае $\alpha_1 = \alpha$;
- 2) с углом наклона α_1 и с дополнительным углом разворота α_2 ;
- 3) с одним углом разворота α_2 в горизонтальной плоскости. В этом случае $\alpha_1 = 0$ и $\alpha_2 = \alpha$.

Первые два варианта – машины с наклонной подачей. Угол α_1 назначается из условия самоподачи балансов к диску под действием силы тяжести и принимается в диапазоне $\alpha_1 = 45-55^\circ$. Угол разворота обычно принимается равным $\alpha_2 = 10-30^\circ$, в некоторых конструкциях $\alpha_2 = 0$ (вариант торцево-продольного резания). Третий вариант –

машина с горизонтальной подачей, имеющей обычно угол разворота $\alpha_2 = 48-55^\circ$. Применительно к условиям работы дисковых рубительных машин основные параметры резания древесины показаны на рис.11а. Для упрощения изображения показан случай, когда угол разворота патрона $\alpha_2 = 0$ и $\alpha_1 = \alpha$ (рис.11б).

Эллипс отруба. При рубке баланса, наклоненного к плоскости диска, в сечении отруба образуется эллипс (см. рис.11а), характеризуемый большой ($2a$) и малой ($2b$) осями, которые определяются соотношениями:

$$2b = d; \quad 2a = d / \cos \alpha = d / (\cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2), \quad (2.2)$$

где d – диаметр баланса.

Длина щепы определяется углами наклона питающего патрона и выпуском ножей h . Из рис.11б, поясняющего процесс формирования щепы, следует, что длина щепы:

$$l_{щ} = h / \cos \alpha = h / (\cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2). \quad (2.3)$$

Условие непрерывности резания. На непрерывность резания древесины влияет несколько факторов: диаметр бревна d , углы наклона патрона, число режущих ножей z и радиус резания R_p (рис.12). Непрерывность резания с достаточной для практических расчётов точностью обеспечивается при условии, что большая ось эллипса отруба $2a$ (при $\alpha_2 = 0$) должна быть равна или больше расстояния АВ между соседними ножами на окружности резания:

$$2a \geq AB; \quad 2a = d / \cos \alpha_1 \geq 2R_p \cdot \sin(\varphi/2), \quad (2.4)$$

где $\varphi = 2\pi/z$ – угол между соседними ножами;
 z – число ножей.

Диаметр бревна, при котором осуществляется непрерывное резание, определяется из соотношения

$$d \geq 2R_p \cdot \cos \alpha_1 \cdot \sin(\pi/z). \quad (2.5)$$

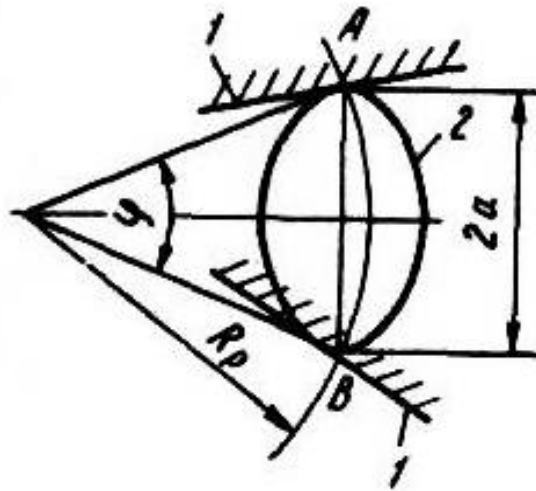


Рис. 12. Схема для определения непрерывности резания:
1 – ножи; 2 – эллипс отруба

2.7. Определение производительности рубительной машины

Производительность дисковых рубительных машин зависит от размеров перерабатываемой древесины, длины щепы, числа режущих ножей z и частоты вращения диска. В рубительную машину поступает древесина различного диаметра от 50-100 до 500-700 мм. Поэтому для расчета производительности машины вводят понятие эквивалентного диаметра древесины, который определяется как средняя квадратичная величина диаметров балансов в данной партии поставки штабеля

$$d_{\text{экв}} = \sqrt{\lambda_1 \cdot d_1^2 + \lambda_2 \cdot d_2^2 + \lambda_i \cdot d_i^2 + \dots + \lambda_m \cdot d_m^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot d_i^2} \quad (2.6)$$

где $d_1, d_2, d_i \dots d_m$ – средние диаметры брёвен по категориям (60-80 мм, 80-100 мм ... 350-400 мм и т.д.);

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_i \dots \lambda_m$ – относительные содержания отдельных категорий балансов в общем штабеле. Очевидно, $\sum_{i=1}^m \lambda_i = 1$.

Теоретическую производительность машины Q_T , можно определить по формуле

$$Q_T = \frac{3600 \cdot \pi \cdot d_{\text{экв}}^2}{4} \cdot k_l \cdot l_{\text{щ}} \cdot n_n \cdot z = 900 \frac{\pi d_{\text{экв}}^2 \cdot h \cdot k_l \cdot n_n \cdot z}{\cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2}, \text{ пл.м}^3/\text{ч} \quad (2.7)$$

где k_l – коэффициент неравномерности длины щепы. Для малоножевых машин $k_l = 0,80-0,85$, для многоножевых машин $k_l = 0,93-1,0$; n_n – номинальная частота вращения ротора, с^{-1} .

Фактическая производительность меньше теоретической, так как балансы поступают в машину не непрерывно, а с некоторым интервалом. Это учитывается введением коэффициента использования рабочего времени машины или коэффициента загрузки

$$k_i = t_p / (t_p + t_{xx}), \quad (2.8)$$

где t_p – время рубки одного баланса;

t_{xx} – среднее время холостого хода машины между рубкой соседних балансов.

Фактическая производительность Q , связана с теоретической зависимостью

$$Q = k_n \cdot Q_T = 900 \cdot k_n \cdot k_l \cdot \pi \cdot d_{\text{экв}}^2 \cdot l_{\text{щ}} \cdot n_n \cdot z, \text{ пл.м}^3/\text{ч} \quad (2.9)$$

Коэффициент загрузки k_n на основе практических данных принимается: для тихоходных малоножевых машин – $0,7-1,0$, для быстроходных многоножевых машин с геликоидальной поверхностью – $0,4-0,7$.

2.8. Силы, возникающие при отрубке щепы

Внедрение ножа в древесину сопровождается возникновением следующих усилий (рис.13):

- Передняя грань воздействует на древесину с нормальной силой давления F_1 и касательной силой трения между поверхностью ножа и древесиной F_{T1} . Суммарная сила на переднюю грань $\overline{R}_1 = \overline{F}_1 + \overline{F}_{T1}$.

- Задняя грань воздействует на вновь образуемую поверхность среза с нормальной силой давления F_2 и касательной силой трения

F_{T2} . Суммарная сила на заднюю грань $\bar{R}_2 = \bar{F}_2 + \bar{F}_{T2}$.

- При затупленном резце появляется сила сопротивления движению кромки резца P_k .

Силы трения F_{T1} и F_{T2} связаны с соответствующими нормальными силами F_1 и F_2 соотношениями

$$F_{T1} = f \cdot F_1 ; F_{T2} = f \cdot F_2 , \quad (2.10)$$

где f – коэффициент трения между материалом ножа и древесиной. Значения коэффициентов трения покоя дерева по дереву принимаются $f_n = 0,4-0,6$; металла по дереву при покое $f_n = 0,5-0,6$; при движении $f_d = 0,3-0,6$.

При постепенном внедрении ножа в древесину сила F_1 возрастает настолько, что приводит к сколу элемента щепы по плоскости o_1r , совпадающей с направлением волокон. В плоскости скалывания возникают нормальные и касательные напряжения, а в зоне контакта древесины с передней гранью ножа – напряжения смятия, приводящие к деформации участка волокон, прилегающего к граням резца. Следует отметить, что силы F_2 и F_{T2} , действующие на заднюю грань резца, не участвуют в формировании элемента щепы. Сопротивление скалыванию щепы зависит, в первую очередь, от площади скалывания (длины щепы $l_{щ}$) и от предела прочности древесины на скалывание вдоль волокон τ_{II} . Необходимое для скола элемента щепы усилие F_1 достигается только при определённой глубине внедрения резца, соответствующей толщине щепы $S_{щ}$. Для упрощения анализа отделения щепы методом скола рассмотрим случай взаимодействия ножа с древесиной, когда сумма угла встречи $(\delta + \varepsilon) = 90^\circ$ (однако, будем иметь в виду, что наиболее характерен случай $(\delta + \varepsilon) < 90^\circ$).

Разложим силу R_1 (см. рис.13) на две составляющие: R_{II} , совпадающую с направлением вдоль волокон, и R_{\perp} - нормальную к ним. Для упрощения анализа скола щепы будем считать ширину щепы равной единице, и, следовательно, указанные силы – действующими на единицу длины ножа.

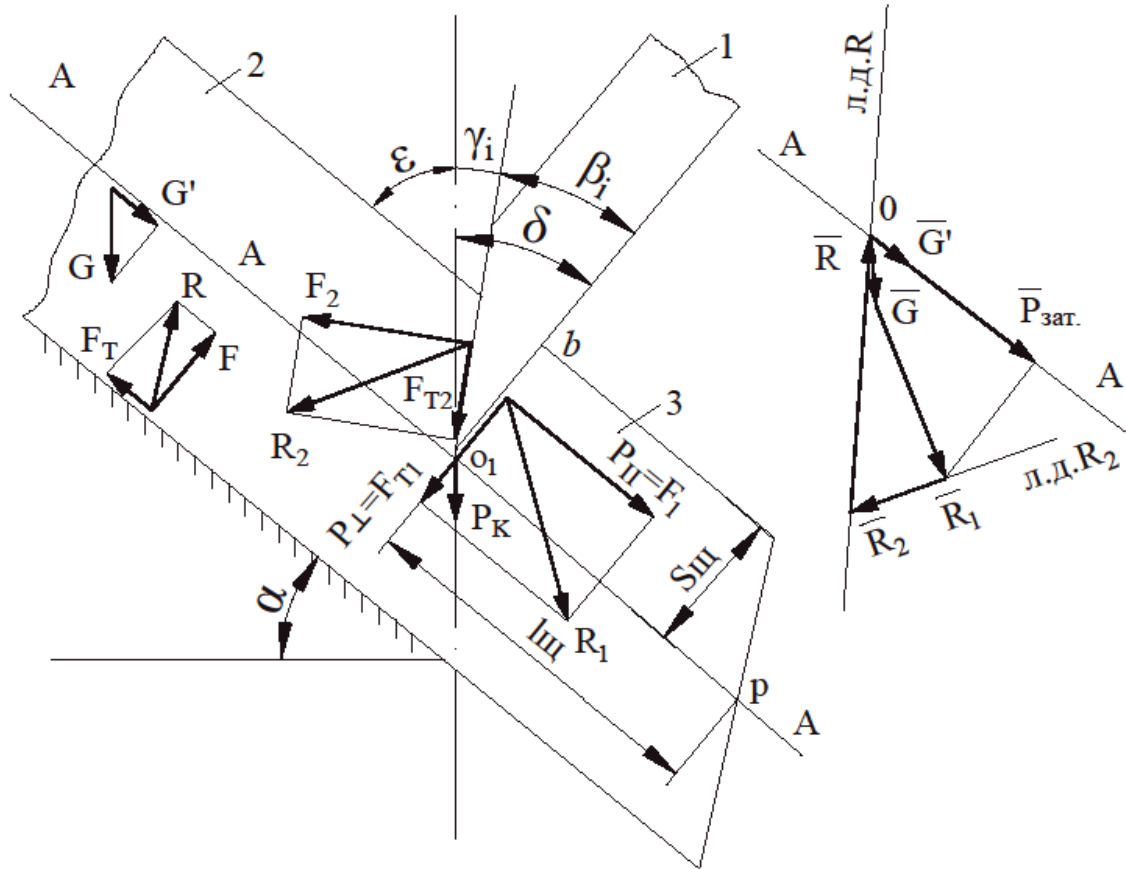


Рис. 13. Схема сил при взаимодействии резца с древесиной:
1 – режущий нож; 2 – древесина; 3 – элемент щепы

Сила P_{Π} , необходимая для отделения элемента щепы, состоит из силы скалывания $P_{ск}$ и добавочного усилия $P_{доб}$ при сдвиге щепы, обусловленного трением между элементом щепы и древесиной по поверхности скола o_1p .

$$P_{\Pi} = P_{ск} + P_{доб} = l_{щ} \cdot \tau_{\Pi} + f_n \cdot P_{\perp}, \quad (2.11)$$

где $l_{щ} = o_1p$ – длина щепы, м;

τ_{Π} – предел прочности древесины на скалывание вдоль волокон;

f_n – коэффициент трения покоя между элементом щепы и древесиной;

P_{\perp} – сила, нормальная к плоскости скалывания волокон древесины, (в нашем случае $P_{\Pi} = F_1$ и $P_{\perp} = F_{T1}$).

$$\text{Следовательно } F_1 = l_{щ} \cdot \tau_{\Pi} + f_n \cdot F_{T1} = l_{щ} \cdot \tau_{\Pi} + f_n \cdot f_D \cdot F_1. \quad (2.12)$$

Откуда

$$F_1 = l_{щ} \cdot \tau_{II} / (1 - f_n \cdot f_D). \quad (2.13)$$

Сила F_1 может быть найдена также из условия смятия древесины передней гранью резца по площадке o_1b . При этом считаем, что по всей площадке контакта действуют давления, равные пределу сопротивления древесины смятию вдоль волокон $\sigma_{смп}$. Поскольку длина площадки o_1b в нашем случае равна толщине щепы $S_{щ}$, то очевидно $F_1 = S_{щ} \cdot \sigma_{смп}$, а с учётом (2.13) толщина щепы

$$S_{щ} = l_{щ} \cdot \tau_{II} / [\sigma_{смп} (1 - f_n \cdot f_D)]. \quad (2.14)$$

3. КОТЛЫ ДЛЯ ВАРКИ СУЛЬФИТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

3.1. Форма корпуса котлов

В варочных цехах целлюлозных заводов применяются котлы с различной формой корпуса. Формы котлов непрерывно совершенствуются, и наиболее распространенные конструкции представлены на рис.14. На рис.14а показана форма корпуса котлов старой конструкции. Недостаток такой формы корпуса состоит в том, что при заполнении котла щепой в верхней части котла остается пространство, не заполненное щепой. Для его заполнения щепу приходится разгребать к стенкам вручную, что является весьма трудоемкой операцией, требующей значительных затрат времени.

При разгрузке котлов такого типа в нижнем сферическом днище остается сваренная целлюлоза, особенно когда удаление целлюлозы производится выдувкой. Оставшуюся целлюлозу приходится вымывать струей воды. На рис.14 б изображена форма корпуса котлов современной конструкции. Корпус состоит из верхней конической части с углом раскрытия 90° , что согласуется с углом естественного откоса щепы, равным $45-55^\circ$ и позволяет полностью заполнить верхнюю часть котла щепой даже без применения парового уплотнителя.

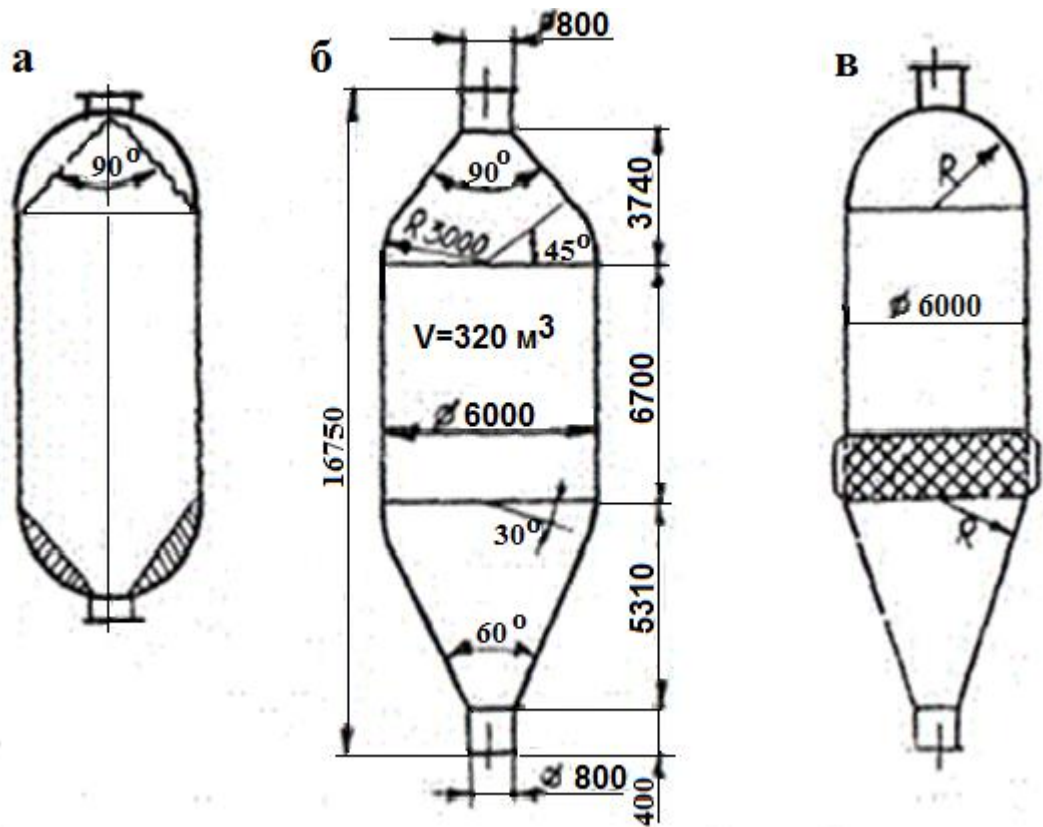


Рис.14. Форма корпуса котла

Верхний конус соединяется с цилиндрической частью котла с помощью тороидального перехода, позволяющего избежать дополнительных напряжений в корпусе котла от действия краевой силы и момента, которые возникают в месте сочленения, в результате различной способности к деформации под действием внутреннего давления. Соединение цилиндрической части с нижним конусом производится также тороидальным переходом. Нижний конус имеет угол раскрытия 60° , что обеспечивает полное удаление из котла сваренной целлюлозы.

На рис.14 в показана форма корпуса котла современной конструкции, отличающаяся от предыдущих тем, что заборное сито циркуляционно-подогревательной системы располагается вровень с внутренней поверхностью котла, благодаря чему полезный объем котла увеличивается на $1-4 \text{ м}^3$ и соответственно увеличивается выход целлюлозы за варку (на $80-300 \text{ кг}$).

Основной характеристикой котла является его объем нетто, т.е. полезный объем, при вычислении которого не учитывается

пространство, занимаемое ситами циркуляционно-подогревательной системы. Объем котлов регламентирован ОСТ 26-08-328-79. Объем котлов согласно ОСТу должен выбираться из следующего ряда:

160, 200, 250, 320 и 400 м³.

Пример обозначения котлов - КВСи-320-ОСТ 26-08-328-79. При модернизации варочных котлов допускается применение промежуточных объемов за счет уменьшения высоты цилиндрической части котла. Второй характеристикой котлов является отношение высоты к диаметру. Высота котла - это расстояние между верхним и нижним фланцами котла. Для котлов, предназначенных для варки сульфатной целлюлозы, Н/Д находится в пределах от 2,5 до 2,98. Большее отношение характерно для котлов меньшей емкости с более коротким циклом варки, в частности, для варки жесткой целлюлозы.

3.2. Расчет корпуса котла на прочность

Расчет элементов корпуса котла на прочность производится по ГОСТ 14249-80 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность». ГОСТ применим при условии, что отклонения от геометрической формы и неточности изготовления элементов не превышают допусков по нормали МН 72-62 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Технические требования».

Материалы корпуса котла должны удовлетворять техническим условиям и стандартам, а их механические характеристики должны быть подтверждены сертификатами заводов-поставщиков [7].

Варочные котлы относятся к тонкостенным сосудам, так как отношение $D_{нар}/D_{вн} < 1,2$, при этом считается, что напряжения в стенке котла распределяются по толщине равномерно. Расчет, согласно ГОСТ, производится по третьей теории прочности (в ряде зарубежных стран: Швеции, Финляндии - по четвертой теории прочности).

Толщина стенки цилиндрической части котла рассчитывается по формуле

$$S = \frac{pD}{2\varphi[\sigma] - p} + C + C_1,$$

где p - расчетное давление;

D - внутренний диаметр котла;

φ - коэффициент прочности продольного сварного шва.

Для двустороннего сварного шва котлов $\varphi = 0,95$;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение. Оно определяется по формуле

$$[\sigma] = \eta\sigma^*,$$

где σ^* - нормативное допускаемое напряжение, выбираемое из таблицы ГОСТа в зависимости от материала и температуры корпуса;

η - поправочный коэффициент, учитывающий условия эксплуатации сосуда, взрыво-пожароопасность и токсичность обрабатываемой среды. Значения коэффициента от 0,85 до 1,0 определяются проектирующей организацией. Для варочных котлов коэффициент η принимается равным 1,0;

C - прибавка на коррозию, назначаемая с учетом скорости коррозии и срока службы сосуда,

$$C = V\tau,$$

где V - скорость коррозии, мм/год, выбираемая из справочников;

τ - срок службы сосуда. Для варочных котлов расчетный срок службы принимается равным 22 годам, т.е. сроку амортизации котла;

C_1 - прибавка по технологическим, монтажным и другим условиям.

Под рабочим давлением в сосуде понимается максимальное избыточное давление, возникающее при нормальном протекании

рабочего процесса без учета допустимого кратковременного повышения давления во время действия предохранительных устройств.

Расчетным, как правило, является рабочее давление. Гидростатическое давление столба жидкости при определении расчетного давления учитывается, если оно превышает 5 % рабочего. При расчете цилиндрической и нижней конической части котла гидростатическое давление следует учитывать. Котлы рассчитываются на максимальное рабочее давление 1,2 МПа.

Для котлов, изготовленных из биметалла, т.е. из основного слоя стали 20К и слоя нержавеющей стали - прочно соединенных металлургическим способом, прибавка на коррозию принимается равной толщине слоя нержавеющей стали 4-6 мм. Она используется также для округления расчетного размера до ближайшей стандартной толщины листа.

Расчет толщины конических частей котла производится по следующим формулам:

$$S_1 = \frac{PDy}{4\varphi[\sigma]} + C + C_1,$$

$$S_2 = \frac{PDp}{2\cos\alpha(\varphi[\sigma] - P)} + C + C_1,$$

где y - коэффициент формы днища, выбираемый из графика ГОСТа в зависимости от отношения r/D и угла α (рис.15).

При $r/D = 0,5$ и $\alpha = 30^\circ$ (нижний конус) $y = 1,1$.

При $r/D = 0,5$ и $\alpha = 45^\circ$ (верхний конус) $y > 1,1$

В качестве окончательной толщины стенки конической части выбирается наибольшее из полученных значений. В приведенных формулах. Dp - расчетный диаметр для днищ с тороидальным переходом, вычисляемый по формуле:

$$Dp = D - 2[r(1 - \cos \alpha) + 10 S \sin \alpha].$$

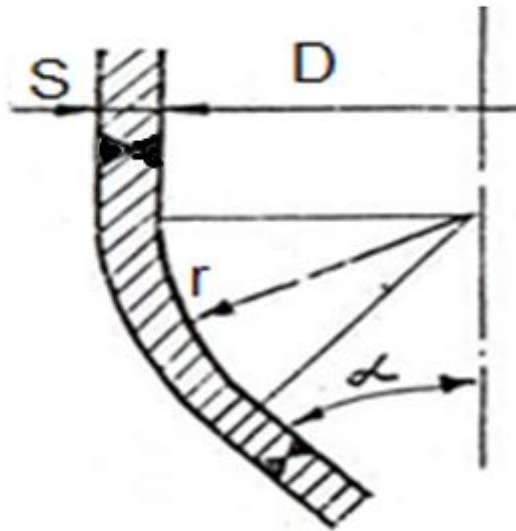


Рис.15. Коническое днище с тороидальным переходом

Прибавки S и S_1 принимаются так же, как и при расчете цилиндрической части котла.

С целью экономии металла расчет толщины конических частей обычно производится в нескольких местах по длине образующей, поэтому котел имеет различную толщину стенки по высоте.

3.3. Биметаллические варочные котлы

Первоначально внутренняя поверхность котлов для варки сульфитной целлюлозы защищалась свинцовыми листами, затем в начале XX в., стала применяться защита керамическими плитками. С 1960г. в нашей стране устанавливаются только биметаллические котлы. Биметаллические котлы имеют следующие преимущества перед футерованными [7]:

1. Увеличение рабочего объема котла, а следовательно, и производительности на 10-15 % за счет отсутствия футеровки.

2. Увеличение плотности загрузки щепой на 10-20 % благодаря тому, что щепы хорошо скользит по гладкой внутренней поверхности котла.

3. Уменьшение объема ремонтных работ.

4. Снижение массы варочной установки в 1,7-1,8 раза.

5. Уменьшение загрязнения целлюлозы минеральными включениями.

Однако стоимость биметаллических котлов на 85 % выше обмурованных.

В настоящее время котлы изготавливаются из биметалла марки 20К+0Х17Н16МЗТ. Зарубежные фирмы применяют взамен основного слоя из стали 20К низколегированную сталь типа 16ГС (добавка марганца и кремния). Толщина слоя нержавеющей стали составляет 3-6 мм. Одним из основных требований к плакирующему слою является отсутствие межкристаллической коррозии, резко снижающей прочность металла и приводящей к преждевременному выходу котла из строя. Необходимо, чтобы слой нержавеющей стали содержал меньше углерода (0,06-0,08 %), так как такое снижение препятствует возникновению межкристаллической и других видов коррозии. В целях обеспечения более высокой стойкости плакирующего слоя биметалла, предназначенного для сульфитварочных котлов, разработаны рекомендации по применению нержавеющей сталей следующих марок: 0Х23Н28МЗДЗТ, 000Х16Н15МЗ и 000Х21Н21М4Б. Все эти стали имеют пониженное содержание углерода, а также добавки ниобия и ванадия, что препятствует возникновению в металле межкристаллической и точечной коррозии.

3.4. Арматура варочного котла

Для осуществления необходимых технологических операций варочный котел оснащается соответствующей арматурой. Верхняя горловина котла на время варки закрывается либо плоской крышкой (рис.16), присоединяемой к фланцу горловины откидными болтами, либо одним из типов механизированных крышек б. Наиболее часто из механизированных крышек применяются крышки с пневмоприводом типа обратного клапана, когда крышка прижимается к уплотняющей поверхности давлением в котле, крышки с байонетным затвором и крышки с шаровым клапаном.

В верхней горловине располагается сдувочная сетка 5, препятствующая попаданию щепы в сдувочную линию 7 при

заполнении котла кислотой и при проведении сдувок. Очистка сетки производится путем подачи пара в штуцер 4. Сетка изготавливается из нержавеющей стали и имеет отверстия диаметром 6-8 мм.

В верхней части конуса располагается паровой уплотнитель щепы 8, а несколько ниже - коллектор 3, в который подается теплая вода для промывки котла после освобождения его от сваренной целлюлозы. В верхнем конусе также располагается разбрызгивающее устройство 2, в которое подается нагретая кислота из циркуляционно-подогревательной системы котла. В нижней части цилиндрической обечайки котла располагается заборное сито 9 циркуляционно-подогревательной системы. Кислота через штуцеры 20 отбирается насосом на подогрев.

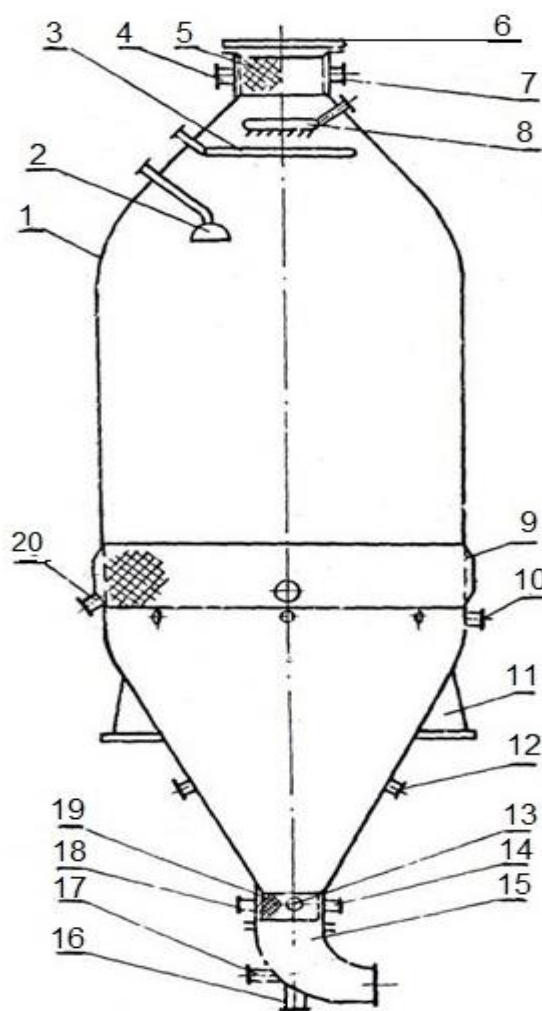


Рис.16. Варочный котел с арматурой

Под ситом располагается коллектор и конические сопла 10, через которые подается обратный щелок для разбавления массы при выгрузке котла. Сопла расположены под углом 60° к радиусу котла и повернуты на 45° относительно вертикальной оси, что позволяет придать массе, находящейся в нижнем конусе, вращательное движение, способствующее более быстрой разгрузке котла. Штуцеры 12 служат для подачи в котел пара. В нижней горловине располагается сито 19, через которое подается циркуляционный щелок из штуцера 14 или обратный щелок из штуцера 18 при опоражнивании котла. Здесь же расположен штуцер 13 для подачи пара.

К нижней горловине присоединяется выдувное колено 15 на котором располагается штуцер 16 для подачи пара в случае образования пробки в нижней горловине. Там же расположен паровой штуцер 17, через который толчками подается пар при образовании пробки из сваренной целлюлозы в выдувном колене или в запорном клапане. Запорный клапан расположен после выдувного колена. Корпус 1 котла имеет четыре опорные лапы 11.

Циркуляционно-подогревательная система котла служит для выравнивания температуры и концентрации кислоты, поэтому реакции взаимодействия кислоты с древесиной протекают равномерно по всему объему котла. Это позволяет получать целлюлозу более равномерного качества и снизить количество непровара. Принципиальная схема циркуляционно-подогревательной системы показана на рис.17.

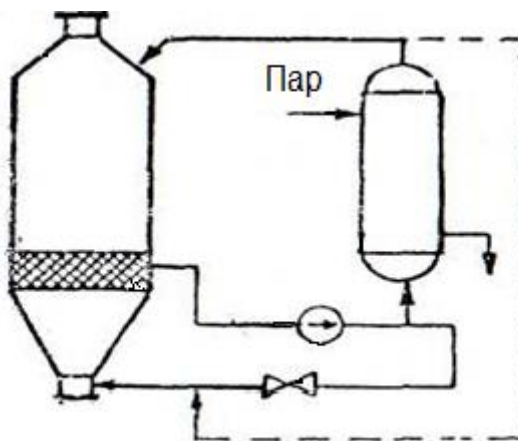


Рис.17. Циркуляционно-подогревательная система котла для варки сульфитной целлюлозы

В цилиндрической части котла циркуляция кислоты идет сверху вниз, а в нижнем конусе, чтобы уменьшить уплотнение щепы во время варки и улучшить условие удаления сваренной целлюлозы, - снизу вверх. В нижнюю часть котла подается ненагретая кислота. Это объясняется тем, что в нижней части котла давление больше за счет гидростатического столба жидкости, поэтому количество растворенного в кислоте SO_2 больше, вследствие чего пропитка и варка здесь идут быстрее. Выравнивание скоростей процесса варки достигается за счет более высокой температуры в цилиндрической части котла, куда подается нагретая кислота. В нижний конус направляется примерно одна треть циркулирующего щелока, остальное через подогреватель идет в верхнюю часть котла. Кратность циркуляции варочной кислоты составляет четыре-шесть объемов котла в час, исходя из этого выбирается производительность циркуляционного насоса. Требуемый напор, развиваемый насосом, составляет 20 м. Заборное сито циркуляционно-подогревательной системы состоит из отдельных секций с длиной по хорде 600-650 мм и крепится к кольцу, которое приварено к внутренней поверхности котла. Сито имеет отверстия диаметром 6-8 мм, расположенные по вершинам равнобедренных треугольников, с шагом по окружности 10,2 мм. Подогреватели кислоты - двухходовые, с плавающей головкой, что позволяет избежать температурных напряжений в корпусе подогревателя и греющих трубах. При эксплуатации подогреватель необходимо вводить в работу постепенно, нельзя сразу давать большой расход греющего пара, так как может произойти перекоп плавающей головки в результате одностороннего нагрева трубок в верхней части и вырыв их из трубной решетки.

4. УСТАНОВКИ НЕПРЕРЫВНОЙ ВАРКИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ «КАМЮР»

4.1. Схема и работа установки непрерывной варки целлюлозы «Камюр»

Проблема непрерывной варки целлюлозы решается двумя

различными способами:

1. Непрерывная варка с сохранением основных параметров периодической варки сульфатной целлюлозы: температуры, давления, времени проведения процесса и выхода конечного продукта.

2. Скорая непрерывная варка при повышенных режимах процесса и повышенном выходе целлюлозы (60-85 %). Время варки сокращается до 20-50 мин.

Первый способ удачно реализован в установках с котлом вертикального типа фирмы «Камюр». Появившись в промышленной эксплуатации в 1947 г., установки достигли в одном агрегате производительности 1275 т/сут. В настоящее время на этих установках вырабатывается более половины сульфатной целлюлозы, производимой в мире.

Скорая непрерывной варка целлюлозы реализована в многотрубных установках «Пандия», в которых целлюлоза может вырабатываться по сульфатному и нейтрально-сульфитному способу с использованием как древесного сырья из любых пород древесины, так и из соломы однолетних растений.

Основными преимуществами непрерывной варки целлюлозы по сравнению с периодической являются высокие технико-экономические показатели: низкая себестоимость продукции и высокая производительность при стабильном качестве вырабатываемой продукции, которые достигаются за счет высокой степени автоматизации установок, малочисленности обслуживающего персонала, меньших удельных расходов материалов, энергии и сырья, уменьшения производственных площадей. Применение установок непрерывной варки предполагает комплексную перестройку производства, в первую очередь, подготовительных и вспомогательных цехов и отделов путем перевода их также на работу по непрерывному циклу с широким использованием механизации и автоматизации технологических процессов.

В установках непрерывной варки целлюлозы «Камюр» (рис.18) щепы из бункера 1 поступает в воронку 2 и из нее в дозатор-расходомер 3, который служит для подачи на варку определенного количества щепы. Питатель низкого давления в качестве запорного устройства разделяет зоны атмосферного

давления 4 в дозаторе и избыточного в пропарочной цистерне. В пропарочной цистерне 5 под действием нагрева паром из щепы удаляется воздух, что улучшает пропитку щепы в варочном котле. В цистерну подается свежий пар и пары вскипания из сепаратора крепких щелоков 15 в соотношении 2:3. Давление в цистерне поддерживается в пределах от 0,05 до 0,17 МПа. Из цистерны пропариваемая щепа поступает в питающую камеру 6, где впервые соприкасается со щелоком. Питающая камера обеспечивает бесперебойную работу питателя высокого давления 7 и служит гидравлическим затвором, препятствующим попаданию воздуха, пара и пены в верхнюю часть варочного котла 8. Питатель высокого давления служит для подачи щепы и щелока в котел, а также разделяет зоны высокого давления в котле, где давление в верхней части составляет 1,05-1,2 МПа, и низкого давления в питающей камере.

Суспензия, состоящая из щепы и щелока с гидромодулем примерно 1:30, поступает в загрузочное устройство варочного котла 9, где производится отделение избыточного транспортирующего щелока и доведение гидромодуля до 1:4. В верхней части котла располагается зона пропитки щепы, а в нижней - зона нагрева 10. В зону нагрева через центральную трубу подается горячий щелок, нагретый в теплообменниках 11. После зоны нагрева следует зона варки 12, а затем зона оттяжки горячего черного щелока и горячей диффузионной промывки 13. Из верхней части зоны оттяжки крепкий черный щелок направляется в сепаратор 15, откуда пары вскипания отбираются в пропарочную камеру 5, а сгущенный щелок поступает на регенерацию.

Черный щелок из нижней части зоны оттяжки охлаждается в теплообменнике 14 и через центральную трубу вновь поступает в верхнюю часть зоны оттяжки крепкого черного щелока.

В нижней части котла производится охлаждение массы и выдувка в выдувной резервуар 16. Из выдувного резервуара масса направляется на вибрационные сортировки и затем на промывку на вакуум-фильтры.

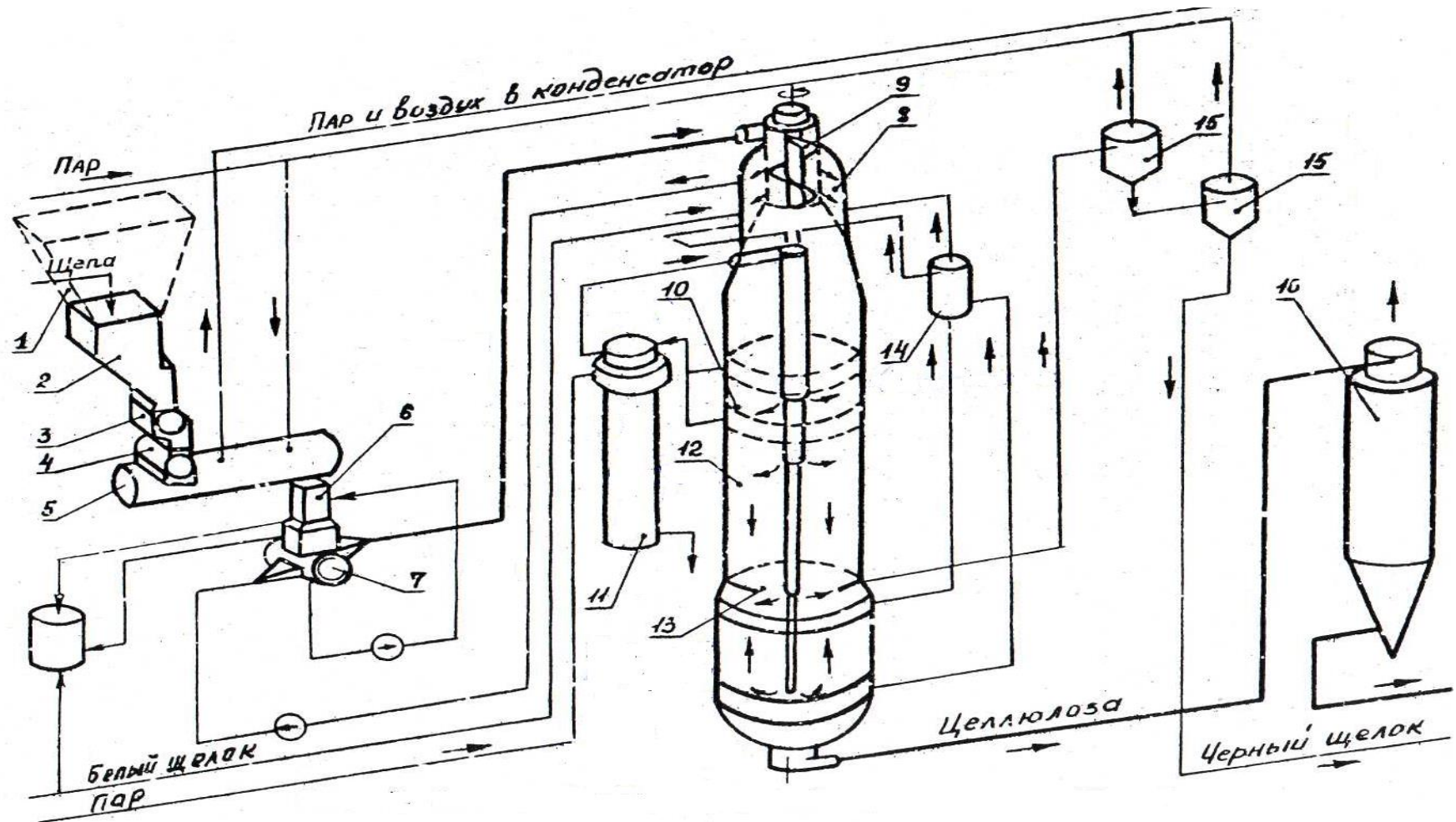


Рис.18. Схема установки непрерывной варки целлюлозы «Камюр»

4.2. Дозатор-расходомер щепы

Дозатор предназначен для подачи определенного количества щепы на варку и является узлом, от устойчивой и выверенной работы которого зависит стабильность качества вырабатываемой целлюлозы, а также расход химикатов и пара на варку.

Физико-технологические показатели щепы, поступающей на варку, существенно меняются в зависимости от времени года, условий поставки и хранения древесины. Щепа может иметь различную влажность, температуру, фракционный состав и состав по породам древесины, поэтому для получения целлюлозы с заданными свойствами требуется различное количество химикатов и пара в зависимости от физико - технологических свойств щепы.

Для учета изменяющихся свойств щепы и оперативного реагирования на их изменения периодически (по мере необходимости) проводится тарировка дозатора. При различной частоте вращения ротора измеряется фактический расход щепы через дозатор и определяются ее показатели. На основе результатов измерений и данных проведенных анализов рассчитывается расход варочных реагентов. Результаты расчетов сводятся в таблицу и передаются варщикам для использования в работе. Схема дозатора-расходомера щепы показана на рис.19.

Корпус дозатора выполнен ассиметричным, поэтому скорости движения щепы вдоль стенок неодинаковы. Скорость движения щепы вдоль вертикальной стенки больше, чем вдоль наклонной, что препятствует образованию сводов из щепы и тем самым обеспечивается бесперебойное поступление щепы к ротору дозатора.

Наклонная стенка корпуса располагается под углом 60° к горизонту, чем гарантируется движение щепы вдоль стенки, так как он больше угла естественного откоса щепы $45-55^\circ$.

На выходном патрубке расположена специальная заслонка (на рис.19 она показана штриховой линией), с помощью которой отбирается щепа на анализы при тарировке дозатора. Щепа сыпается по заслонке в установленный к дозатору поддон.

Конструктивные параметры связаны с производительностью

дозатора в пл.м³/ч формулой

$$Q_{\text{ч}} = 60ZFln\varphi,$$

где Z - число карманов;

F - площадь поперечного сечения одного кармана, м²;

n - частота вращения ротора, об/мин;

φ - коэффициент заполнения карманов ротора щепой, $\varphi=0,8$.

Производительность дозатора должна соответствовать производительности установки.

Ротор дозатора имеет 6-8 карманов. При такой числе карманов достигается более полное заполнение карманов щепой и хорошее их опоражнивание в нижнем положении. Наклон лопастей улучшает сход с них щепы.

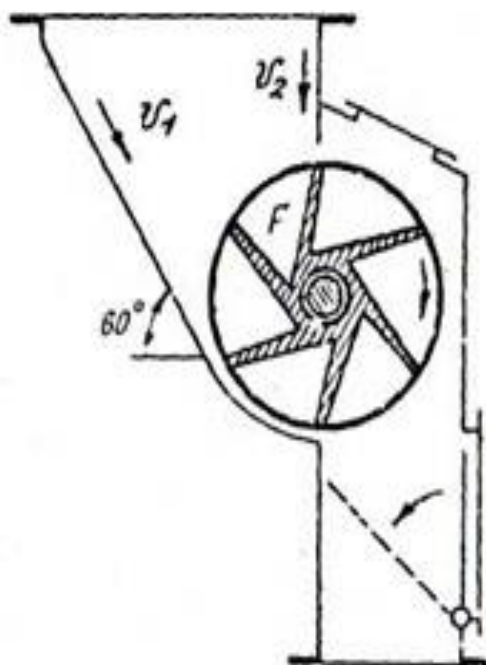


Рис.19. Дозатор-расходомер щепы

Часовой расход щепы, обеспечивающий заданную производительность установки $Q_{\text{ч}}$, может быть определен по

формуле

$$Q_{\text{час}} = \frac{0,88Q}{24q\gamma\xi'}$$

где 0,88 - коэффициент перевода воздушно-сухих тонн целлюлозы в абсолютно-сухие;

Q - производительность установки, т/сут;

q - выход целлюлозы (0,48-0,52);

γ - содержание абсолютно - сухого древесного вещества в одном плотном кубическом метре при определенном удельном весе и влажности, г/м³;

ξ - коэффициент полндревесности, $\xi = 0,32-0,34$.

Путем совместного решения уравнений можно определить один из параметров дозатора, предварительно задавшись остальными.

Основные параметры дозатора установки производительностью 450 т/сут при двухпоточной системе питания котла щепой:

Объем карманов, м ³	0,1
Диаметр ротора, мм	600
Число карманов.....	7
Толщина лопасти ротора, мм.....	20
Частота вращения ротора, об/мин.....	9,23-27,7

Корпус дозатора выполняется стальным из нержавеющей стали толщиной 12 мм. Ротор литой из нержавеющей стали, диаметр вала ротора 150 мм, крышки корпуса чугунные, подшипники ротора шариковые радиальные. Привод дозатора состоит из электродвигателя мощностью 4,5 кВт, вариатора для бесступенчатого регулирования частоты вращения ротора, червячного редуктора и цепной передачи. Цепная передача позволяет жестко фиксировать требуемую частоту вращения ротора.

На установках большой производительности привод дозатора

осуществляется от электродвигателя постоянного тока, позволяющего бесступенчато регулировать частоту вращения.

Корпус дозатора имеет смотровое окно для контроля движения щепы и два люка, через которые можно очищать ротор и стенки корпуса от смолы и прилипших опилок.

4.3. Питатель низкого давления

Питатель низкого давления (рис.20) устанавливается на пропарочной цистерне и предотвращает прорыв пара и газов из пропарочной цистерны в дозатор и загрузочную воронку.

Корпус питателя отливается из стали 10Х13Л. По бокам корпус имеет две прямоугольные щели, через одну из которых во время работы отводится пар из карманов ротора. Ширина щелей должна быть такой, чтобы их сечение полностью перекрывалось наружной поверхностью лопастей ротора, в противном случае пар из карманов будет перетекать в загрузочный патрубок питателя и при расширении в нем препятствовать заполнению карманов ротора щепой. Внутри загрузочного патрубка устанавливается шабер 5, препятствующий попаданию щепы между корпусом и ротором.

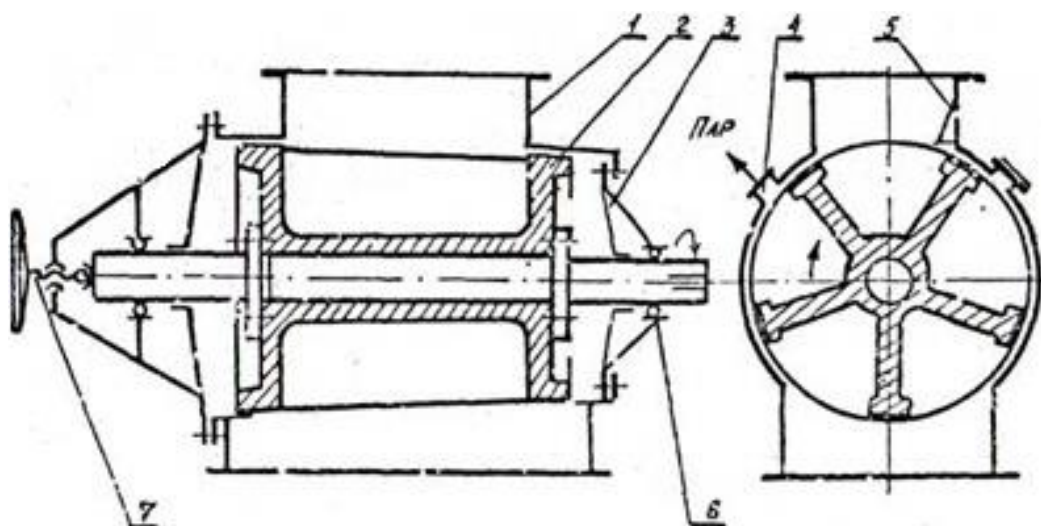


Рис.20. Питатель низкого давления: 1-корпус; 2-ротор; 3-крышка; 4-патрубок для отвода пара из карманов ротора; 5-шабер; 6-подшипник; 7-механизм присадки ротора

Ротор питателя литой из углеродистой стали, имеет по наружной поверхности, соприкасающейся со статором, наплавку из монель-металла толщиной 4-5 мм (монель-металл - коррозионностойкий антифрикционный материал, в состав которого входят: 60 % никеля, 35 % меди и остальное – железо, марганец, кремний).

Ротор имеет конусность 1:20, что позволяет регулировать зазор между ротором и статором с помощью винтового механизма присадки ротора 7. Нормальный зазор должен быть равен 0,1 мм.

В последних конструкциях питателя низкого давления для устранения износа корпуса в него запрессовывается втулка из монель-металла. Корпус отливается из углеродистой стали 20Л. Кроме того, корпус снабжается специальным кожухом из тонкой листовой стали. В этот кожух подается пар с температурой 100 °С для нагрева корпуса перед пуском питателя в работу во избежание заклинивания ротора в корпусе, так как ротор быстрее нагревается паром из пропарочной цистерны, чем корпус. Сальники и подшипники питателя охлаждаются проточной водой.

Питатель низкого давления установки «Камюр» производительностью 450 т/сут при двухпоточной системе питания котла щепой имеет следующие параметры:

Диаметр ротора, мм	580/620
Емкость карманов, м ³	0,165
Число карманов	5
Частота вращения ротора, об/мин.....	25
Размеры загрузочного патрубка, мм.....	800x500
Размеры разгрузочного патрубка, мм.....	1250x800

Привод питателя состоит из асинхронного двигателя мощностью 1,7 кВт, червячного редуктора и цепной передачи. Частота вращения ротора может изменяться путем смены звездочек цепной передачи.

Объем карманов ротора питателя низкого давления рассчитывается по формуле

$$V = \frac{Q}{60n\varphi'}$$

где Q – часовая производительность установки по щепе, м³/ч;
 n - частота вращения ротора, об/мин;
 φ - степень заполнения карманов ротора щепой, $\varphi = 0,7$.

При определении размеров ротора следует учитывать объем, занимаемый лопастями и центральной частью ротора.

4.4. Пропарочная цистерна

Пропарочная цистерна предназначена для удаления из щепы воздуха с целью ее лучшей пропитки в котле, выравнивания влажности и подогрева до температуры 105 °С.

В цистерну подается свежий пар и пары вскипания из сепаратора черных щелоков. Давление в цистерне поддерживается автоматически с помощью регулирующего клапана в пределах 0,05-0,17 МПа. Пары и неконденсируемые газы направляются в теплообменник. Время пропарки меняется от 1,5 до 3 мин.

Корпус пропарочной цистерны (рис.21) изготавливается из биметалла толщиной 10 мм. Плакирующий слой из нержавеющей стали толщиной 2 мм предохраняет корпус от коррозии, а нижнюю часть корпуса - также и от износа движущейся щепой. В корпусе имеется два прямоугольных патрубка 1 и 7 для входа и выхода щепы. Для отвода выделяющихся газов и воздуха служит патрубок 2, внутри которого располагается сетка, предотвращающая унос щепы с воздухом и газами. У входного патрубка и напротив выходного имеются смотровые окна.

Вал шнека изготавливается из трубы и снаружи защищается листами нержавеющей стали толщиной 2 мм. Лопастей шнека выполнены из нержавеющей стали, патроны вала - сварные, цапфы снаружи закрыты втулками из нержавеющей стали. Вал устанавливается в корпусе эксцентрично либо концентрично. Крышки цистерны эллиптические, с выпуклостью внутрь корпуса, или плоские. Корпуса подшипников шнека крепятся на укосинах, приваренных к крышкам. Подшипники и сальники охлаждаются водой. Корпус устанавливается на двух опорах, опора со стороны привода шнека закреплена, вторая опора - плавающая, так как при

работе происходит тепловое удлинение цистерны. Снаружи корпус покрыт тепловой изоляцией. Привод шнека состоит из асинхронного двигателя, редуктора и цепной передачи.

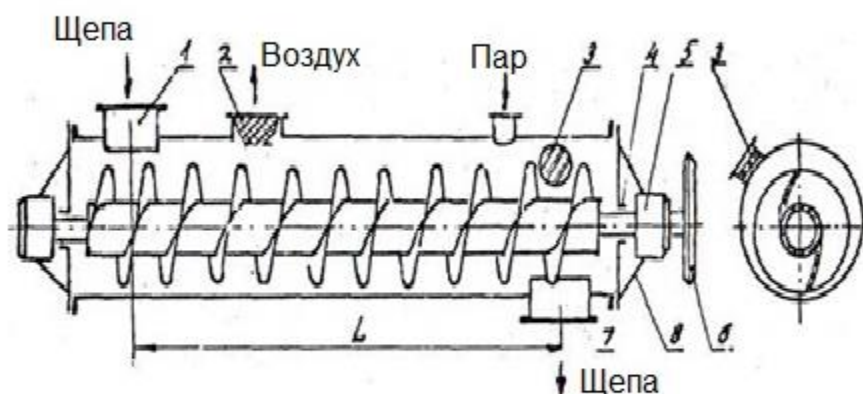


Рис.21. Пропарочная цистерна: 1-патрубок для подачи щепы; 2-патрубок с сеткой; 3-смотровое окно; 4-сальник; 5-подшипник; 6-звездочка привода; 7-патрубок для выхода щепы; 8-укосины для крепления подшипников

Основные параметры пропарочной цистерны установки производительностью 450 т/сут при двухпоточной системе питания котла щепой:

Диаметр цистерны, мм.....	1500
Диаметр шнека, мм.....	1150
Диаметр трубы шнека , мм.....	426
Толщина лопасти шнека, мм.....	6
Расположение шнека.....	эксцентрическое
Частота вращения шнека, об/мин.....	9
Мощность электродвигателя, кВт.....	9,5

К усовершенствованиям пропарочной цистерны следует отнести: изготовление корпуса цистерны целиком из нержавеющей стали (в этом случае не нужно проводить ремонтные работы по замене лакирующего слоя, изнашиваемого щепой); подача пара осуществляется не сверху цистерны, а снизу сбоку через паровой коллектор и отверстия в корпусе; отвод воздуха из цистерны снизу,

так как воздух тяжелее пара и скапливается внизу цистерны. При отводе воздуха из верхней части цистерны вместе с ним уходит часть пара, что приводит к его перерасходу. Наклонная пропарочная цистерна с отводом воздуха снизу показана на рис.22.

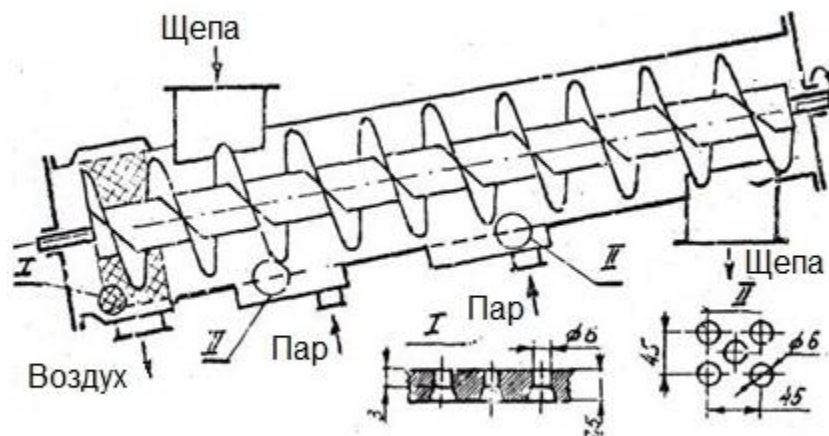


Рис.22. Наклонная пропарочная камера с отводом воздуха снизу

При проектировании пропарочной цистерны диаметр шнека определяется по следующей формуле

$$Q = 47D^3 sn\varphi,$$

где Q - часовая производительность по щепе, м³/ч;

D - диаметр шнека, м;

φ - коэффициент заполнения цистерны, $\varphi = 0,4-0,6$;

s - шаг шнека, принимаемый в пределах $(0,45-0,49)D$, м.

n - частота вращения шнека, об/мин;

Длина цистерны, т.е. расстояние между осями входного и выходного патрубков, рассчитывается по формуле

$$L = sn\tau,$$

где τ - время нахождения щепы в пропарочной цистерне.

4.5. Питающая камера (труба)

Питающая камера (рис.23) предназначена для бесперебойного заполнения карманов питателя высокого давления щелой с использованием постоянно циркулирующего щелока, который является транспортирующей средой. Камера также служит гидрозатвором, предотвращающим попадание воздуха, пара и пены в котел. Попадание в верхнюю часть котла горячей газообразной среды вызывает гидроудары и поломки, в первую очередь, трубопроводов.

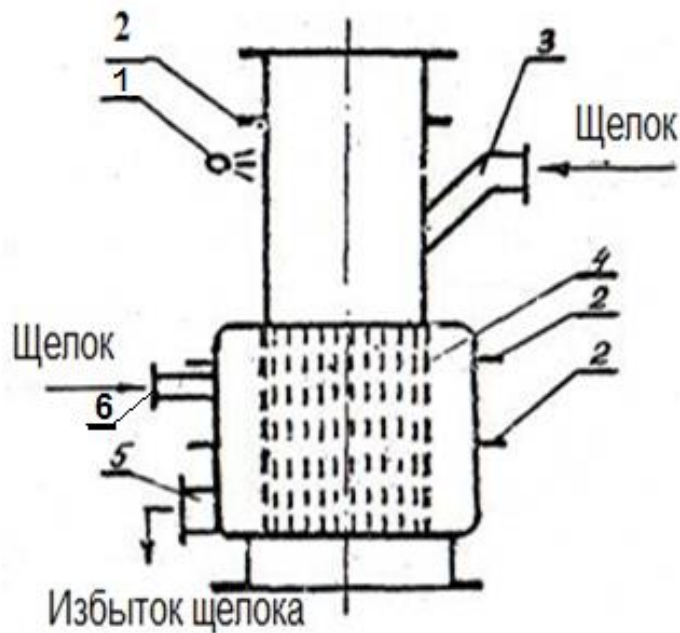


Рис.23. Питающая камера: 1-датчик уровня с радиоактивным излучением; 2-ребра жесткости; 3-наклонный патрубок для подачи циркуляционного щелока; 4-сито со шлицевыми отверстиями; 5-патрубок для отвода избыточного щелока; 6-штуцер для подачи щелока из бака постоянного уровня при недостатке щелока в питающей камере

Питающая камера представляет собой вертикальный прямоугольный сосуд, в нижней части которого по периметру располагается заборное сито с прямоугольными отверстиями

шириной 2 мм и высотой 60 мм. Для уменьшения вероятности забивания сит щепой отверстия со стороны выхода щелока из сита сделаны шире, чем на входе. Удлиненная форма щелей способствует лучшей очистке сита.

Во время работы питающая камера примерно на 2/3 своей высоты заполнена щепой и щелоком, который подается через два наклонных патрубка 3. Степень заполнения камеры регулируется подачей щелока, датчиком уровня служит радиоактивный излучатель с Co^{60} . Щелок непрерывно циркулирует между питающей камерой и питателем высокого давления. Циркуляция осуществляется низконапорным насосом (0,07 МПа) большой производительности. Избыток щелока отбирается через патрубок 5. Для нормальной работы сито должно быть погружено в щелок не менее, чем на половину своей высоты.

В верхней части питающей камеры имеется два смотровых окна. В нижней части установлено водомерное стекло для контроля уровня щелока в камере, а также люк для чистки сита.

Корпус камеры изготавливается из углеродистой стали толщиной 12 мм путем гибки и сварки. Поскольку плоские стенки имеют низкую несущую способность при воздействии на них давления, камера имеет ребра жесткости. Высота камеры для установки производительностью 450 т/сут составляет 1750 мм. Толщина стенки камеры рассчитывается по формуле

$$S = 0,063b \sqrt{\frac{p}{[\sigma] \left[1 + \left(\frac{a}{b}\right)^2\right]}}$$

где p - расчетное давление;
 $[\sigma]$ - допускаемое напряжение для материала стенки;
 a - большая сторона стенки;
 b - малая сторона стенки.

Сита питающей камеры изготавливаются из нержавеющей стали толщиной 6 мм; щели на сите располагаются вертикально.

На современных установках и при модернизации установок

непрерывной варки целлюлозы «Камюр» устанавливаются питающие камеры с выносными ситами, работающими попеременно (рис.24). При работе одного из сит другое может очищаться паром или другим способом без прекращения работы установки.

Кроме того, при такой схеме производится отделение тяжелых включений из щепы в трубе 3, в которой вращается ротор с лопатками, утапливающими щепу в щелоче. При этом тяжелые включения (металл, песок и т.п.) оседают вниз и собираются в грязевике 4, а щепа и щелок переливаются в питающую трубу 2. Отобранный из питателя высокого давления щелок перекачивается в циклон 6, где производится отделение песка.

Из циклона через коробки с ситами 7 песок попадает в отделитель тяжелых включений 3. При избытке циркулирующего щелока он отводится через сита 7, при недостатке - производится подача белого щелока в трубопровод, идущий от питателя высокого давления. Очистка сит 7 от опилок и смолы производится паром или каким-либо другим способом.

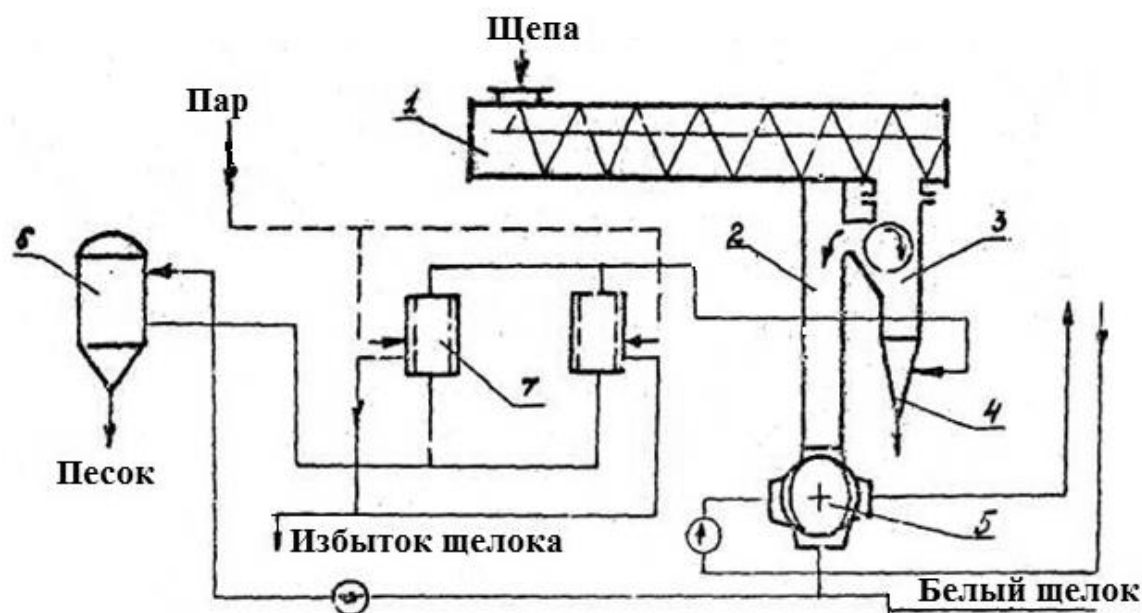


Рис.24. Питающая труба с очисткой щепы и щелока от тяжелых включений: 1-пропарочная камера; 2-питающая труба; 3-отделитель тяжелых включений; 4-сборник тяжелых включений; 5-питатель высокого давления; 6-циклон для отделения песка; 7-выносные сита

Очистка щепы и щелока от тяжелых загрязнений позволяет увеличить срок службы питателя высокого давления, сократить время остановов на очистку сит, повысить надежность работы системы автоматического регулирования и всей установки в целом.

4.6. Питатель высокого давления

Питатель высокого давления (рис.25) предназначен для подачи щепы в варочный котел и одновременно служит запорным устройством, разделяющим зоны высокого давления в варочном котле (1,05-1,2 МПа) и низкого давления в питающей камере (0,05-0,17 МПа). Корпус питателя 1 выполняется литым из стали 25Л. Внутри корпуса запрессована втулка 2 из монель - металла с целью увеличения срока службы корпуса питателя. Втулка имеет шесть окон, которые располагаются напротив патрубков корпуса 10, 11, 12, 13. В нижней части втулки по окружности прорезаны сквозные пазы 3 шириной 2,5 мм, через которые производится оттяжка циркуляционного щелока из карманов питателя во время их заполнения щепой и щелоком.

Снаружи корпус имеет паровую рубашку 14 для его прогрева перед пуском в работу. Делается это во избежание заклинивания ротора в результате его быстрого нагрева щелоком.

Ротор питателя 3 отливается из нержавеющей стали 20Х13Л. Ротор имеет конусность 1:20 и может перемещаться в осевом направлении для регулирования зазора между ротором и втулкой 2 с помощью винтового механизма присадки 9.

Крышки питателя отлиты вместе с кронштейнами 5, в которых расположены гнезда подшипников ротора.

Сальники 6 и корпуса подшипников 7 охлаждаются проточной водой. В сальники подается также уплотняющая вода. Труба 4 соединяет полости со стороны торцов ротора, чтобы уравнивать в них давление паров или щелока, которые могут заполнять эти полости при неравномерном износе ротора и втулки с обеих сторон.

Привод питателя высокого давления состоит из асинхронного

электродвигателя, клиноременной передачи и редуктора. Число оборотов ротора составляет 3 или 6 об/мин. При работе питателя щепы и щелок из питающей камеры поступают через патрубок 11 в один из четырех сквозных карманов ротора, в тот, который занимает вертикальное положение (на рис.25 крайний левый карман). При этом почти весь щелок, переносящий щепу в карман ротора, фильтруется через решетку 8 и затем вновь перекачивается в питающую камеру циркуляционным насосом через наклонный патрубок.

После поворота ротора на 90° щепы из заполненного кармана через патрубок 12 вымывается в котел щелоком, который подается в патрубок 10. Карманы левой половины ротора расположены относительно друг друга под углом 90° , таким же образом расположены карманы правой стороны ротора.

Пара карманов левой половины ротора повернута по отношению к паре правой стороны ротора на угол 45° . Таким образом, через $1/8$ оборота ротора одновременно осуществляется цикл загрузки и выгрузки одной пары карманов, или то же самое, что каждая пара карманов ротора загружается и выгружается при повороте ротора на 90° .

Форма карманов такова, что их поперечное сечение в направлении, перпендикулярном ходу щепы, остается постоянным. Это достигается за счет того, что перегородка в одной паре карманов между карманами выполнена в виде гиперболического параболоида (в виде седла).

Необходимая емкость карманов ротора питателя высокого давления может быть рассчитана по формуле

$$V = \frac{Q}{2 \cdot 60 n \varphi},$$

где Q - часовая производительность установки по щепе, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 2 - число циклов работы карманов за один оборот ротора;
 n - частота вращения ротора, об/мин;
 φ - коэффициент заполнения карманов ротора, равный 0,7-0,8.

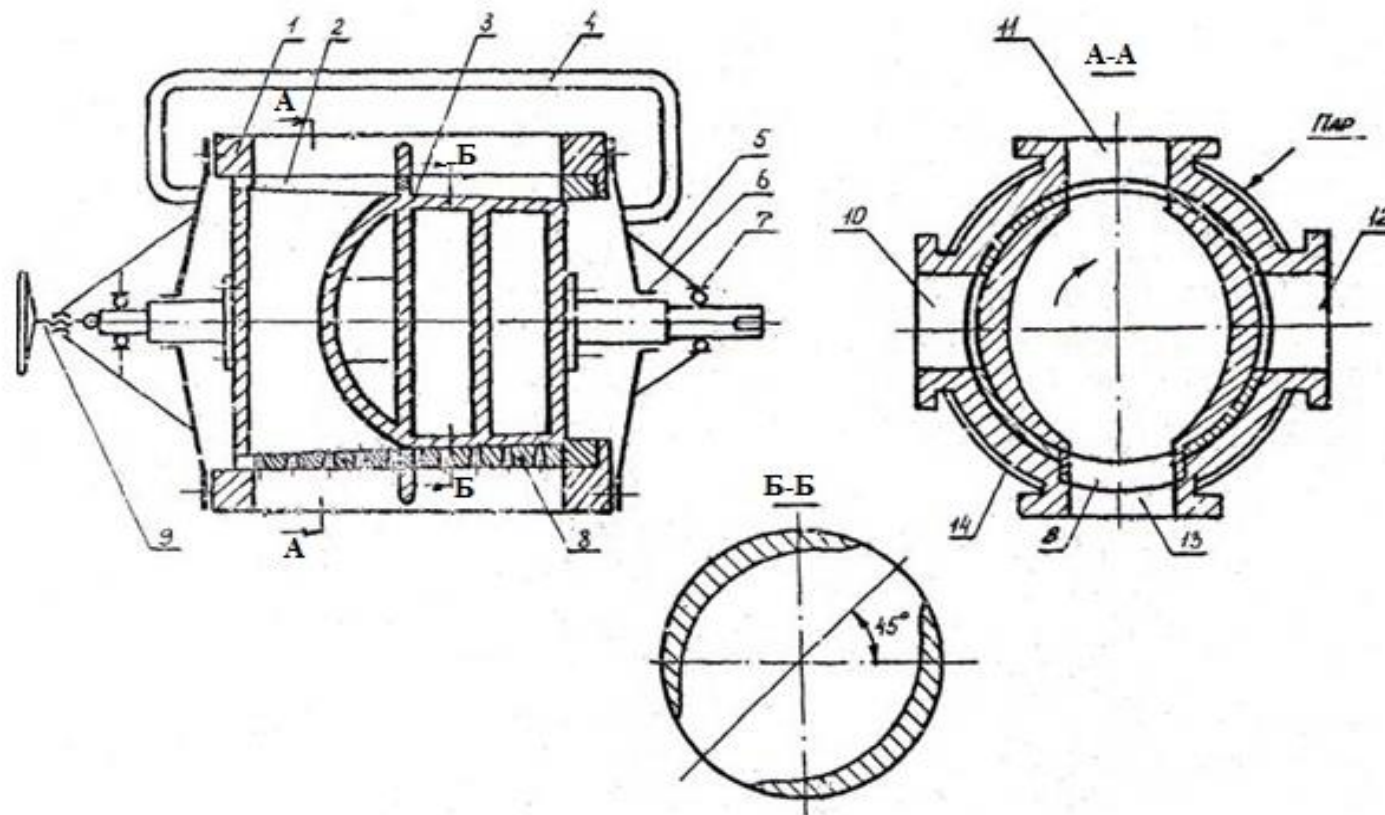


Рис. 25. Питатель высокого давления

Суммарная емкость карманов ротора питателя высокого давления установки «Камюр» производительностью 450 т/сут составляет 0,26 м³.

Питатель высокого давления является наиболее изнашиваемым узлом установки «Камюр». Его приходится заменять и ремонтировать через каждые 3-6 месяцев работы. Причиной износа является песок, содержащийся в щепе, и шлам в плохо осветленном белом щелоке. Ремонт состоит в наплавке на изношенные поверхности специальных электродных материалов.

4.7. Варочный котел установки «Камюр»

Варочный котел установки «Камюр» предназначен для варки и горячей диффузионной промывки целлюлозы.

Щепа транспортирующим щелоком вымывается из карманов питателя высокого давления в загрузочное устройство котла. Варочная установка может иметь один или два тракта подачи щепы в котел. В соответствии с этим, в верхней части варочного котла располагается одно или два загрузочных устройства.

Установки производительностью 600-1000 т/сут имеют один тракт подачи щепы, благодаря чему капитальный ремонт и текущие расходы на эксплуатацию варочной установки сокращаются, надежность ее работы увеличивается, а количество ремонтных работ и запасных частей уменьшается.

Загрузочное устройство котла предназначено для отделения от щепы избыточного транспортирующего щелока и более равномерного распределения щепы по всему поперечному сечению котла. После отделения избыточного щелока суспензия из щепы и щелока поступает в котел с необходимым для варки гидромодулем, т.е. с необходимым соотношением сухих веществ и всей жидкости, которые загружаются в котел. Суспензия, поступающая из питателя высокого давления в загрузочное устройство котла, имеет гидромодуль примерно 1:30 (при меньшем гидромодуле суспензию невозможно переместить по трубопроводу). В котле после удаления избыточного щелока гидромодуль составляет от 1:3 до 1:4.

Загрузочное устройство (рис.26) состоит из цилиндрического сита, через отверстия которого фильтруется избыточный щелок. Внутри сита вращается шнек. Шнек наружной кромкой своей лопасти снимает слой щепы, образующийся на внутренней поверхности сита вследствие перепада давлений щелока внутри и снаружи сита, и тем самым поддерживает постоянство процесса фильтрации щелока через сито. Сито изготавливается из нержавеющей стали толщиной 6 мм, имеет отверстия шириной 2 мм, шагом 6,3 мм и высотой 50 мм. Для жесткости сито имеет вертикальные и горизонтальные ребра.

Шнек состоит из пустотелого вала, к которому приварены лопасти из нержавеющей стали толщиной 8 мм. Нижний виток шнека имеет двойную толщину на случай, если давление в трубопроводе, подводящем щепу и щелок в загрузочное устройство котла, упадет и последний виток будет воспринимать нагрузку от давления в котле, а так же если уровень щепы в котле поднимется выше допустимого и последний виток войдет в контакт со щепой, уже находящейся в котле.

Внутри вала шнека проходит другой вал с поперечным стержнем на нижнем конце. Этот вал является датчиком уровня щепы в котле.

Для нормальной работы зазор между ситом и шнеком должен быть не более 0,5 мм.

Привод шнека состоит из асинхронного двигателя и червячного редуктора, частота вращения шнека 30 об/мин.

Загрузочное устройство котла установки производительностью 450 т/сут при двухпоточной системе питания котла щепой имеет следующие параметры:

Диаметр шнека, мм.....	1050
Длина шнека, мм	1400
Частота вращения ,об/мин.....	30
Мощность электродвигателя, кВт.....	14

На варочных котлах современной конструкции и при модернизации котлов «Камюр» в загрузочных устройствах котлов устанавливаются стержневые сита (рис.27).

Основным достоинством стержневых сит является исключение возможности забивания их опилками и смолой и отсутствие

образования накипи.

На рис.28 показан варочный котел с горячей диффузионной промывкой и холодной выдувкой.

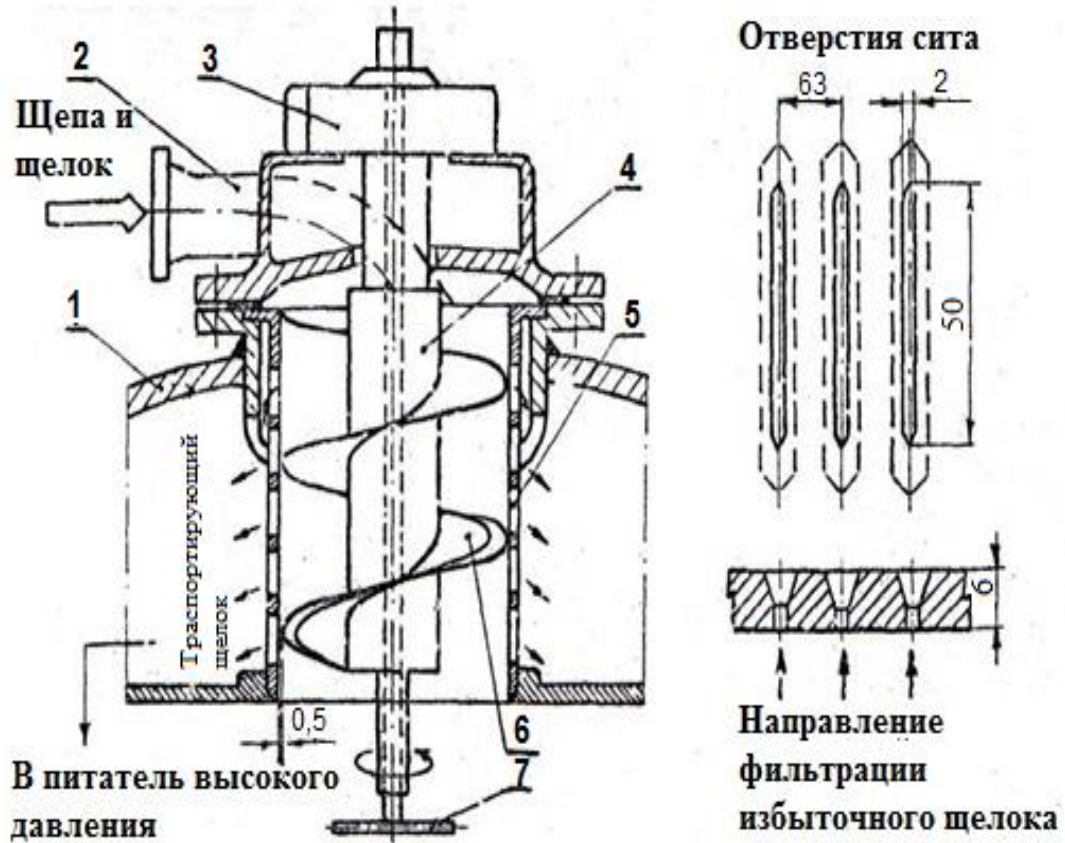


Рис.26. Загрузочное устройство варочного котла установки «Камюр»: 1-верхняя крышка котла «Камюр»; 2-патрубок для подачи щепы и щелока в котел из питателя высокого давления; 3-редуктор привода шнека; 4-шнек; 5-сито; 6-последний виток шнека удвоенной толщины; 7-датчик уровня щепы в котле

В верхней части котла, начиная от загрузочного устройства и до первых заборных сит циркуляционно-подогревательной системы, расположена зона пропитки, в которой щепка находится около 70 мин при температуре 105-110 °С. Ниже зоны пропитки находится зона нагрева, где производится прогрев содержимого котла щелоком, который отбирается в этой зоне через два пояса заборных сит. Пройдя через подогреватели, щелок вновь поступает в зону нагрева через центральную трубу. При этом менее нагретый

щелок, поступающий со щепой из зоны пропитки, вытесняется подогретым щелком в радиальном направлении к заборным ситам. Благодаря радиальному движению подогретого щелока щепы, поступающая из зоны пропитки, нагревается сначала до температуры 150 °С, а затем до температуры 175 °С. Время нагрева составляет примерно 40 мин.

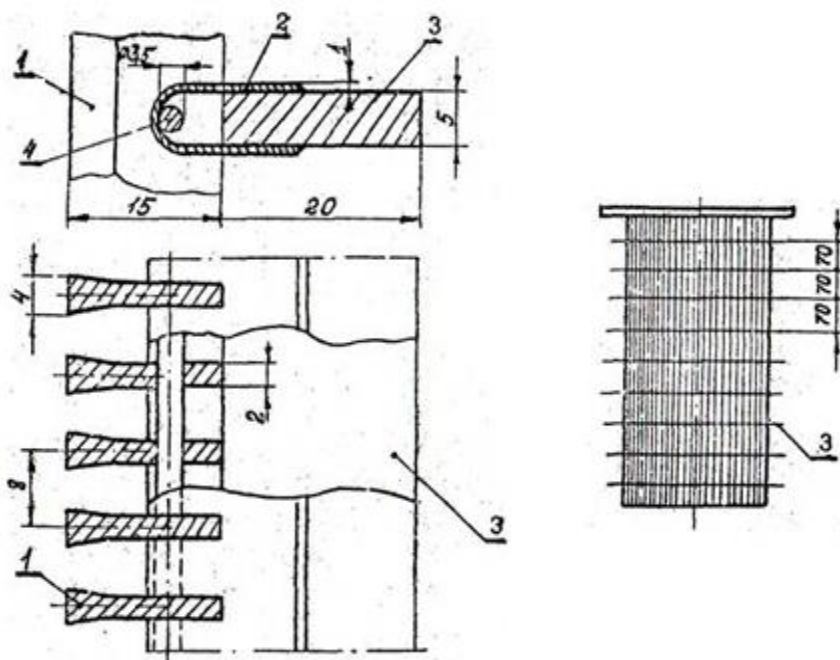


Рис.27. Стержневое сито загрузочного устройства котла «Камюр»: 1-стержни (колосники); 2-фиксирующая лента; 3-кольца; 4-монтажная проволока

После зоны нагрева щепы поступает в зону варки с температурой 175 °С, где находится в течение 70 мин.

Сваренная щепы, сохраняя свою форму, перемещается в зону экстракции (оттяжки) крепкого черного щелока и горячей диффузионной промывки. Здесь крепкий горячий чёрный щелок в радиальном направлении вытесняется охлажденным черным щелком, поступающим из центральной трубы, и через заборные сита отбирается в сепараторы, где отделяются пары вскипания, а затем щелок направляется на регенерацию. Температура массы после оттяжки горячего черного щелока снижается до 130 °С.

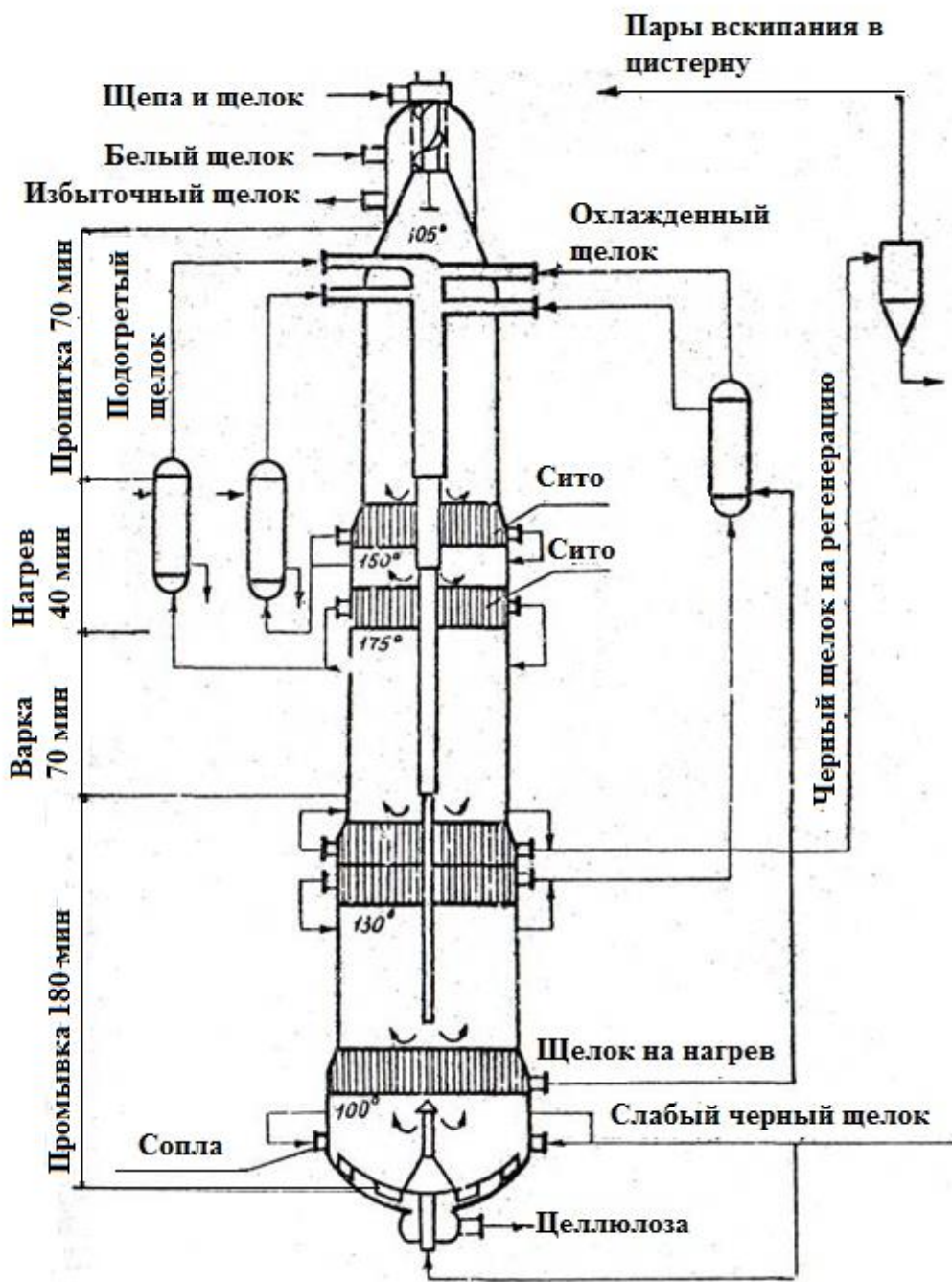


Рис.28. Варочный котел установки «Камюр»

В нижней зоне промывки происходит дальнейшее охлаждение массы слабым черным щелоком, поступающим с вакуум-фильтров. Этот щелок подается через ряд сопел, расположенных в нижней части котла, и своим движением навстречу ходу массы способствует вытеснению крепкого черного щелока в зоне экстракции. Масса при

этом охлаждается до 100-110 °С.

Горячая диффузионная промывка в котле позволяет сократить количество промывных вакуум-фильтров и, следовательно, уменьшить капитальные затраты, связанные с их установкой. Однако высота котла при этом может увеличиться на 10-12 м.

Экстракция крепких черных щелоков при высокой температуре позволяет экономить пар на выпарке.

В нижнем днище варочного котла расположено разгрузочное устройство (рис.29), состоящее из двухлопастной мешалки и приваренного к ней конуса. Через пустотелый вал мешалки подается слабый черный щелок с вакуум-фильтров, что способствует дальнейшему охлаждению массы и лучшему удалению ее из котла. Наклонные скребки мешалки, а также две изогнутые лопасти, расположенные под конусом, осуществляют равномерную подачу массы со всего поперечного сечения котла к выдувному отверстию, расположенному в центре нижнего днища котла.

Конус, приваренный к мешалке, предназначен для того, чтобы масса в разгрузочное устройство попадала со всего поперечного сечения котла, а не только из его центральной части. Разгрузочное устройство котла установки производительностью 450 т/сут приводится во вращение от электродвигателя мощностью 14 кВт через вариатор, редуктор и закрытую зубчатую передачу. Частота вращения мешалки варьируется от 1,65 до 4,65 об/мин.

Варочный котел работает при давлении 1,05-1,2 МПа, которое поддерживается закачкой слабого черного щелока в нижнюю часть котла.

Корпус котла выполнен сварным из биметалла. Для установки производительностью 450 т/сут толщина стенки котла составляет в его верхней части 20-24 мм, в нижней - 32 мм. Диаметр котла ступенями возрастает к низу перед каждым поясом заборных сит, что способствует беспрепятственному движению щепы вниз и уменьшению вероятности ее зависания на ситах и на центральной трубе. Сита, расположенные в зоне нагрева и экстракции горячего черного щелока, изготовлены из нержавеющей стали толщиной 6 мм и имеют прямоугольные отверстия шириной 2 мм с шагом 6,3 мм. Ширина отверстий сит нижней зоны 1,3 мм.

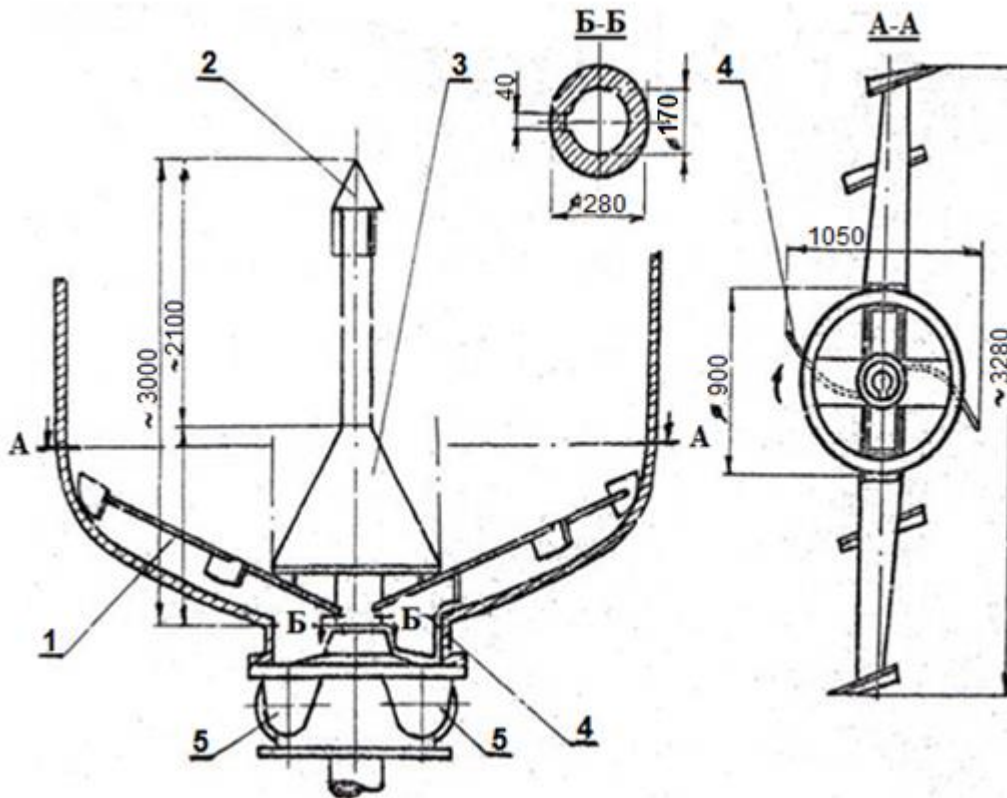


Рис. 29. Разгрузочное устройство установки непрерывной варки целлюлозы «Камюр»: 1-двухлопастная мешалка; 2-распределитель щелока; 3-конус-распределитель массы; 4-изогнутые лопасти; 5-отверстия для выдувки целлюлозы

Для увеличения жесткости сита укрепляются вертикальными и горизонтальными распорками.

Каждый пояс сит разделен горизонтальным кольцом на два отделения: верхнее и нижнее. Каждое из отделений попеременно автоматически включается в работу через 1-1,5 мин. Очередность в работе отделений уменьшает возможность забивания сит, так как во время отбора щелока из одного отделения отверстия другого очищаются столбом продвигающейся вниз массы. Удлиненная форма отверстий сит также способствует их лучшей очистке. На котлах современной конструкции отверстия каждого последующего ряда смещаются по окружности на половину шага по отношению к отверстиям предыдущего ряда, благодаря чему уменьшается забивание сит щепой и опилками. Вместо сит с фрезерованными отверстиями применяются стержневые сита, по конструкции аналогичные стержневым ситам загрузочного устройства.

4.8. Усовершенствования и модификации установок непрерывной варки целлюлозы «Камюр»

Помимо рассмотренных ранее (питатели с увеличенной конусностью ротора; наклонная пропарочная цистерна; цистерны с подачей пара снизу и корпусом из нержавеющей стали; питающая камера с отделением тяжелых включений из щепы и выносными ситами; стержневые сита загрузочного устройства котла) применяются следующие усовершенствованные конструкции установки «Камюр»:

1. Установка с паровой и жидкой фазами варки, имеющая котел с наклонным сепаратором, отделяющим транспортирующий щелок.

2. Установка с предварительной пропиточной камерой (котлом),

3. Применение в циркуляционно-подогревательной системе котла стержневых сит.

4. Установка с противоточной системой движения щепы и щелока;

5. Установка для варки опилок.

1. Комбинированный котел с паровой и жидкой фазой предназначен для получения различных видов сульфитной и предгидролизной сульфатной целлюлозы.

Тракт подачи щепы и механическая часть котла остаются такими же, как в стандартной установке. Основное отличие состоит в конструкции верхней части котла и в методе подогрева. Загрузочное устройство расположено вне котла в наклонном положении под углом 45° к вертикальной оси котла (рис.30а) и дает возможность регулировать гидромодуль варки в широких пределах. Нагрев щепы производится острым паром в месте подачи ее в котел, поэтому варка начинается сразу в верхней части котла, и зона нагрева отсутствует. Для регулирования процесса варки сохраняется небольшая циркуляционная система.

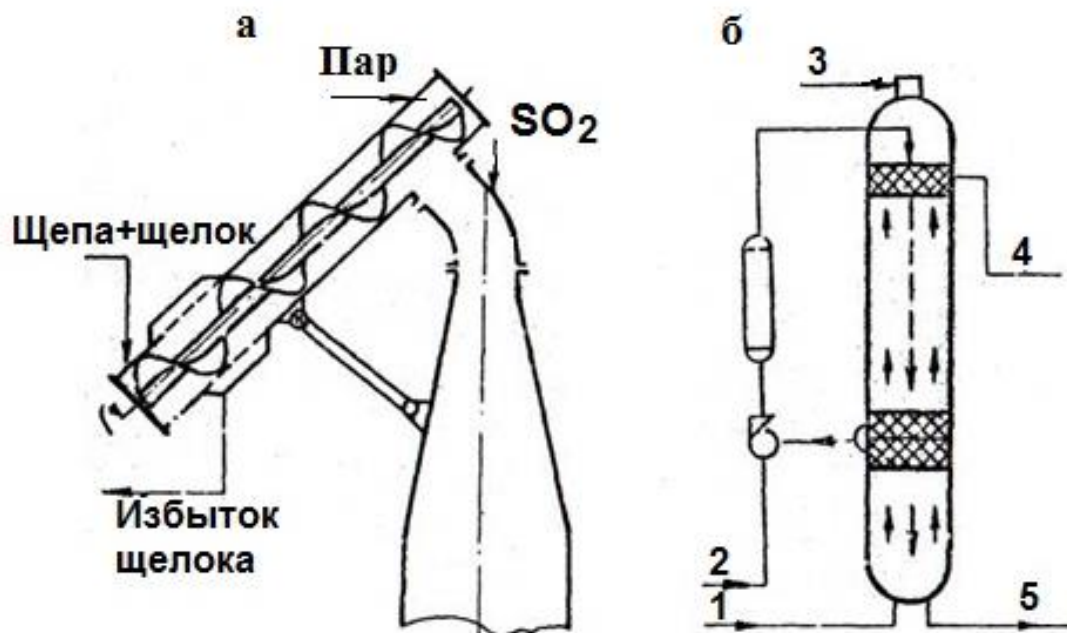


Рис.30. Усовершенствованная и модифицированная установка «Камюр»: а - с выносным сепаратором; б - противоточная система движения щепы и щелока; 1-промывная вода; 2-варочный щелок; 3-щепа и щелок; 4-крепкий черный щелок на регенерацию; 5-целлюлоза

2. Установка с предварительной пропиткой щепы применяется при модернизации с целью повышения производительности и при проектировании технологических потоков с мощностью более 1000 т/сут, а также для уменьшения высоты варочного котла, что приводит к сокращению капитальных затрат при строительстве установки (рис.31). Здесь щепа и щелок из питателя высокого давления 2 поступают в загрузочное устройство пропиточной камеры 4, избыток щелока направляется вновь в питатель высокого давления.

В пропиточном котле пропитка ведется в течение 30-40 мин при давлении 1,0 МПа. Пропитанная щепа белым щелок из нижней части камеры вымывается в загрузочное устройство котла, которое может быть как обычным - встроенным, так и выносным.

В верхнюю часть варочного котла подается острый пар, поэтому варка начинается сразу же в верхней части котла. Таким образом, в варочном котле проводятся только варка и горячая диффузионная промывка целлюлозы.

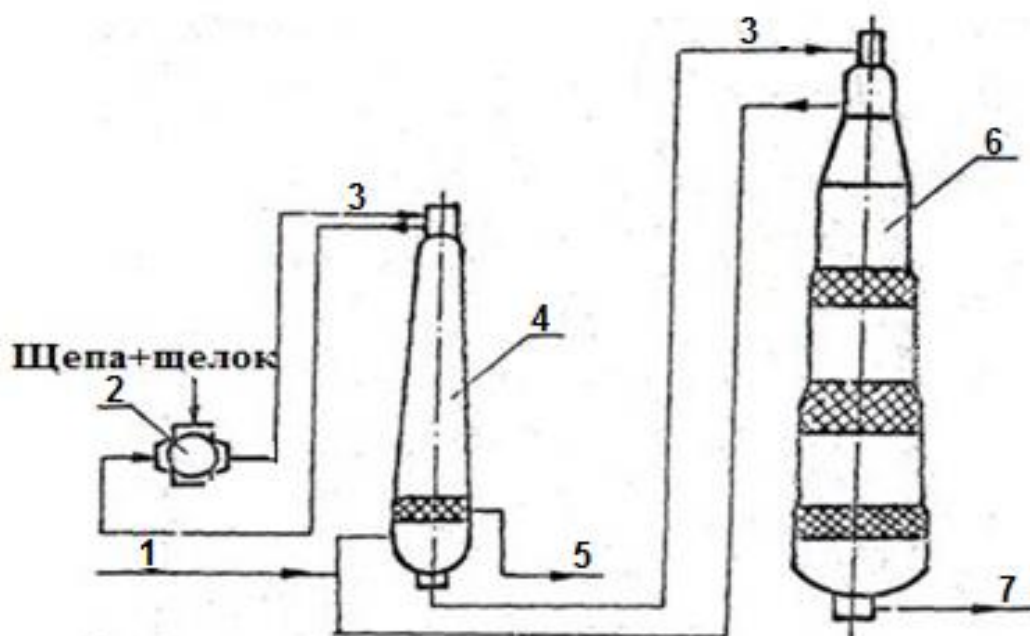


Рис.31. Установка «Камюр» с предварительной пропиточной камерой: 1-белый щелок; 2-питатель высокого давления; 3-щепа и щелок на пропитку; 4-пропиточная камера (котел); 5-щелок на выпарку; 6-варочный котел; 7-целлюлоза

3. Применение в варочном котле стержневых сит (см. рис.27) с коэффициентом перфорации 0,3-0,4 вместо фрезерованных сит с коэффициентом перфорации 0,11-0,13 уменьшает вероятность зависания на них щепы, так как перепад давления с наружной и внутренней сторон сита в этом случае меньше и поэтому меньше общее усилие прижатия щепы к ситам при оттяжке щелоков.

4. Установка с противоточной системой (рис.30б) основана на принципе противотока щепы и щелока. В этих установках щелок вытесняется не в радиальном направлении от центра к периферии котла, а в осевом, с потоком щелока снизу вверх. Хотя вытеснение в радиальном направлении происходит быстрее, однако диффузия при этом не достигает оптимальной величины, и в результате кратковременности процесс может протекать неравномерно. Промывка по принципу противотока позволяет изменять ее время в больших

пределах в зависимости от высоты зоны промывки в котле, а также количества промывной жидкости. Для осуществления противотока в нижнюю часть котла подается промывная вода, а на расстоянии примерно $1/3$ высоты котла включается система радиальной циркуляции, в которую вводится варочный раствор, и производится нагрев до температуры варки.

По мере движения вверх щелок пропитывает щепу. В процессе варки щелок насыщается сухими веществами и отводится из котла через верхнее сито, а щепы движется навстречу щелоку вниз и там разгружается в виде промытой целлюлозы.

5. В установках для варки опилок (рис.32) опилки из питателя высокого давления паром выдуваются сразу в котел и варятся в течение одного часа при гидромодуле 3,6:1 и давлении 0,74 МПа. В верхнюю часть котла подается пар. В нижней части котла расположены две зоны промывки: в первой зоне слабый черный щелок из второй зоны подается к ситам и вытесняет крепкий черный щелок в радиальном направлении к перфорированному валу, расположенному в центре котла, и далее направляется на регенерацию. Во второй, нижней зоне производится промывка целлюлозы водой, которая тоже подается через сита и вытесняет к перфорированному валу щелок, который затем подается в верхнюю зону промывки.

К недостаткам установки для варки опилок относится сложность изготовления перфорированного вала из нержавеющей стали, имеющего отверстия диаметром 2 мм. Вторым недостатком - быстрое забивание отверстий древесной мелочью, смолой и минеральными отложениями. Такая конструкция менее надежна, чем разгрузочное устройство котла «Камюр» с диффузионной промывкой и холодной выдувкой.

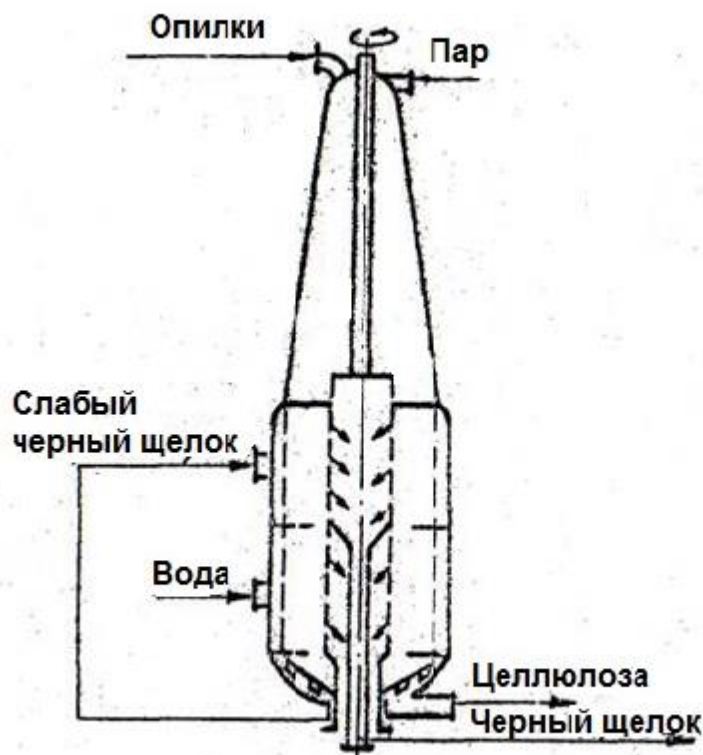


Рис.32. Установка «Камюр» для варки опилок

5. МНОГОТРУБНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ВАРКИ ПОЛУЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Многотрубные установки для непрерывной варки полуцеллюлозы предназначены для ускоренной непрерывной варки, что достигается за счет повышенного выхода готовой продукции (60-75 %), повышенных режимов варки и низкого гидромодуля при варке (1:2,5). Одним из преимуществ многотрубных установок, обеспечивающих их широкое применение, являются низкие требования к щеле применительно к содержанию в ней опилок, гнили и коры.

Это становится возможным, поскольку в варочном аппарате отсутствуют сита циркуляционно-подогревательной системы и нагрев перерабатываемого сырья производится острым паром. Все это позволяет также перерабатывать в многотрубных установках

одубину (щепу после извлечения из нее экстрактивных веществ), тростниковую сечку и солому различных однолетних растений.

Применяются два вида многотрубных установок:

- 1) со шнековыми питателями;
- 2) с роторными питателями, пропарочной и пропиточной трубами и мельницей, установленной на выходе массы из последней варочной трубы, для горячего размола целлюлозы.

Установки второго типа применяются для выработки более качественной продукции, так как в них отсутствует силовое воздействие на щепу, которое имеет место в шнековом питателе установок первого типа и приводит к снижению прочностных показателей полуцеллюлозы. К многотрубным установкам отечественного производства относятся установки типа УТ-1 и УТ-2. Из зарубежных установок со шнековым питателем применяются установки типа «Пандия» фирм «Тампелла» (Финляндия) и «Парсоне и Виттмор» (Франция) и с роторными питателями типа «Пандия» фирмы «Хитачи» (Япония).

Варка в многотрубных установках ведется по сульфатному или нейтрально-сульфитному способу в течение 10-60 мин. Производительность установок достигает 250-300 т/сут при работе на древесном сырье и 80 т/сут при работе на тростниковой сечке.

5.1. Многотрубные установки для варки полуцеллюлозы со шнековым питателем

Схема многотрубной установки для непрерывной варки полуцеллюлозы со шнековым питателем представлена на рис. 33.

Щепа из бункера или ленточным транспортером подается в шнековый питатель, который служит для равномерной подачи спрессованной щепы в первую варочную трубу установки. Это также предотвращает прорыв пара из варочных труб в бункер со щепой. Сжатие щепы в пробку достигается за счет уменьшения по ходу щепы диаметра и шага шнека, т.е. за счет уменьшения межвиткового пространства. Объемная масса сжатой щепы (пробки) достигает 525-590 кг/м³. При выходе из зоны сжатия в переходной патрубках пробка разрушается, и щепа пересыпается в первую варочную трубу, где она нагревается острым паром и орошается

варочным щелоком. Шнек отливается из нержавеющей стали типа 2Х13Л или 12Х18Н9ТЛ, так как нержавеющая сталь, имеющая вязкую аустенитную структуру, хорошо работает на износ. Наружная поверхность лопасти шнека имеет наплавку из вольфрамкобальтового твердого сплава ВК-2 с целью уменьшения износа. Шнек крепится на двух сферических роликоподшипниках. Для восприятия осевых усилий устанавливается роликовый или шариковый упорный подшипник. Для лучшего пробкообразования и более надежной герметичности питателя как запорного устройства коническая часть шнека имеет цилиндрический выступ со стороны пробкообразователя (см. рис.33) длиной 150 мм с диаметром равным внутреннему диаметру шнека. Частота вращения шнека регулируется в пределах от 15 до 65 об/мин при помощи гидравлической муфты или муфты вихревых токов. Привод шнека состоит из электродвигателя мощностью 100-165 кВт, регулируемой гидромуфты, редуктора и цепной передачи.

Корпус шнекового питателя изготавливается литым из нержавеющей стали типа 12Х18Н9ТЛ толщиной 30-40 мм. Коническая часть корпуса, состоящая из верхней и нижней половин (рис.34), присоединяется к загрузочной части корпуса питателя болтами и имеет на внутренней поверхности восемь направляющих ножей во избежание проворачивания пробки вместе со шнеком, что может привести к прорыву пара из варочных труб в бункер со щепой. Ножи изготавливаются из стали У7 или У8 и имеют наплавку на поверхности, соприкасающейся со шнеком, из сплава ВК-2 .

При работе на щепе шнек имеет следующие размеры:

Наружный диаметр и шаг первого (загрузочного) витка, мм.....	380
Наружный диаметр и шаг последнего (прессующего) витка, мм..	280
Внутренний диаметр шнека, мм.....	150
Длина винтовой части шнека, мм.....	1500

Перед каждым ножом в направлении вращения шнека в корпусе имеется продольный паз с наклоном дна в сторону ножа. Ширина паза 50 мм, глубина у боковой поверхности ножа - 5 мм.

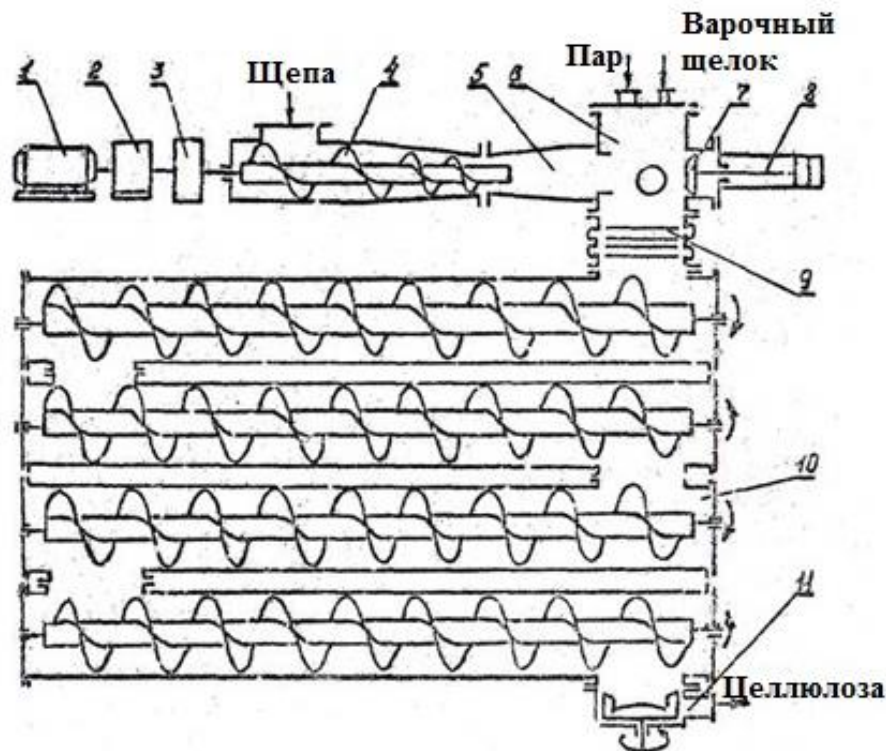


Рис.33. Схема многотрубной установки со шнековым питателем:

- 1- электродвигатель привода шнекового питателя;
- 2- редуктор; 3 - бесступенчато регулируемая муфта вихревых токов (или гидромуфта); 4-шнековый питатель;
- 5-пробкообразователь; 6 –переходной патрубков; 7 – тарелка пневмоклапана; 8 – пневмоцилиндр автоматического клапана; 9 – компенсатор тепловых расширений; 10 – варочная труба; 11 – разгрузочное устройство

Варочные трубы установки представляют собой горизонтальные цилиндрические аппараты, в которых вращаются шнеки, перемещающие щепу. Диаметр, длина и количество труб определяются временем варки и производительностью установки. Диаметр труб колеблется от 457 до 1524 мм, длина (расстояние между осями входного и выходного патрубка) от 6 до 12,2 м, количество труб от 2 до 8 шт. Корпуса труб изготавливаются сварными из биметалла с толщиной слоя нержавеющей стали 2 мм. Торцевые крышки труб плоские, изнутри облицованы нержавеющей сталью. Они имеют гнезда для сальников и кронштейны для установки подшипников. Шнеки в трубах сварные, лопасти шнеков изготовлены из нержавеющей стали. В местах разгрузки массы на валах шнеков приварены рассекатели. Они выполнены в

виде четырех радиально расположенных лопаток с треугольными выступами на боковом ребре со стороны движения массы. Трубы попарно подвешены на специальных тягах диаметром 50 мм к рамной конструкции варочной установки.

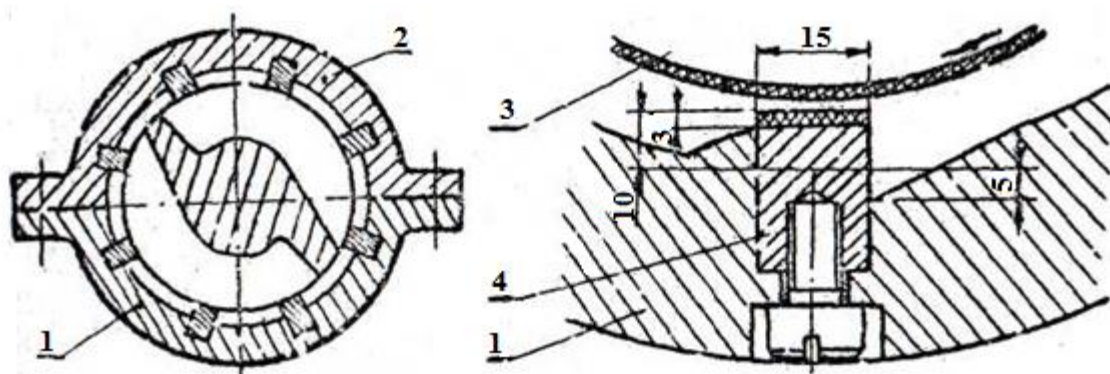


Рис.34. Поперечный разрез конической части шнекового питателя: 1-нижняя половина корпуса питателя; 2-верхняя половина корпуса питателя; 3-шнек; 4-продольный нож

Каждый шнек имеет индивидуальный привод от электродвигателя мощностью 7,5-11 кВт через вариатор, редуктор и цепную передачу. Частота вращения шнеков регулируется от 1,4 до 20 об/мин, причем шнек первой трубы имеет наибольшую скорость вращения. Шнеки двух смежных труб вращаются в противоположных направлениях.

Сваренная полуцеллюлоза удаляется из последней варочной трубы при помощи разгрузочного устройства. Оно состоит из четырехлопастной якорной мешалки, расположенной в чаше с четырьмя выдувными отверстиями, которые очищают от комков массы лопасти мешалки. Чаша выполнена литой из нержавеющей стали. Диаметр мешалки 700 мм, частота вращения ротора 300-500 об/мин, привод осуществляется через клиноременную передачу от электродвигателя мощностью от 17,8 до 30 кВт.

5.2. Многотрубные варочные установки с роторными питателями

В установках с роторными питателями щепы из бункера подается в дозатор 2 (рис.35). Дозатор имеет на роторе лопасти в виде шеврона для лучшего отделения щепы от стенок корпуса дозатора. Ротор дозатора приводится во вращение от шнека пропарочной трубы 3 через цепную передачу 1. Благодаря этому устраняется возможность переполнения пропарочной трубы щепой в случае рассинхронизации частот вращения ротора дозатора и шнека пропарочной трубы. Такое возможно при условии, что они имеют индивидуальный регулируемый привод.

Пропарочная труба 3 служит для удаления из щепы воздуха с целью лучшей пропитки щелоком. В трубу подается свежий пар через шесть штуцеров D_{y40} , расположенных тангенциально в нижней части корпуса, а также пар из карманов ротора питателя низкого давления 4, когда щепы подходит к разгрузочному отверстию пропарочной трубы. В пропарочной трубе поддерживается атмосферное давление и температура около $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сверху трубы имеется штуцер для отвода сдувочных газов. Внутри штуцера установлена сетка, препятствующая уносу щепы с газами. В крышке штуцера имеется патрубок для пара, который периодически включается в работу для очистки сита от щепы.

Над разгрузочным отверстием пропарочной трубы расположен штуцер для подачи варочного щелока.

Поскольку давление в трубе равно атмосферному, то для закачки щелока не требуется установка многоступенчатого насоса высокого давления, как это имеет место в установках со шнековым питателем.

Время пропарки, мин.....	1-3
Диаметр корпуса трубы, мм.....	1000
Длина пропарочной зоны, мм.....	6500
Частота вращения шнека, об/мин	5-15

Корпус трубы изготавливается из биметалла с толщиной слоя нержавеющей стали 2 мм, лопасти шнека - из нержавеющей стали. Вал шнека между лопастями облицован нержавеющей сталью толщиной 2 мм.

Со стороны разгрузочного отверстия на шнеке имеются четыре зубчатых рассекателя и один виток лопасти шнека с противоположным заходом по отношению к остальной части лопасти шнека. Пропарочная труба установлена на скользящей опоре 6 для компенсации тепловых расширений. Питатель низкого давления 4 разделяет зоны атмосферного давления в пропарочной трубе и повышенного давления в пропиточной трубе. По конструкции питатели низкого давления и высокого давления одинаковы. Роторы конусностью 1:5 имеют семь карманов объемом $0,117\text{м}^3$. Частота вращения роторов регулируется в диапазоне от 10 до 30 об/мин с помощью вариаторов. Поверхности ротора, соприкасающиеся с корпусом, имеют наплавку из стеллита. В корпус питателей для уменьшения износа запрессована втулка, изготовленная из монель-металла. Рабочий зазор между ротором и статором составляет 0,1 мм. Привод питателей включает электродвигатель мощностью 15 кВт, вариатор, редуктор и цепную передачу.

В пропиточной трубе щепа находится от 2 до 6 мин при температуре $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении 0,4 МПа. Пропиточная труба служит для непрерывной пропитки щепы перед варкой. В пропиточную трубу подается свежий пар и пар из карманов питателя высокого давления. Пар также подается через два кольцевых коллектора (рис.36), расположенных с внутренней стороны крышек, для того, чтобы щепа не попадала между торцом вала шнека и крышкой трубы.

Внутренний диаметр коллектора, мм	400
Количество отверстий, шт.....	60
Диаметр отверстий, мм.....	3
Диаметр трубы коллектора, мм.....	25

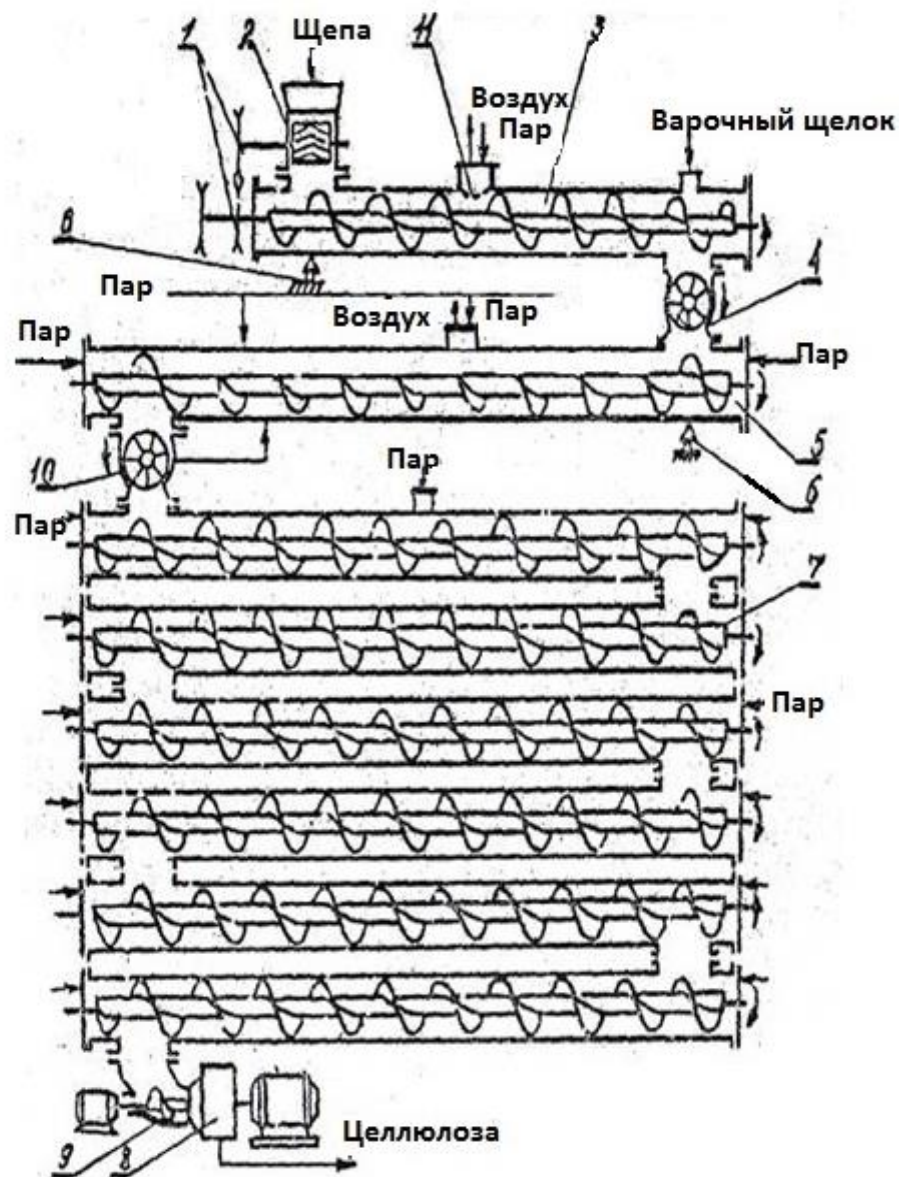


Рис.35. Многотрубная установка с роторными питателями:

- 1 - цепная передача привода дозатора; 2 - дозатор щепы; 3 - пропарочная труба; 4 - питатель низкого давления; 5 - пропиточная труба; 6 - подвижные опоры; 7 - варочная труба;
- 8 - дисковая мельница для горячего размола; 9 - шнек для подачи массы в дисковую мельницу; 10 - питатель высокого давления; 11 - сито сдувочного штуцера

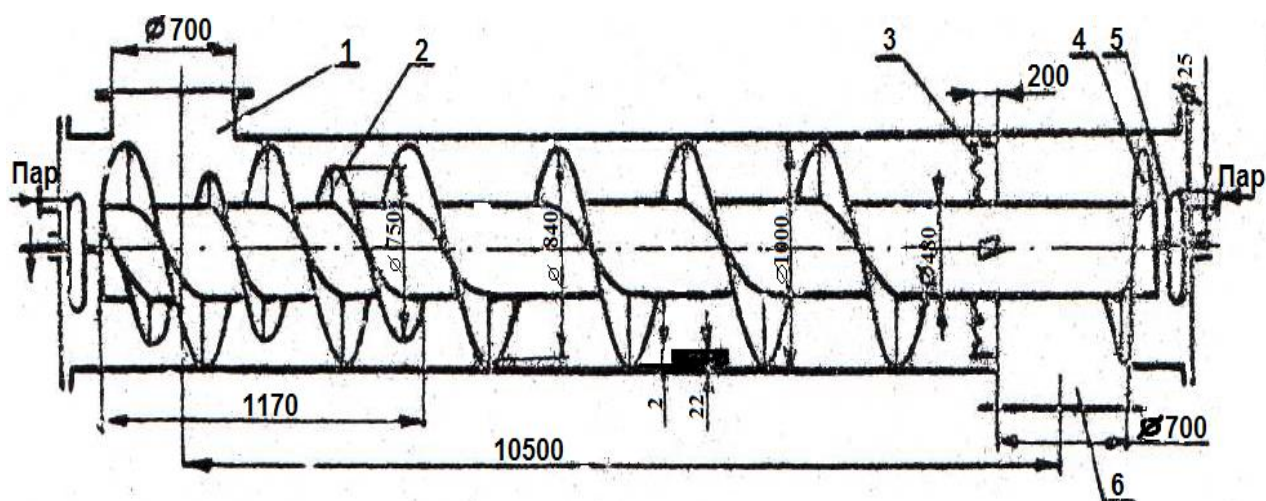


Рис.36. Варочная труба установки с роторными питателями:

1-загрузочное отверстие; 2-двухзаходный участок шнека; 3-рассекатель; 4-обратный виток; 5-паровой коллектор; 6-разгрузочное отверстие

Сдувные газы непрерывно удаляются через штуцер в верхней части трубы, в который вставлено сито, препятствующее уносу щепы. В месте поступления щепы шнек имеет двойной заход на длине 1170 мм, диаметр лопасти второго захода 750 мм, шаг шнека 360 мм. Лопасты изготавливаются из нержавеющей стали, участки трубы между лопастями облицованы нержавеющей сталью толщиной 2 мм. Частота вращения шнека от 5 до 15 об/мин регулируется вариатором. Корпус трубы биметаллический. К нижней половине трубы приварены четыре продольные направляющие шириной 30 мм и высотой 10 мм. Питатель высокого давления 10 разделяет зоны высокого давления в варочных трубах, где давление составляет 1,0-1,2 МПа и низкого давления в пропиточной трубе, и работает аналогично питателю низкого давления 4. Установка имеет шесть варочных труб.

В первую (иногда и в третью) трубу подается свежий пар через штуцер Ду300. Пар подается также через паровые коллекторы во все штуцеры. По конструкции варочные трубы аналогичны пропиточной трубе. Диаметр труб - 1000 мм, длина - 10500 мм, толщина стенки составляет 22 мм, из них 2 мм слой нержавеющей стали 0X18H9T. Шнеки в трубах расположены концентрично, частота их вращения регулируется вариатором. Сваренная целлюлоза из последней трубы поступает в разгрузочное устройство роторного типа и далее подается специальным шнеком 9

на горячий размол в дисковую мельницу 8 и из нее - в выдувной резервуар.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крылов В.Н. Справочник бумажника-технолога. Сырье. Общие сведения. – СПб.: ЛТА., 1993. – 283 с.

2. Технология целлюлозно-бумажного производства: справочные материалы. В 3 т. – СПб.: ЛТА., 2002. Т.1.Ч.1. – 446 с.

3. Гаузе А.А., Гончаров В.Н., Кугушев И.Д. Оборудование для подготовки бумажной массы: учебник для вузов. – М.: Экология, 1992. – 353 с.

4. Гаузе А.А., Гончаров В.Н. Основы теории и расчета оборудования для подготовки бумажной массы: учебное пособие / СПбГТУРП. – СПб., 2008. Ч.1 - 84 с.

5. Оборудование для целлюлозно-бумажного производства: Каталог в 2 кн./ Кн.2. Оборудование для производства целлюлозы / ЗАО «Петрозаводскмаш». - Петрозаводск: Скандинавия, 2002. – 112 с.

6. Гончаров В.Н., Гаузе А.А., Авакумов М.В. Основы теории и расчета оборудования для подготовки бумажной массы. Ч.2. Рубительные машины: учебное пособие / СПбГТУРП. – СПб., 2012. – 50 с.

7. Тордуа Г.А. Машины и аппараты целлюлозного производства: учебное пособие для вузов. – М.: Лесная пром – сть, 1986. - 360 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Предисловие.....	3
	ВВЕДЕНИЕ. Общая схема подготовки древесины к переработке в полуфабрикаты.....	4
1.	КОРООБДИРОЧНЫЕ БАРАБАНЫ.....	7
1.1.	Строение древесной коры.....	7
1.2.	Требования к качеству окорки.....	8
1.3.	Движение балансов в барабане.....	11
1.3.1.	<i>Движение балансов в поперечном сечении корообдирочного барабана.....</i>	11
1.3.2.	<i>Движение балансов в продольном направлении корообдирочного барабана. Транспортная производительность барабана.....</i>	14
1.4.	Механизм процесса окорки древесины в корообдирочном барабане. Технологическая производительность барабана.....	16
1.5.	Основные типы корообдирочных барабанов.....	19
2.	РУБИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ.....	23
2.1.	Основные свойства древесины, влияющие на рубку.....	23
2.2.	Требования, предъявляемые к технологической щепе.....	26
2.3.	Виды конструкций рубительных машин.....	28
2.4.	Устройство и принцип действия дисковой рубительной машины.....	32
2.5.	Классификация дисковых рубительных машин.....	33
2.6.	Геометрия резания древесины в дисковой рубительной машине.....	34
2.7.	Определение производительности рубительной машины.....	37
2.8.	Силы, возникающие при отрубке щепы.....	38
3.	КОТЛЫ ДЛЯ ВАРКИ СУЛЬФИТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ.....	41
3.1.	Форма корпуса котлов.....	41
3.2.	Расчет корпуса котла на прочность.....	43
3.3.	Биметаллические варочные котлы.....	46
3.4.	Арматура варочного котла.....	47

4.	УСТАНОВКИ НЕПРЕРЫВНОЙ ВАРКИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ «КАМЮР».....	50
4.1.	Схема и работа установки непрерывной варки целлюлозы «Камюр».....	50
4.2.	Дозатор-расходомер щепы.....	54
4.3.	Питатель низкого давления.....	57
4.4.	Пропарочная цистерна.....	59
4.5.	Питающая камера (труба).....	62
4.6.	Питатель высокого давления.....	65
4.7.	Варочный котел установки «Камюр».....	68
4.8.	Усовершенствования и модификации установок непрерывной варки целлюлозы «Камюр».....	75
5.	МНОГОТРУБНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ВАРКИ ПОЛУЦЕЛЛЮЛОЗЫ.....	79
5.1.	Многотрубные установки для варки полуцеллюлозы со шнековым питателем.....	80
5.2.	Многотрубные варочные установки с роторными питателями.....	84
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	88

Учебное издание

Александр Васильевич Александров

Александр Александрович Гаузе

Владимир Николаевич Гончаров

ОБОРУДОВАНИЕ ЦБП

Часть I. Основное оборудование для производства целлюлозы

Учебное пособие

Редактор и корректор Н.П. Новикова

Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2014 г., поз.39

Подп. к печати

Формат 60x84/16. Бумага тип.№1

Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,75. 5,75 уч.-изд.л. Тираж 100 экз. Изд №39.

Цена «С». Заказ

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